

Agentenbasierte Modellierung und Stoffstromanalysen

Vortrag im Seminar
„Physik trifft Volkswirtschaftslehre“
Oldenburg, 22. März 2014

Referent: David Hofmann, Universität Kassel

Themen

- Akteursbasierte Stoffstromforschung
- Stoffstromsysteme
- Multi-Agenten-Systeme
- Stoffstromsystem PKW-Kunststoffe
- Konzeption eines aktorsbasierten Simulationsmodells
- Simulationsstudien und Ergebnisse
- Fazit und Ausblick

Akteursbasierte Stoffstromforschung

- Herkunft des Themas
 - Stoffstrommanagement
 - Industrial Ecology
- Gegenstand der Industrial Ecology
 - Identifizierung von Stoffnutzungsmustern
 - Entwicklung von Stoffstromstrategien zur Vermeidung negativer Umweltwirkungen
 - Bsp. Effizienzstrategien, Lebensdauerstrategien, Einsparstrategie, Substitutionsstrategien, Kreislaufstrategien
- Kritik an der Industrial Ecology
 - Fehlender Akteursbezug
 - Begrenzte Berücksichtigung der Motive und Handlungsmöglichkeiten der Akteure
 - Fehlendes Wissen über Beeinflussungsmöglichkeiten des Akteurhandelns

Akteursbasierte Stoffstromforschung

- Beitrag der Volkswirtschaftslehre
 - Betrachtung von Stoffen als nutzenstiftende Elemente in Produktion und Konsum, aber auch als Verursacher negativer Umweltwirkungen
 - Typischerweise analytische Trennung der Themen in Ressourcenökonomik und Umweltökonomik
 - Eine wesentliche Besonderheit von Stoffstrominnovationen ist Interdependenz der Akteure durch Zusammenwirken entlang von Stoffstromketten
- Leitfragen der aktorsbasierten Stoffstromanalyse
 - Welche Faktoren beeinflussen stoffbezogene Entscheidungen?
 - Welche Faktoren befördern die Entstehung und Durchsetzung von Innovationen?
 - Welche Wirkungen haben Innovationen im Stoffstromsystem?
 - Welche Möglichkeiten (und Grenzen) bestehen bei der Steuerung von Stoffstromsystemen?

Stoffstromsysteme

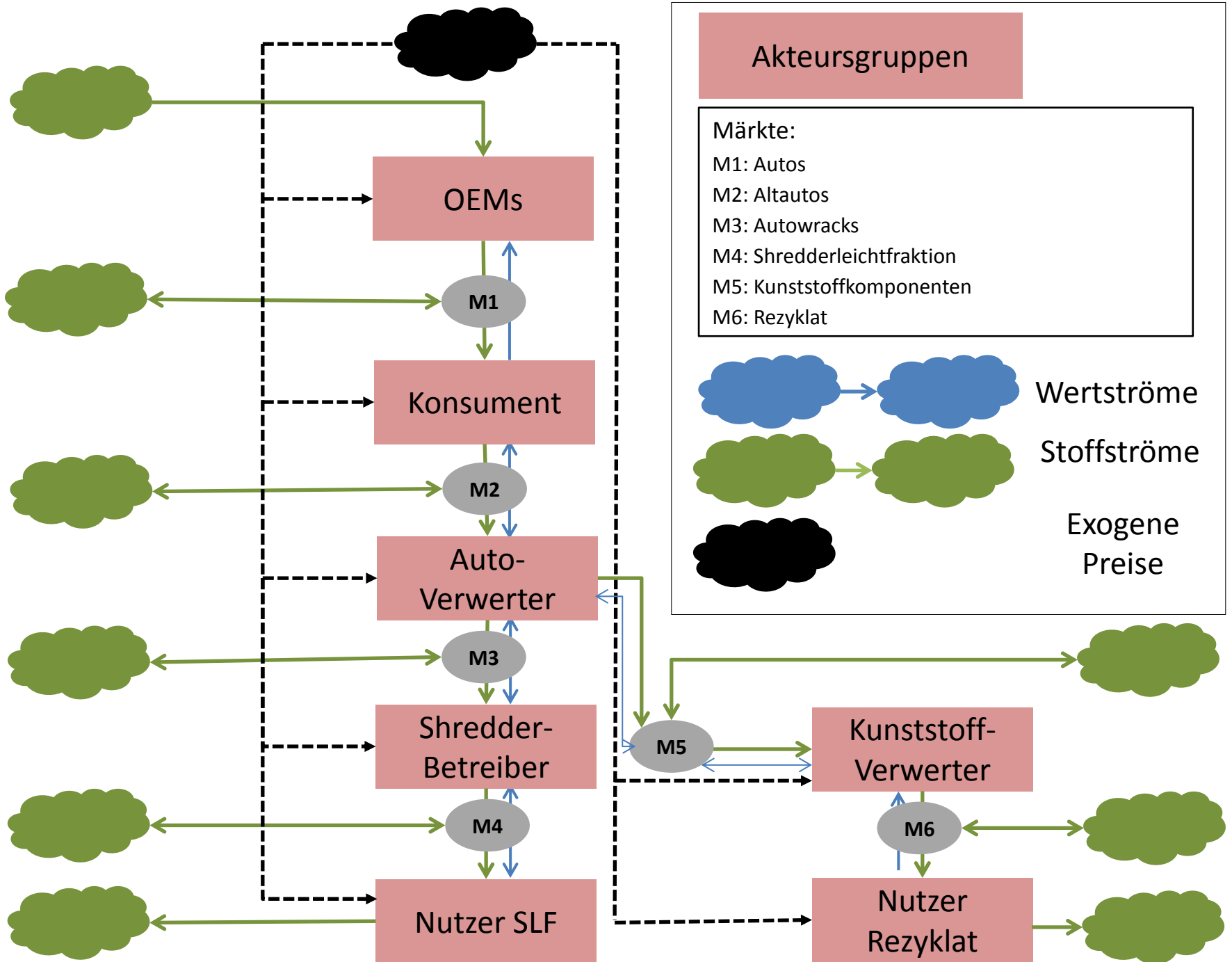
- Stoffstromsystem
 - Zusammenwirken von Akteuren bei der Bewirtschaftung eines Stoffstroms zur Erstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produkts
 - Ausbildung charakteristischer Stoffnutzungsmuster und Umweltwirkungen durch das Akteurshandeln
- Betrachtungsebenen von Stoffstromsystemen
 - Stoffströme
 - Umweltwirkungen
 - Akteure
 - Märkte
 - Institutioneller Rahmen
- Wirkungsbeziehungen
 - Auf den Ebenen
 - Zwischen den Ebenen

Multi-Agenten-Systeme

- Modellierungsverfahren aus der Forschung zur verteilten künstlichen Intelligenz und zu Expertensystemen
- Umgesetzt mit Hilfe der Objektorientierten Programmierung, ggf. unter Zuhilfenahme von Simulationsumgebungen (z.B. RePast)
- Agenten als Computerprogramme mit individuellen Zuständen und Handlungsmöglichkeiten
- Simulationsdynamik ergibt sich auf Basis der Handlungen und der Interaktion der Agenten
- Möglichkeit zur Abbildung verschiedener Formen der Interaktion zwischen den Agenten
- Abbildbarkeit von sonstigen Objekten und deren Modifikation, z.B. durch die Einwirkung von Agenten

Stoffstromsystem PKW-Kunststoffe

- Stoffstrom Kunststoffe
 - Produktion
 - Nutzung
 - Entsorgung und Rückführung
- Akteure
 - Grundstoffindustrie, Zulieferer, PKW-Hersteller (OEM), Auto-Hersteller, Konsumenten, Auto-Verwerter, Shredder-Betreiber, stoffliche Kunststoff-Verwerter, unterschiedliche Verwerter für SLF
- Märkte
 - Für Autos, Ersatzteile, Komponenten, Altautos, Autowracks, Shredder-Leichtfraktion (SLF), Alt-Komponenten, Rezyklate, sonstige Komponenten
- Institutionen
 - U.a. TA Siedlungsabfall/Deponieverordnung, Altauto-Verordnung



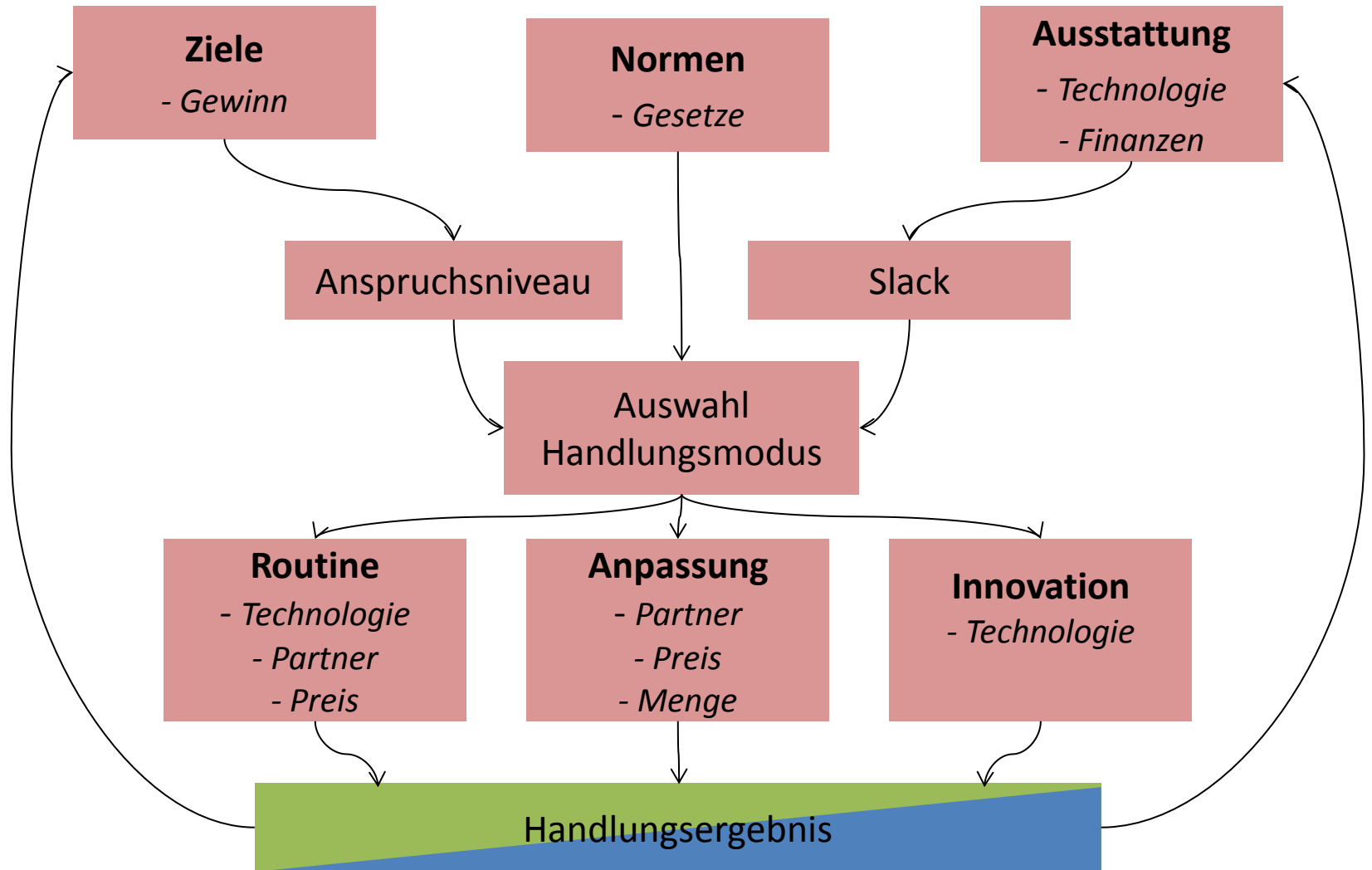
Einflussfaktoren auf das Stoffstromsystem

- Einflussfaktoren (Bsp.)
 - Rechtliche
 - Altfahrzeug-Verordnung
 - TA Siedlungsabfall/Deponieverordnung
 - Preisliche
 - Preise für erzeugte Sekundärrohstoffe
 - Nachfrage
 - Exportnachfrage nach Gebrauchtwagen und Altautos
 - Nachfrage nach Sekundärrohstoffen
 - Technologische
 - Design for Recycling/Dismantling
 - Variierende Materialzusammensetzung
 - Kostenreduktionspotentiale bei Auto-Verwertern
 - Wettbewerb
 - Alternative Entsorgungsverfahren
 - Sonstige

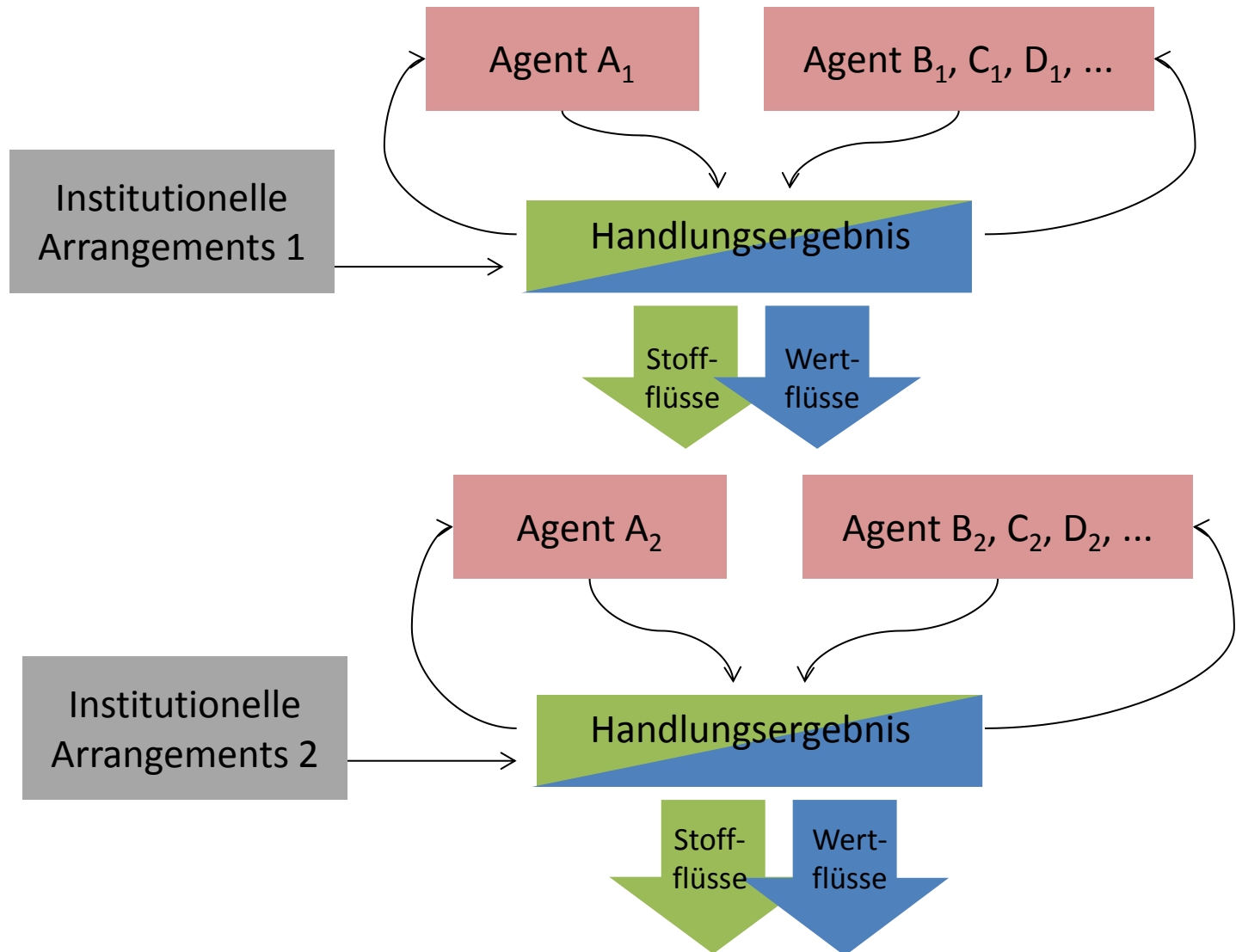
Konzeption eines aktorsbasierten Simulationsmodells

- Ziel
 - Identifikation und Abbildung wesentlicher Einflussfaktoren auf die Dynamik von Kunststoffen im Entsorgungssystem für PKW-Kunststoffe
 - Bewertung der Simulationsergebnisse anhand von ökonomischen und ökologischen Indikatoren
- Vorgehen
 - Spezifizierung einer Akteursarchitektur
 - Spezifizierung der Handlungsmöglichkeiten in Bezug auf den Stoffstrom
 - Spezifizierung von Interaktionsanlässen
 - Spezifizierung des Simulationsablaufs

Konzeption eines aktorsbasierten Simulationsmodells

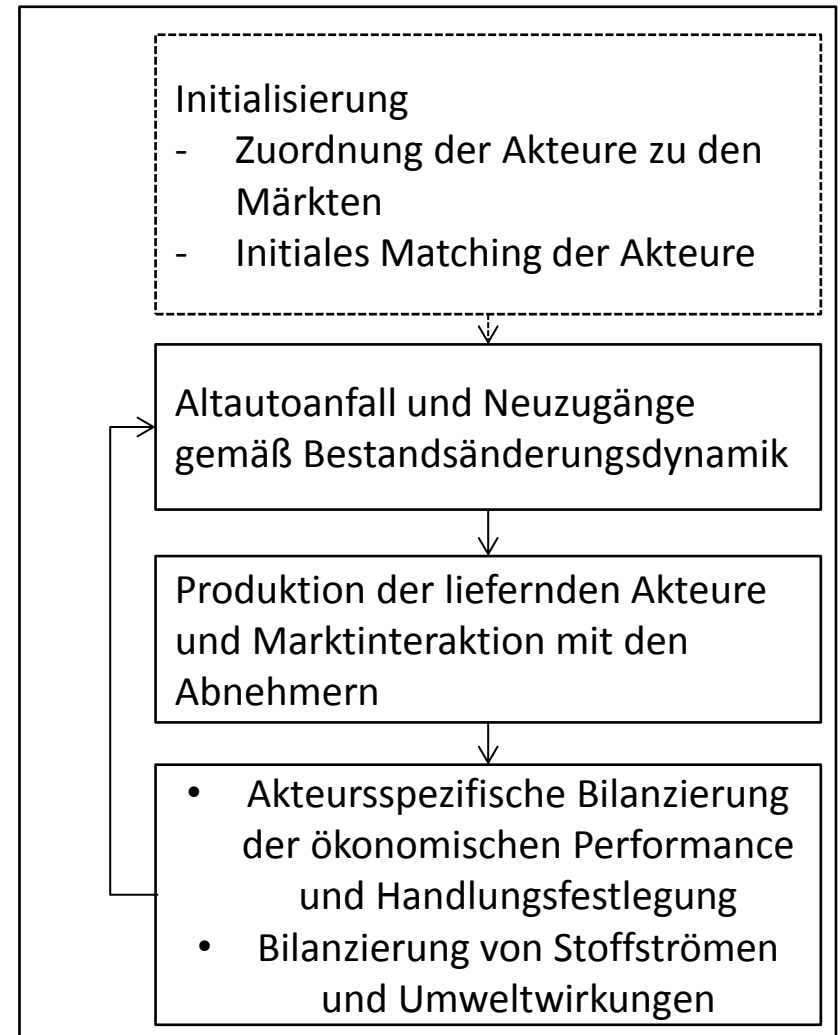


Konzeption eines aktorsbasierten Simulationsmodells



Konzeption eines aktorsbasierten Simulationsmodells

- **Modelldynamik**
 - Treiber des Modells ist eine empirisch kalibrierte Bestandsänderungsdynamik für PKW, die über einen funktionalen Zusammenhang teilendogenisiert ist
 - Weibull-Funktion für den Alterungsprozess der PKW
 - Gompertz-Funktion für die den gewünschten Bestand der PKW
 - Die Modelldynamik entfaltet sich auf den abgebildeten Märkten, die – ausgehend vom Markt für Altautos – sequentiell modelliert sind
 - Zum Ende eines Zeitschritts erfolgt die aktorspezifische Bilanzierung der Performance während eines Zeitschritts und die Festlegung des Handlungsprogramms für den nächsten Zeitschritt



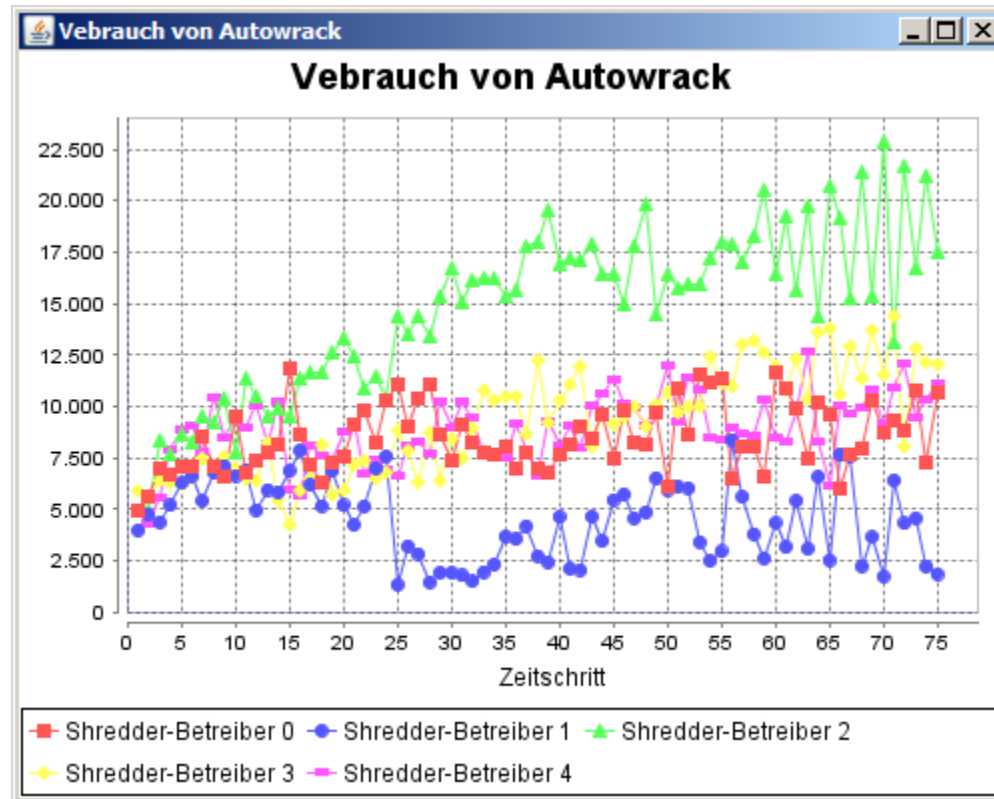
Simulationsstudien und Ergebnisse

- Referenzlauf
 - Abbildung von 1/10 des deutschen Verwertungssystems mit entsprechend skaliertes Anzahl von Akteuren
 - Kalibriert für den Zeitraum ab 2000 mit entsprechendem Regulierungsstand
 - Laufzeit 2000 bis 2030 (60 Zeitschritte)
- Simulationsstudien
 - Sondierung einzelne Einflussfaktoren
 - Rechtliche, preisliche, nachfragebezogene, technologische und verhaltensbezogene Einflussfaktoren
 - Monte-Carlo-Simulationen
 - Wirkungen von Kombinationen der Einflussfaktoren
 - Diffusion von Entsorgungsinnovationen
 - Entstehung von Innovationen
 - Steuerungsoptionen
 - Politische Regulation

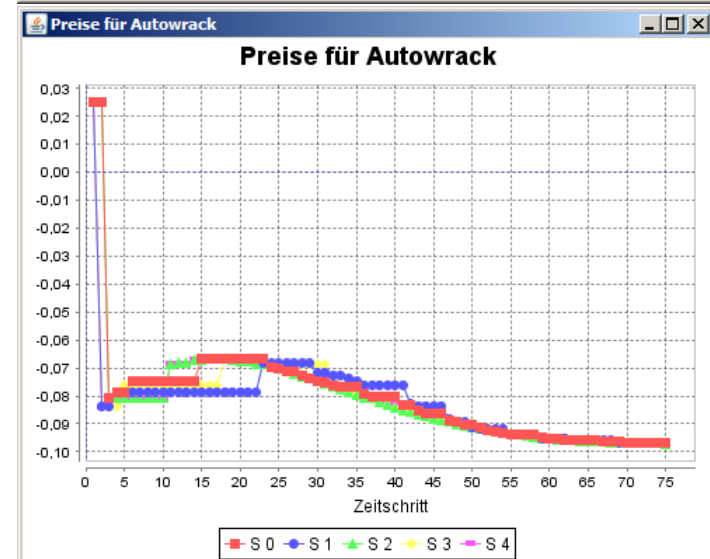
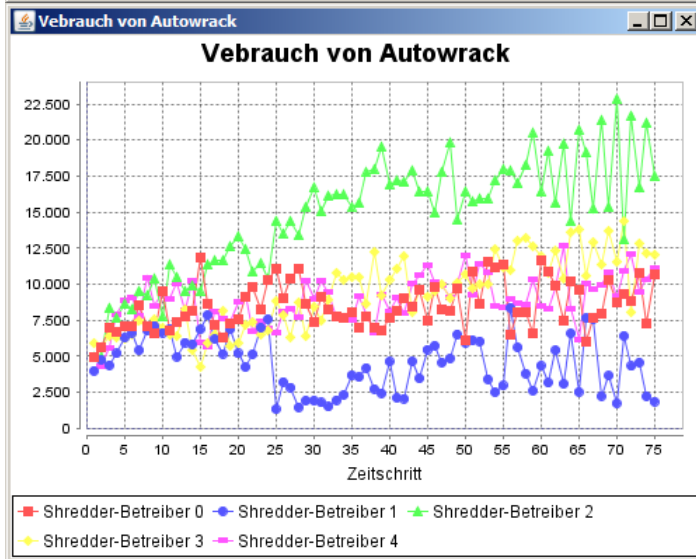
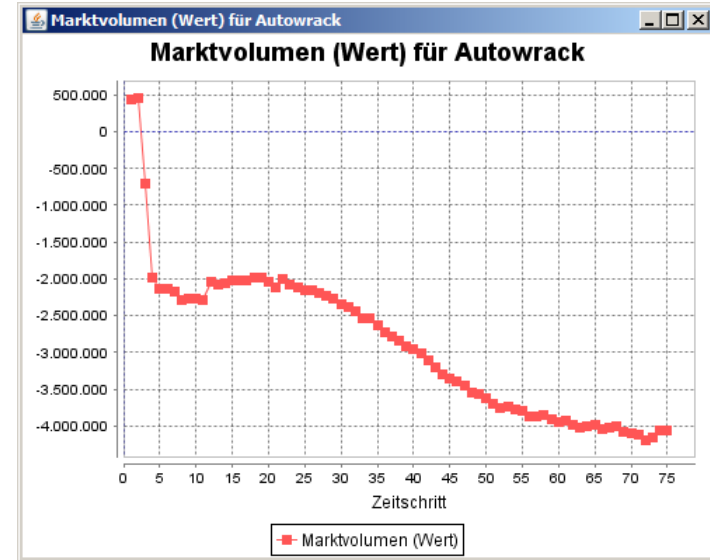
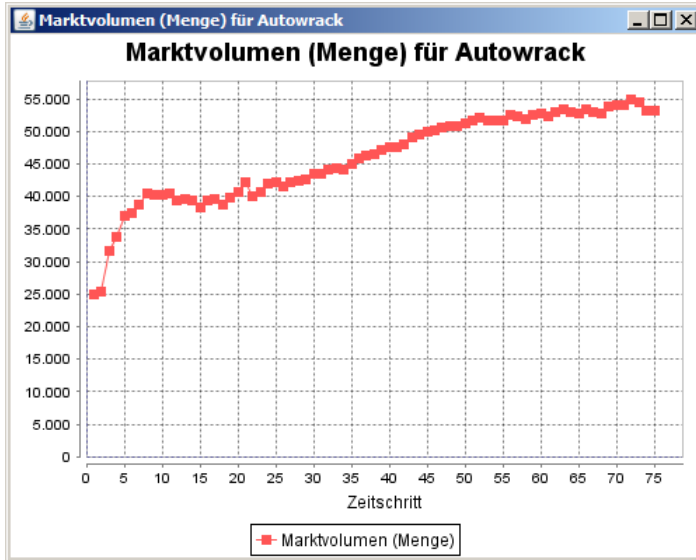
Simulationsstudien und Ergebnisse

- Indikatoren
 - Gewinn/Zahlungen
 - Auto-Verwerter, Shredder-Betreiber, Konsumenten
 - Umweltwirkungen
 - Verwertungsquoten nach Altfahrzeug-Verordnung, deponierte Shredder-Leichtfraktion
 - Marktstruktur
 - Austritte, Herfindahl-Index
 - Innovationswirkungen
 - Kostenreduktion
 - Marktanteil der verschiedenen Entsorgungsverfahren

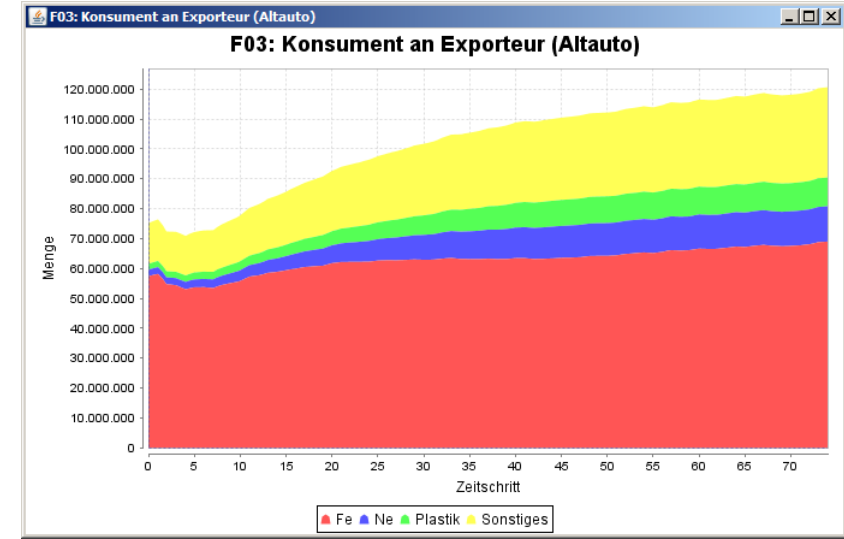
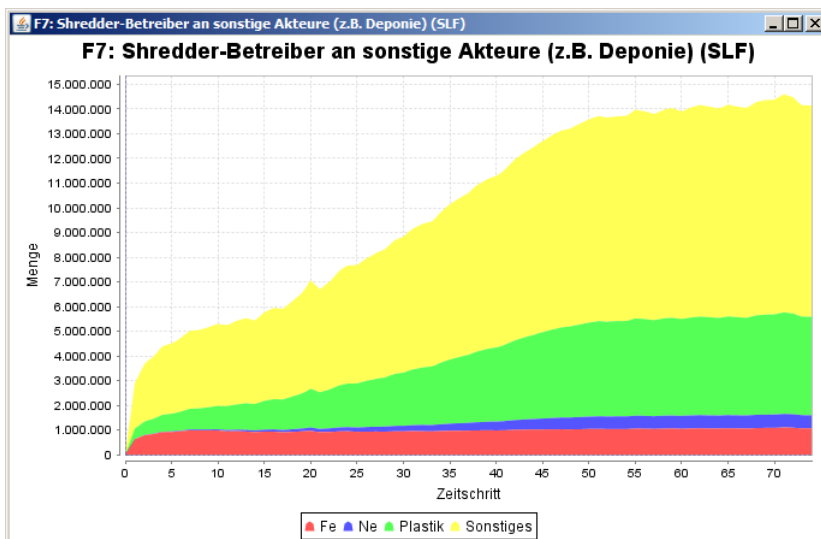
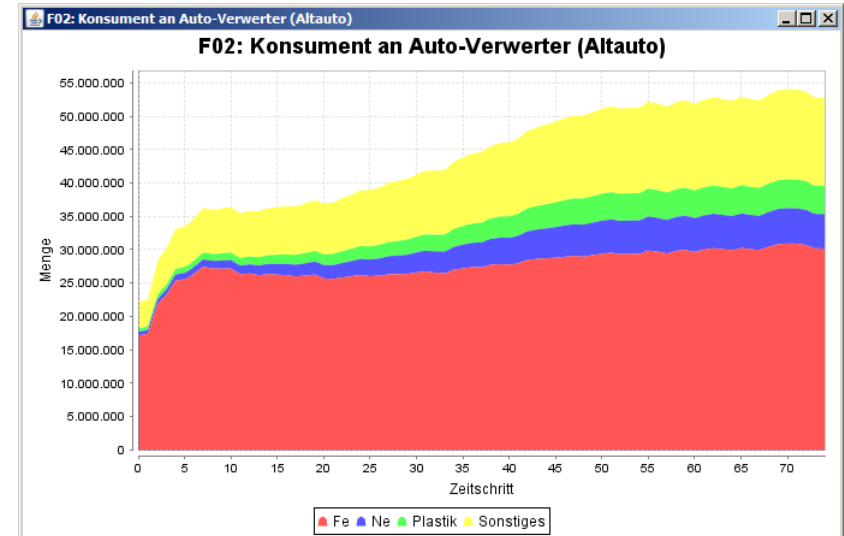
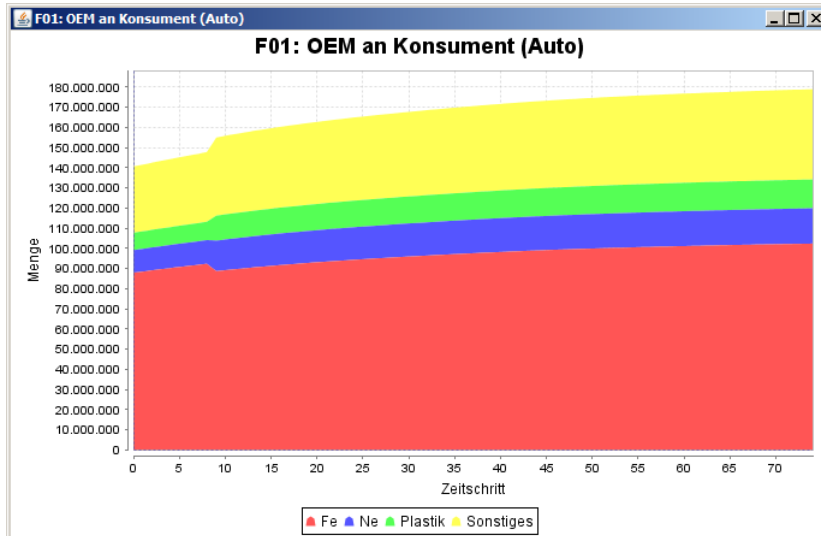
Referenzlauf: Akteursdaten (Bsp.)



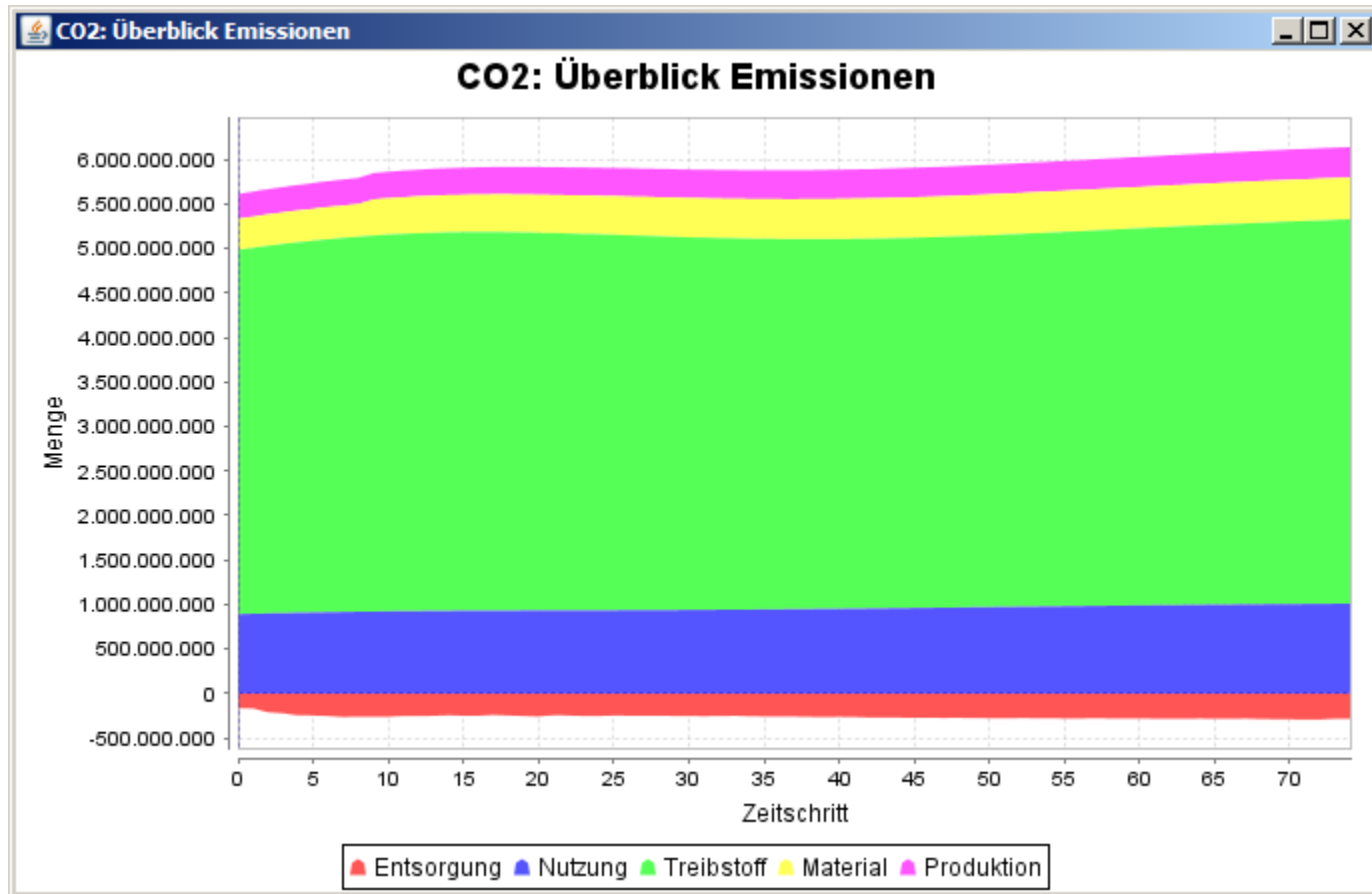
Referenzlauf: Marktdaten (Bsp.)



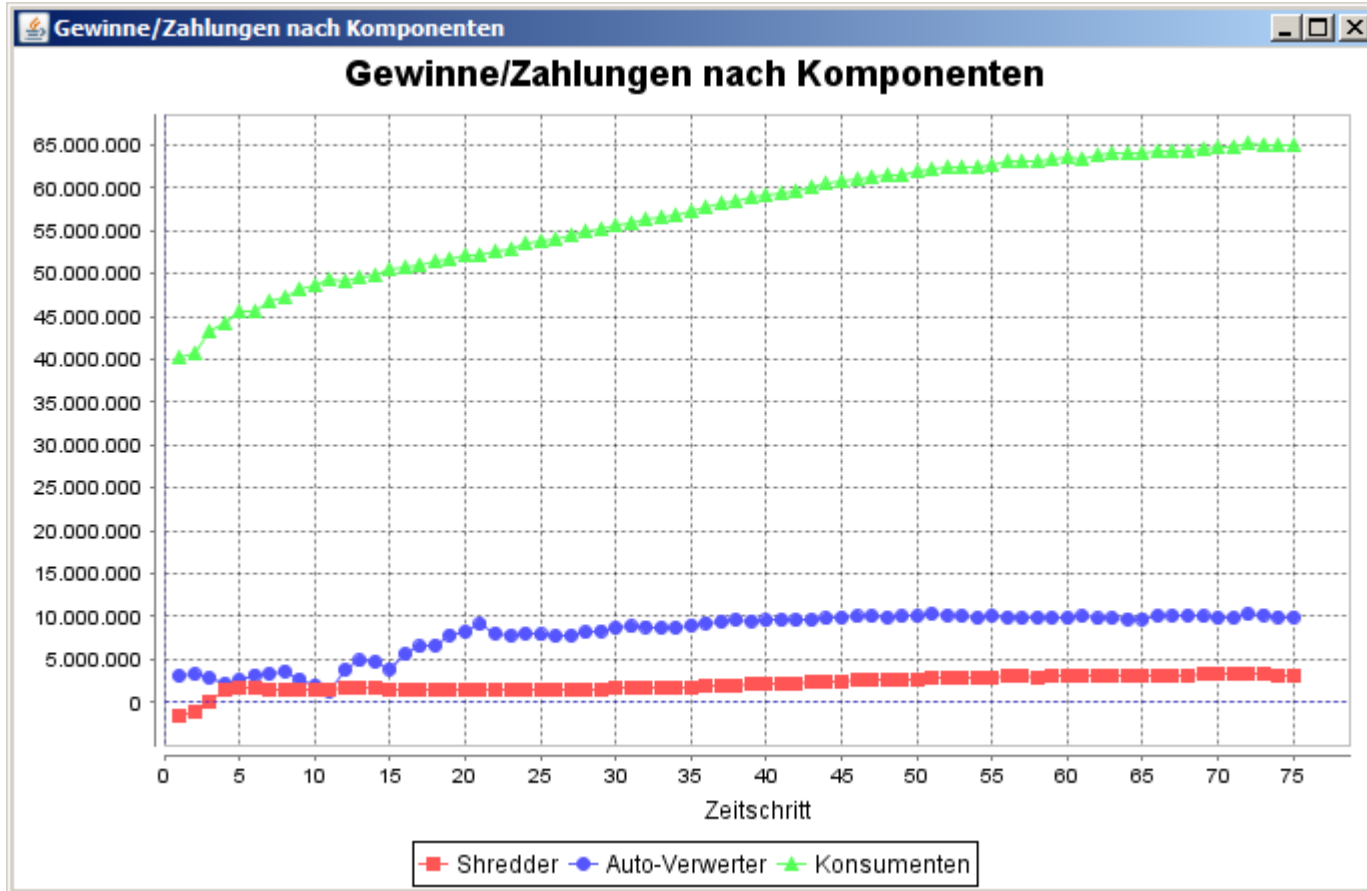
Referenzlauf: Stoffströme (Bsp.)



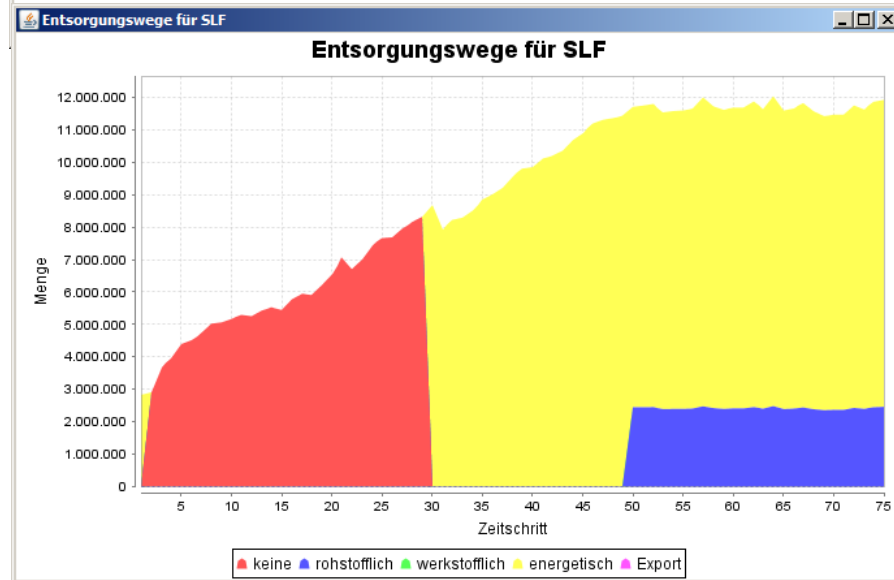
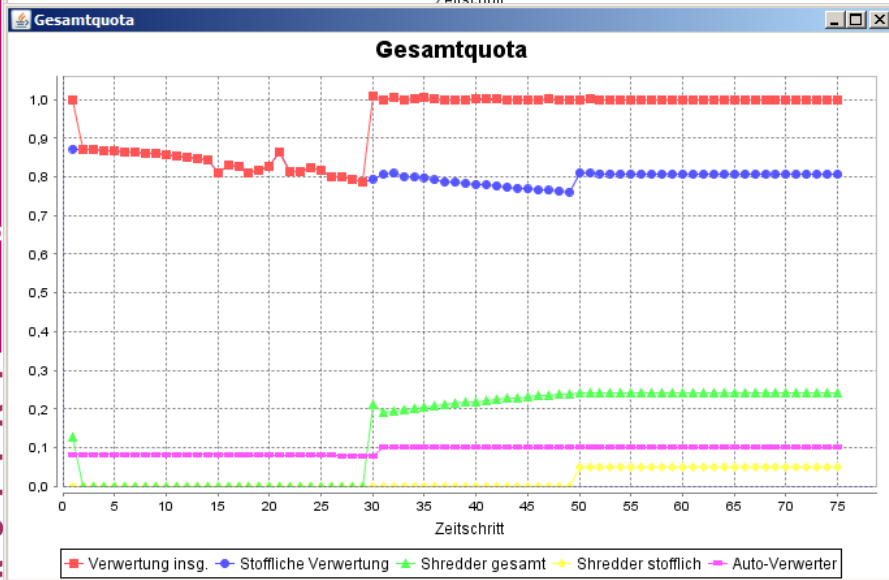
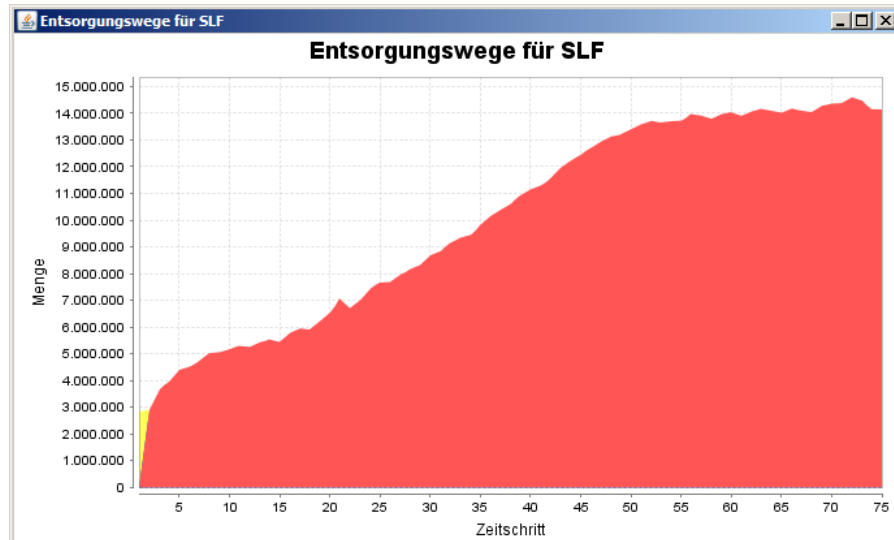
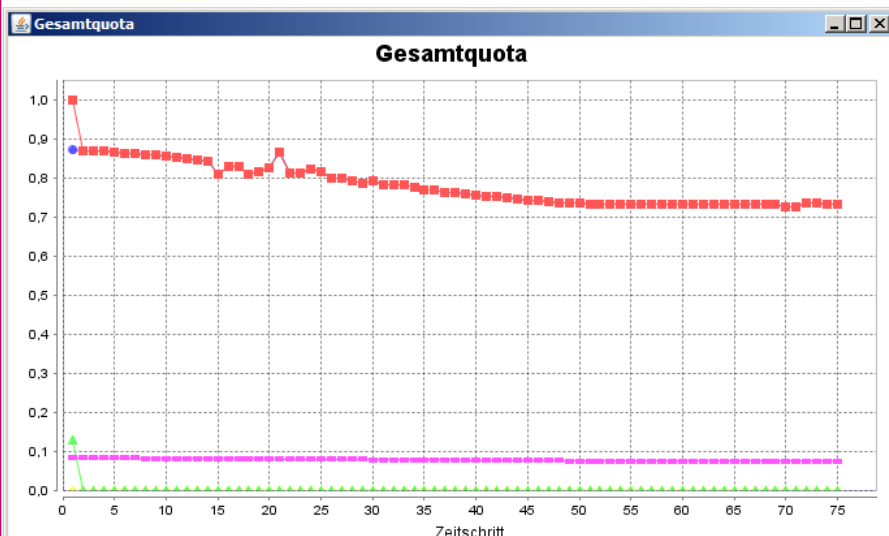
Referenzlauf: Umweltwirkungen (Bsp.)



Indikatoren (Bsp.)

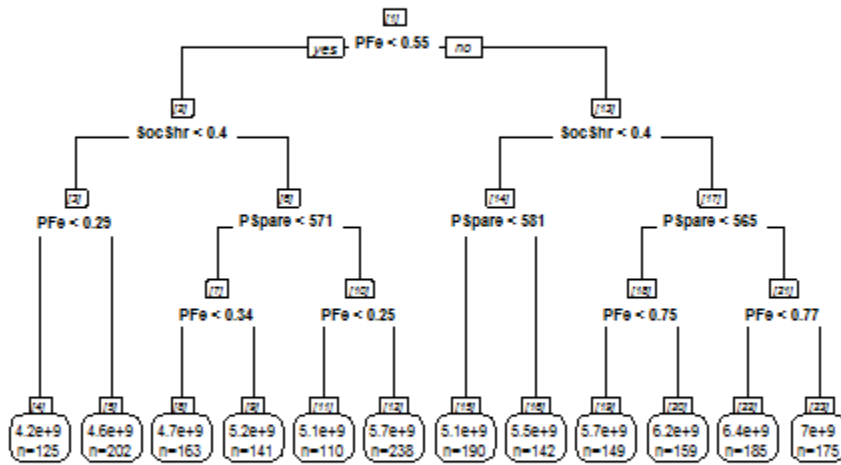


Indikatoren (Bsp.)



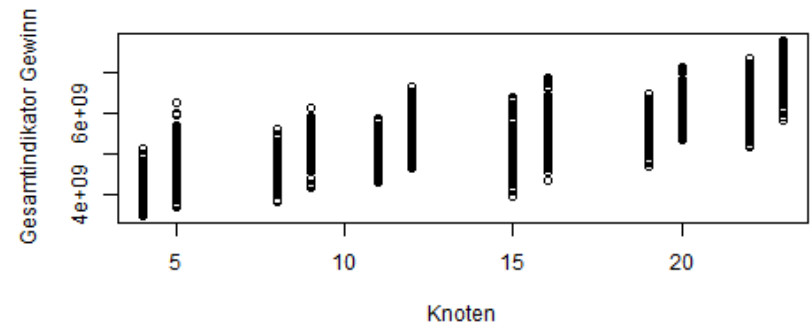
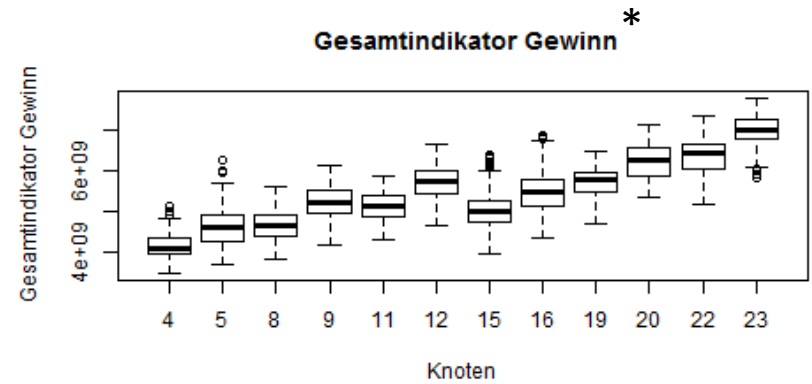
Oben: Fortschreibung des Regulationsstandes zum Jahr 2000, unten: Einwirkung von TAsi und AltfahrzeugVO

Einflussfaktoren auf den Gewinn



Anmerkungen:

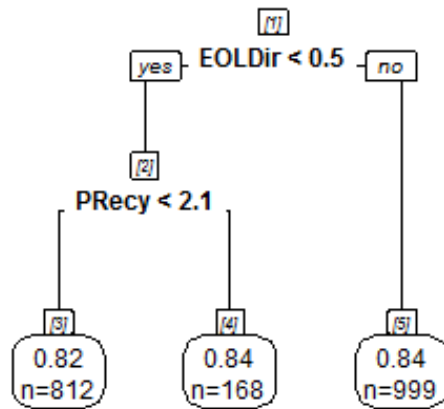
Variable	Erläuterung
PFe	Preis für Fe-Fraktion
PSpare	Preis für Ersatzteile
SocShr	Übergabefaktor des Shredders; gibt den Prozentsatz der exogenen Erlöse an, die an die Verwerter in Form höherer Annahmepreise weitergegeben werden



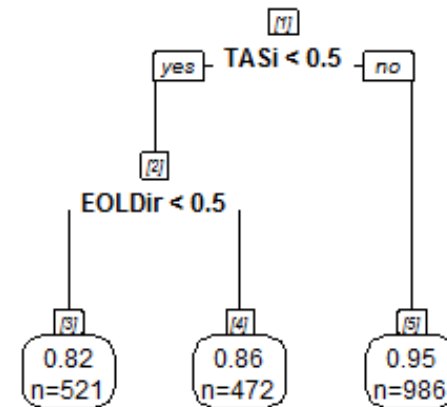
* Kumulierter Gewinn des Szenarios.

Einflussfaktoren auf die Verwertungsoptionen

Einflussfaktoren auf die stoffliche Verwertung
(gewichtete Recycling-Quote über den Lauf)

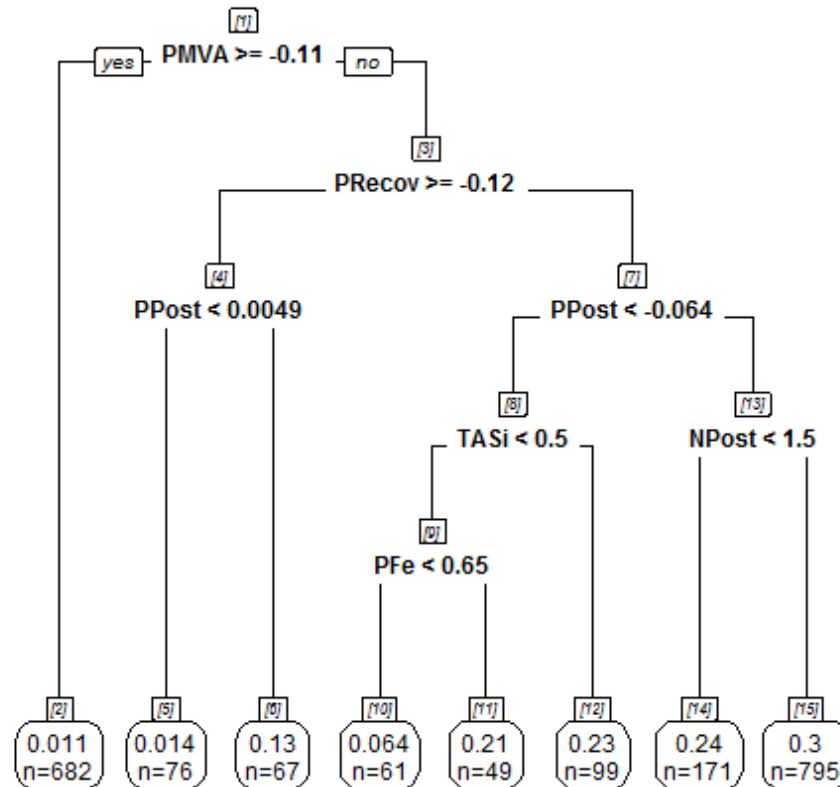


Einflussfaktoren auf die gesamte Verwertung
(gewichtete Verwertungsquote über den Lauf)



Variable	Erläuterung
PRecy	Preis für Kunststoff-Rezyklat
EOLDir	Gibt an, ob Altfahrzeug-Verordnung wirksam (1: ja, 0: nein)
TASi	Gibt an, ob TA Siedlungsabfall/Deponieverordnung wirksam (1: ja, 0: nein)

Einflussfaktoren auf die Diffusion von Postshredder-Technologien



Variable	Erläuterung
PPost	Preis für Postshredder-Material
PFe	Preis für Fe-Fraktion
PMVA	Annahmepreis von Müllverbrennungsanlage
PRcov	Annahmepreis von Anlage zur rohstofflichen Verwertung
NPost	Anzahl der eintretenden Post-Shredder-Akteure

Ausgewählte Ergebnisse

- Allgemeine, als relevant identifizierte Einflussfaktoren
 - Große Bedeutung der Preise von Sekundärrohstoffen (insbesondere Eisen) und der Nachfrage nach Ersatzteilen für den Gewinn
 - Zusätzlich Einfluss verhaltensbezogener Aspekte, besondere Relevanz der sozialer Aspekte, d.h. „Teilen“ der Erträge entlang der Stoffstromkette
 - Gilt sowohl global für das System als auch für die Performance der Einzelnen Akteure, ist aber abhängig von der Konstellation der Preise
 - Qualitative Veränderungen der Umweltnutzung durch Regulation oder vergleichsweise hohe Preise für Sekundärrohstoffe
- Diffusion von zukünftigen Verwertungsoptionen, hier exemplarisch Postshredder-Technologien
 - Ebenfalls starker Einfluss preislicher Aspekte
 - Insbesondere bei Postshredder-Technologien Diffusion auch ohne flankierende Regulation möglich

Fazit und Ausblick

- Empirie
 - Empirische Fundierung des Akteursverhaltens
 - Firmen-Akteure und Konsumenten
 - Ausweitung des Untersuchungsrahmens
 - Im Untersuchungsfeld
 - Integration von Wettbewerbsdynamiken auf der Primärstufe
 - Elektromobilität
 - Alternative Mobilitätskonzepte allgemein
 - Übertragung auf andere Anwendungsfelder
 - Elektrogeräte, Batterien, Papier, Verpackungsmaterial ...
- Instrumente
 - Spezifische Instrumente zur Beeinflussung des Stoffstromsystems, z.B. Steuern/Abgaben, Innovationsförderungen, veränderte Entsorgungs-/Verwertungsanforderungen, Förderung der Vermarktung von Gebrauchtteilen
 - Unterschiedliche Möglichkeiten zur Ausgestaltung der Produktverantwortung
 - Pfandsystem
 - Herstellernetzwerke
 - Staatlich verwaltetes System
 - Spezifische Stoffstrom-Strategien der beteiligten Akteure