



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Automobilwirtschaft
und Industrielle Produktion



Koordination verteilter Produktentwicklungsprozesse Dargestellt am Beispiel der recyclinggerechten Konstruktion von Fahrzeugen

Kerstin Schmidt

20. Mai 2011, DoWoNo

Gliederung

1. Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen
2. Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse
3. Fazit und Ausblick

Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen

- 2010 – 2015: 10 bis 14 Millionen Tonnen Abfälle aus Altfahrzeugen jährlich in der EU-Gemeinschaft

→ EU Richtlinie 2000/53/EG: Umgang mit Altfahrzeugen

→ Gesetzliche Vorgaben von Wiederverwendungs-, Verwertungs- und Recyclingquoten für Altfahrzeuge



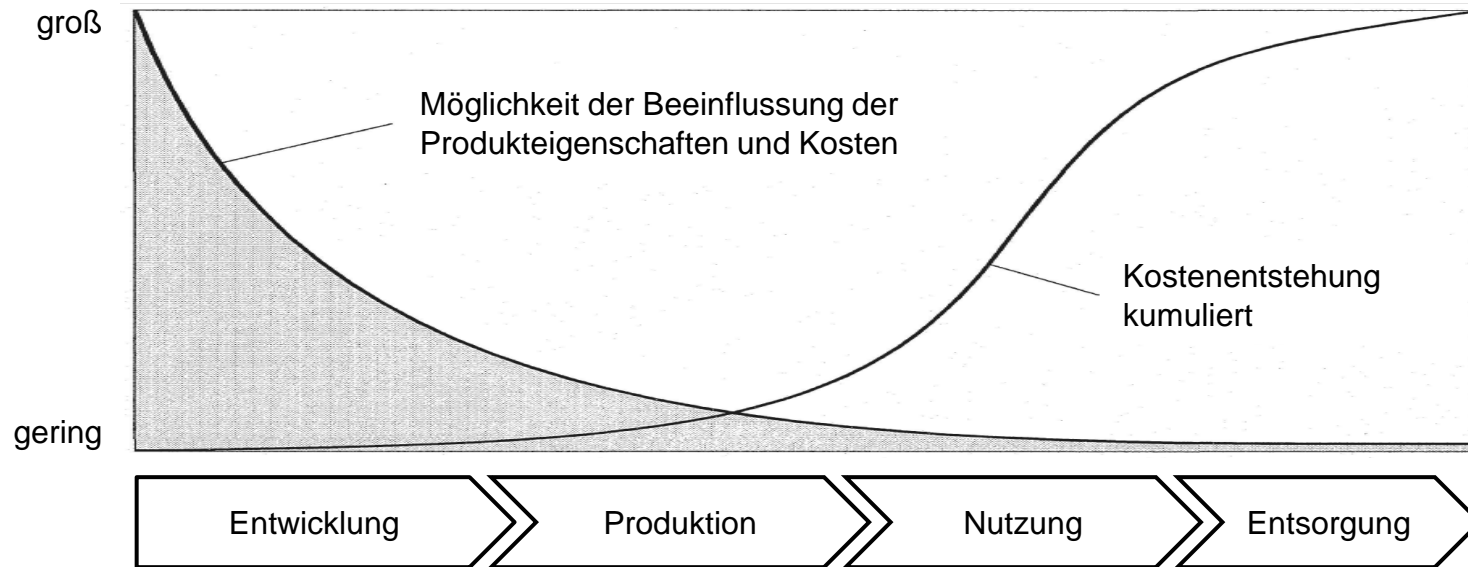
	2006 §§	2008 Ist-Stand	2015 §§
Wiederverwendungs- und Verwertungsquote	85 %	86,8 % <	95 %
Wiederverwendungs- und Recyclingquote	80 %	84,0 % <	85 %

Wie können die gesetzlich vorgegebenen Quoten bis 2015 erreicht werden?

Quelle: eurostat (2011)

20. Mai 2011 | DoWoNo | Kerstin Schmidt | Koordination verteilter Produktentwicklungsprozesse | Seite 3

Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen

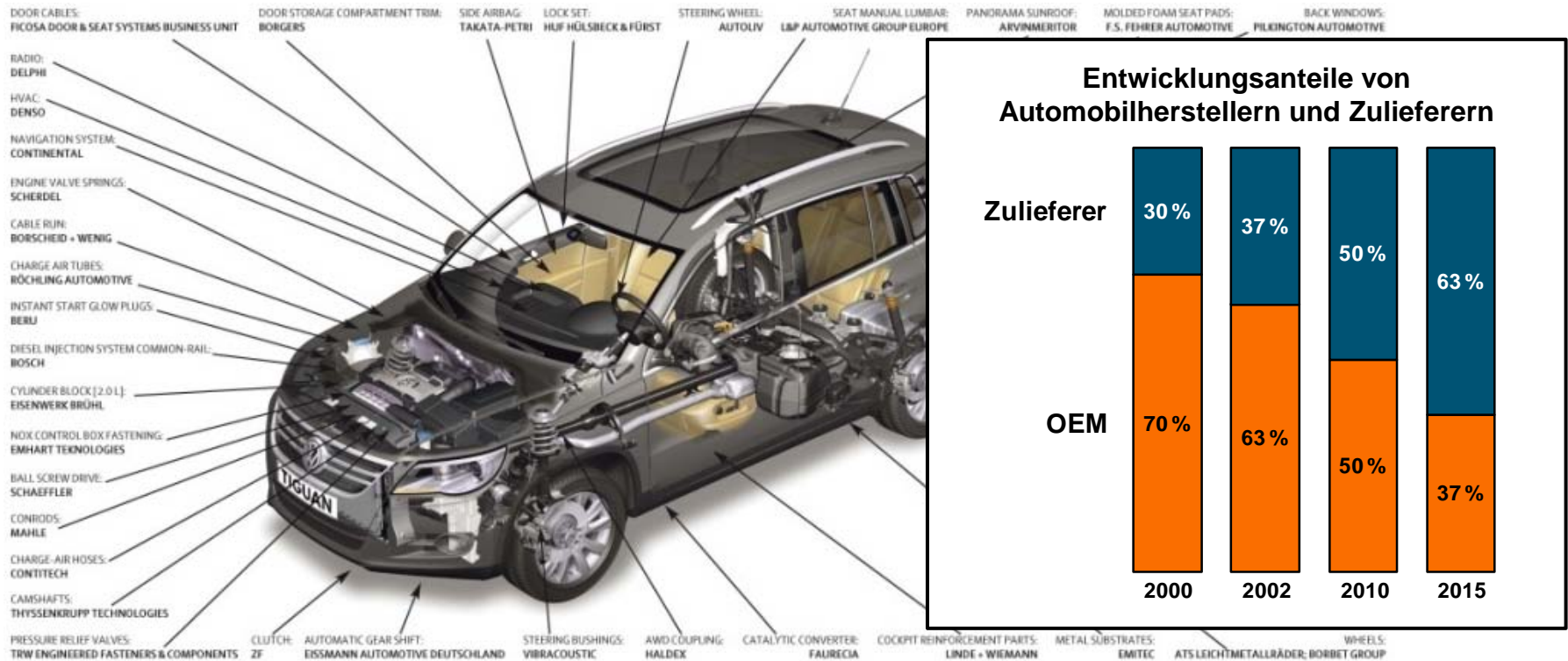


- Größtmögliche Beeinflussbarkeit der Recyclingfähigkeit in der Fahrzeugentwicklung:
 - EU Richtlinie 2005/64/EG
 - Nachweis der Einhaltung der vorgegeben Quoten bei der EU-Typgenehmigung durch den Automobilhersteller (OEM = Original Equipment Manufacturer)

Quelle: in Anlehnung an Ehrlenspiel (2007)

20. Mai 2011 | DoWoNo | Kerstin Schmidt | Koordination verteilter Produktentwicklungsprozesse | Seite 4

Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen

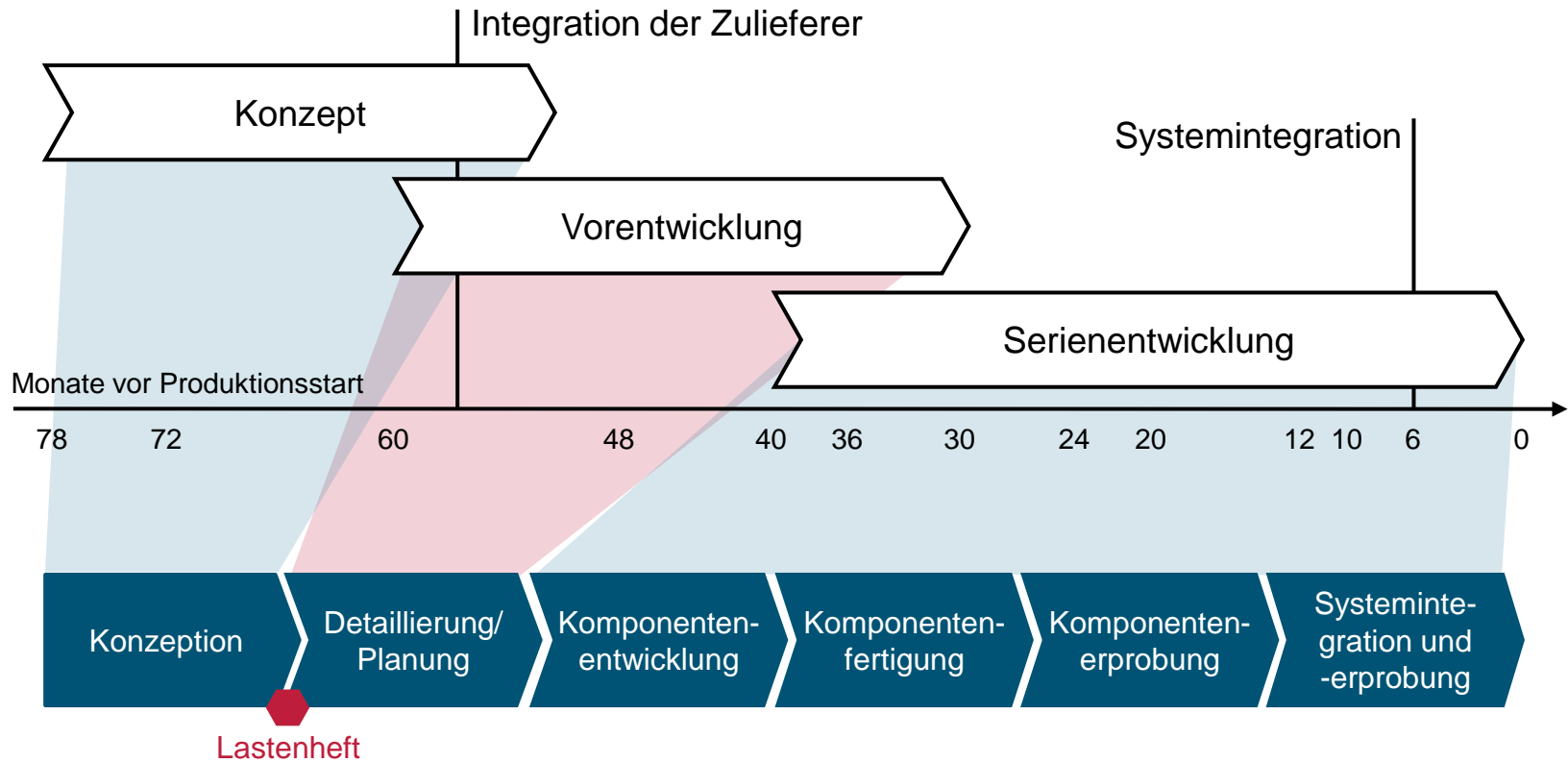


**Komponentenentwicklung durch Zulieferer,
aber Verantwortung der Einhaltung der Recyclingquoten liegt beim OEM**

Quelle: Automotive News Europe (2010); Automobil Produktion (2011)

20. Mai 2011 | DoWoNo | Kerstin Schmidt | Koordination verteilter Produktentwicklungsprozesse | Seite 5

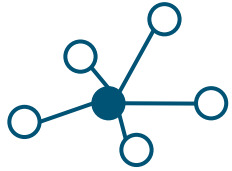
Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen



Quelle: Böhme (2004); UNITY (2009)

20. Mai 2011 | DoWoNo | Kerstin Schmidt | Koordination verteilter Produktentwicklungsprozesse | Seite 6

Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen



Komplexe Netzwerke

Erhöhte Prozesskomplexität führt zu zeitlichen Verzögerung von Entwicklungsprozessen durch eine Vielzahl an Änderungsschleifen



Eigenständige und unabhängige Entwicklung der Zulieferer

Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (z. B. Recyclingquoten) werden bei der Entwicklung nicht adäquat berücksichtigt



Produktkomplexität

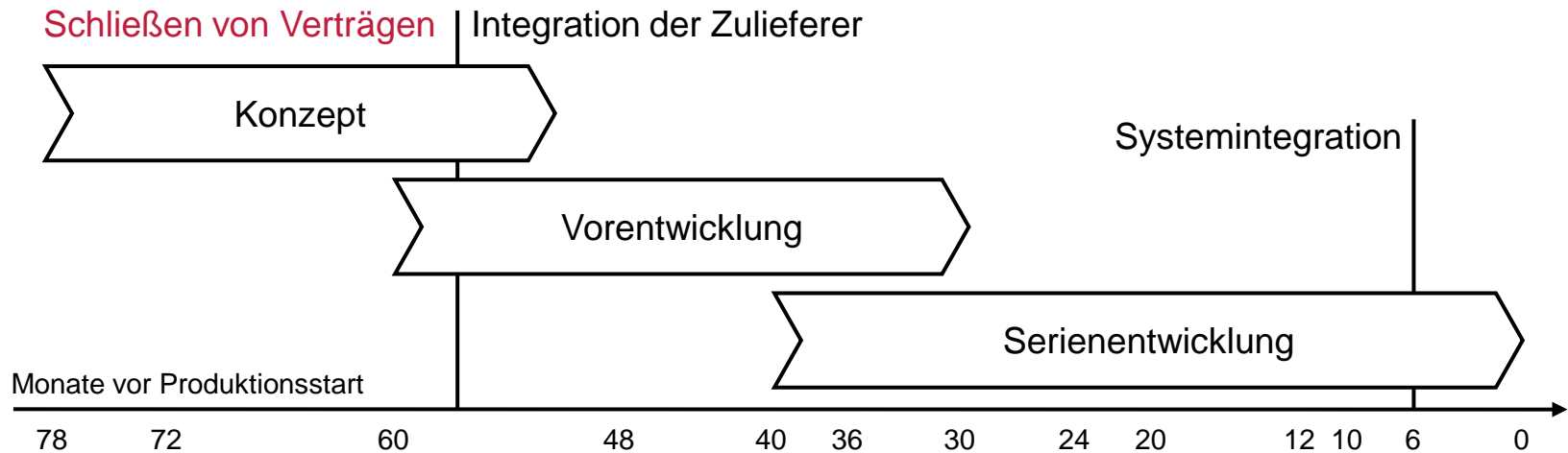
Lokale Verfügbarkeit der Daten, unsichere Informationen über die Kostenentstehung



Uneinheitliche und/oder unsichere Datenbasis

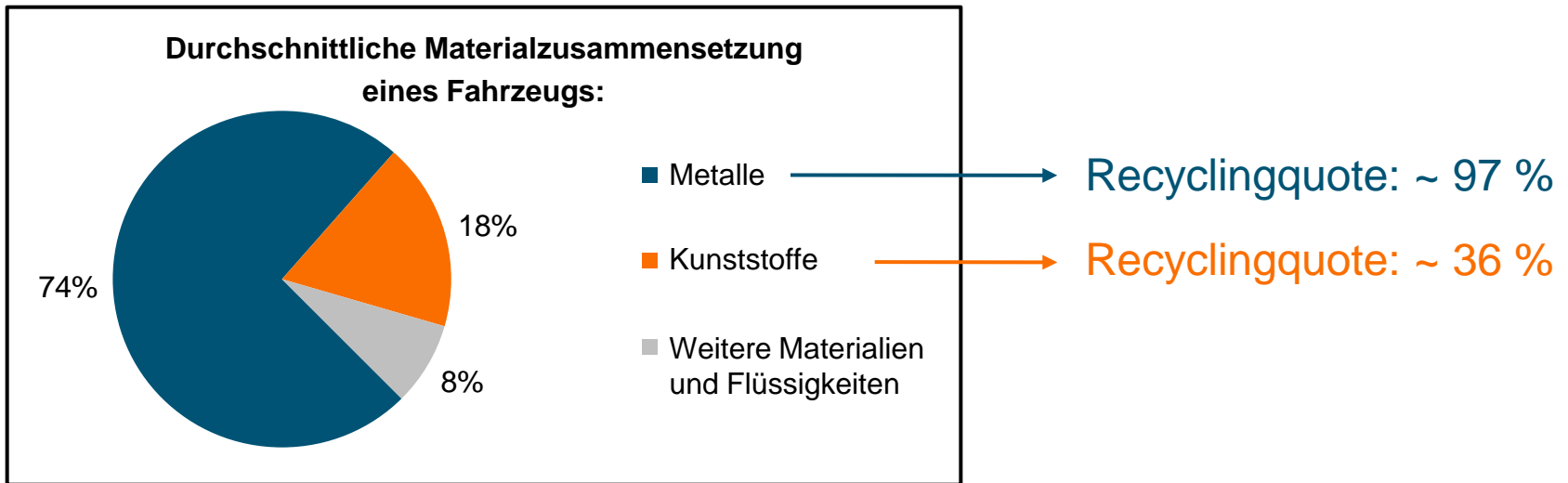
Koordinationsbedarf

Herausforderungen in verteilten Fahrzeugentwicklungsprozessen



Ziel:
Entwicklung eines analytischen Optimierungsmodells
zur Analyse der Koordinationsfähigkeit von Verträgen
in verteilten Produktentwicklungsprozessen

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse



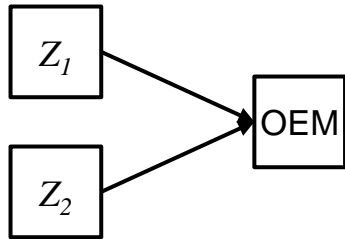
- Fokus zur Erhöhung der Recyclingquote:
Komponenten mit einem hohen Anteil an Kunststoffen
- Vielzahl an technischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit

Effiziente Erhöhung der Recyclingquote

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Abhängigkeiten zwischen Komponenten

- Akteure im Fahrzeugentwicklungsprozess:



- OEM: Entwicklung eines Fahrzeugs mit Recyclingquote S durch Integration der Komponenten
 - Zulieferer Z_1 : Komponente K_1 mit Recyclingquote s_1 und Masse m_1
 - Zulieferer Z_2 : Komponente K_2 mit Recyclingquote s_2 und Masse m_2
- Recyclingquote S des Fahrzeugs ergibt sich aus den der Recyclingquoten s_i der Komponenten:

$$S = \underbrace{\frac{m_1}{m_1 + m_2}}_{\tau_1} \cdot s_1 + \underbrace{\frac{m_2}{m_1 + m_2}}_{\tau_2} \cdot s_2 = \tau_1 \cdot s_1 + \tau_2 \cdot s_2$$

**Substitutionale Abhängigkeiten
zwischen den Komponenten**

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Stochastisches Entwicklungsergebnis

- Recyclingquote s_i der Komponenten K_i hängt von der Entwicklungsanstrengung w_i der Zulieferer ab: $s_i = f(w_i) = \lambda_i \cdot w_i$

Aber:

Unsicherheiten im Entwicklungsprozess

Durch Entwicklungsanstrengung w_i erzielbare
Recyclingquote s_i unsicher

- Modellierung des stochastischen Entwicklungsergebnisses:

$$\hat{s}_i = \hat{f}(\alpha_i, w_i) = \alpha_i \cdot \lambda_i \cdot w_i$$

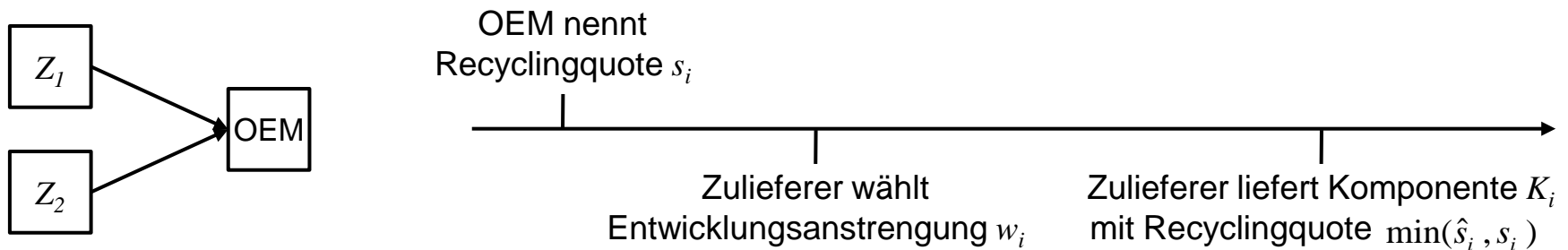
α_i Zufallsvariable, $0 \leq \alpha_i \leq 1$

mit: Dichte $g_i(\alpha_i)$

Verteilungsfunktion $G_i(\alpha_i)$

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Problemcharakterisierung



- **Ein-periodiges** Problem
- **Konvergierende** Supply Chain-Struktur
- **Substitutionale Abhängigkeiten** zwischen den Komponenten
- Durch Entwicklungsanstrengung erzielbares Ergebnis des Produktentwicklungsprozesses **stochastisch**

Supply Chain Management-Literatur: Montageprozesse mit zuliefererseitiger stochastischer Ausbringung (Assembly systems with stochastic yields)

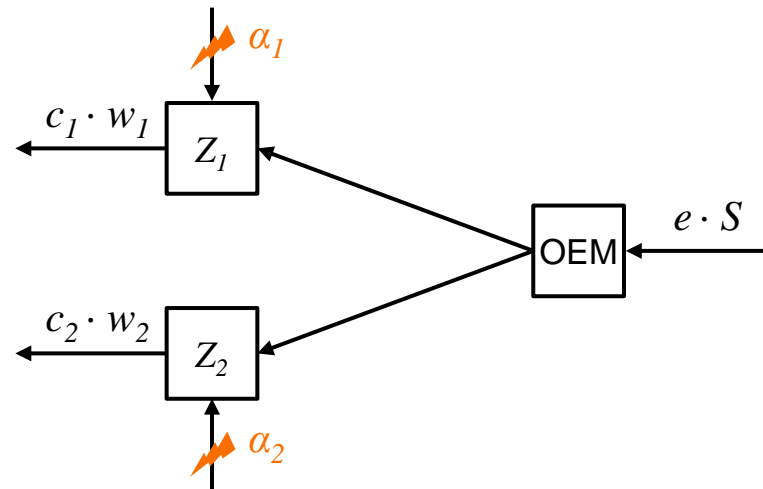
Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Supply Chain Coordination-Literatur

	Deterministische Nachfrage	Stochastische Nachfrage
Serielle SC	Inderfurth/Clemens (2011)	Milner/Pinker (2001) He/Zhang (2008) etc.
Konvergierende SC	$S = \min\{s_1, s_2\}$ Gurnani/Gerchak (2007) Yan/Zhang/Liu (2010)	Güler/Bilgiç (2009)
	$S = f(s_1, s_2)$ $= s_1 + s_2$ Schmidt/Volling/Spengler (2011)	

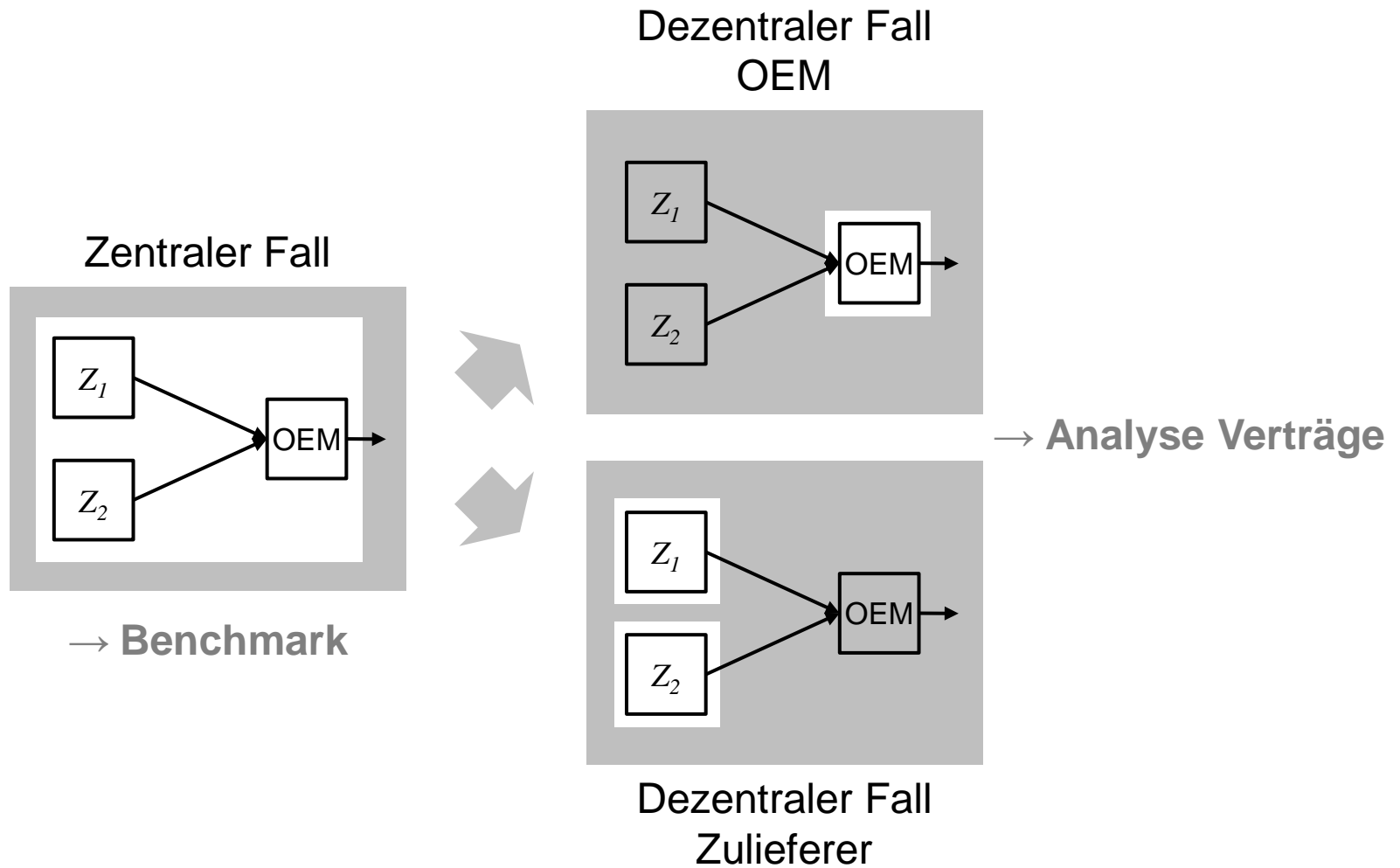
Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Modellnotation



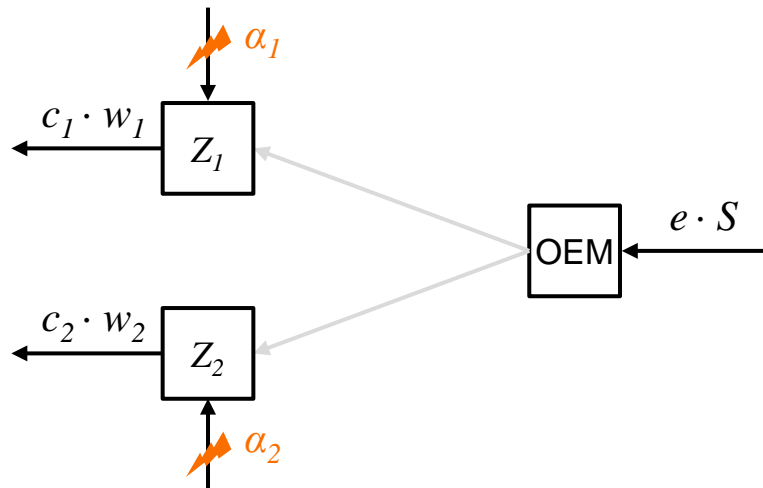
	Z_i		OEM
Entscheidungsvariablen	w_i		s_i
Zufallsvariablen	α_i		
Entwicklungskosten und -erlöse	$c_i \cdot w_i$		$e \cdot S$

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse



Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Zentraler Fall



Erwarteter Gewinn:

$$\Pi^c = e \cdot E \left\{ \min \left(\tau_1 \cdot \hat{s}_1 + \tau_1 \cdot \hat{s}_2, S \right) \right\} - [c_1 \cdot w_1 + c_2 \cdot w_2]$$

Erwarteter Erlös

Entwicklungskosten

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

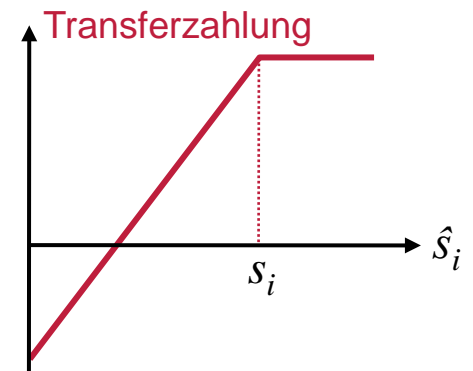
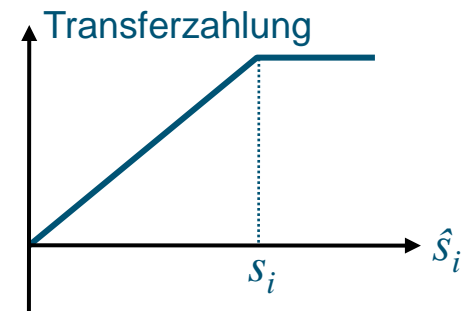
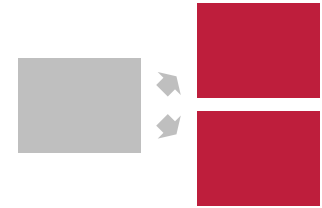
Dezentraler Fall

- Kooperation auf Basis von Verträgen
- Zwei Vertragsarten:
 - **Stückpreisvertrag (Wholesale price contract):**
OEM zahlt dem Zulieferer einen Preis in Abhängigkeit der erreichten Recyclingquote \hat{s}_i und der vorgegebenen Recyclingquote s_i

$$\text{Preis} = e_i \cdot \min(\hat{s}_i, s_i)$$

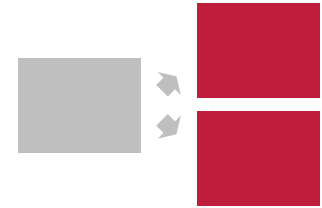
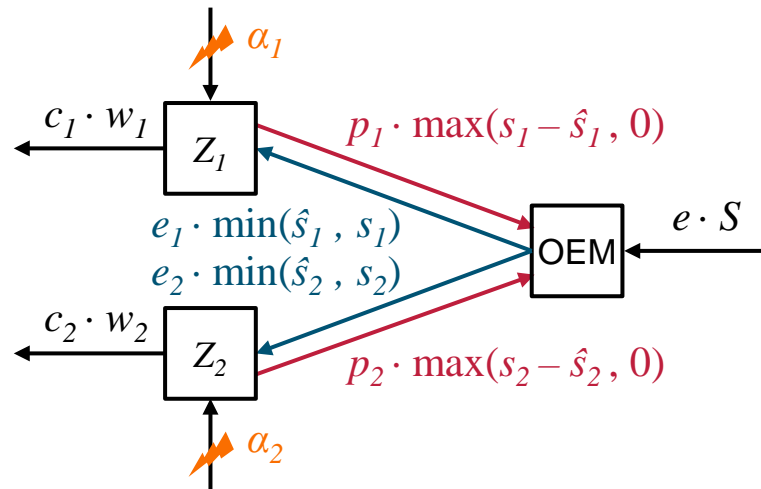
- **Strafvertrag (Penalty contract):**
Stückpreisvertrag + Bestrafung des Zulieferers durch Zahlung von Strafkosten an den OEM in Abhängigkeit der Abweichungen der erreichten Recyclingquote \hat{s}_i von der vorgegebenen Recyclingquote s_i

$$\text{Strafkosten} = p_i \cdot \max(s_i - \hat{s}_i, 0)$$



Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Dezentraler Fall – Modellnotation



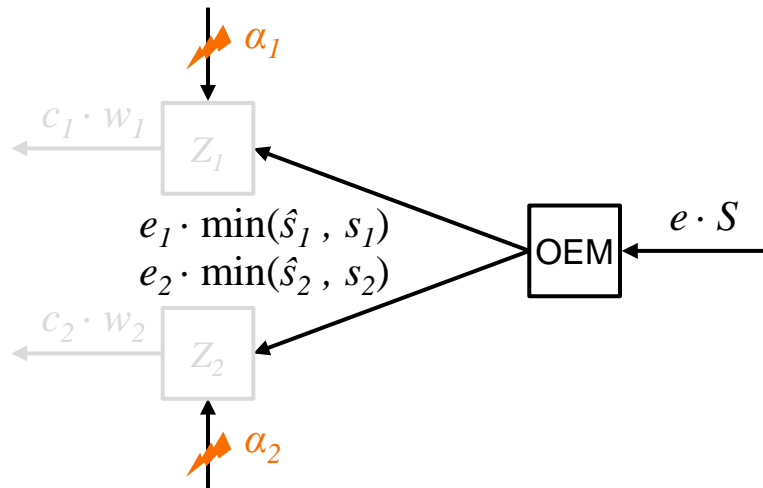
	Z_i	Vertragsparameter	OEM
Entscheidungsvariablen	w_i		s_i
Zufallsvariablen	α_i		
Entwicklungskosten und -erlöse	$c_i \cdot w_i$	$e_i \cdot \min(\hat{s}_i, s_i)$	$e \cdot S$
Strafkosten		$p_i \cdot \max(s_i - \hat{s}_i, 0)$	

Stückpreisvertrag

Strafvertrag

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Dezentraler Fall – OEM



Erwarteter Gewinn OEM – Stückpreisvertrag:

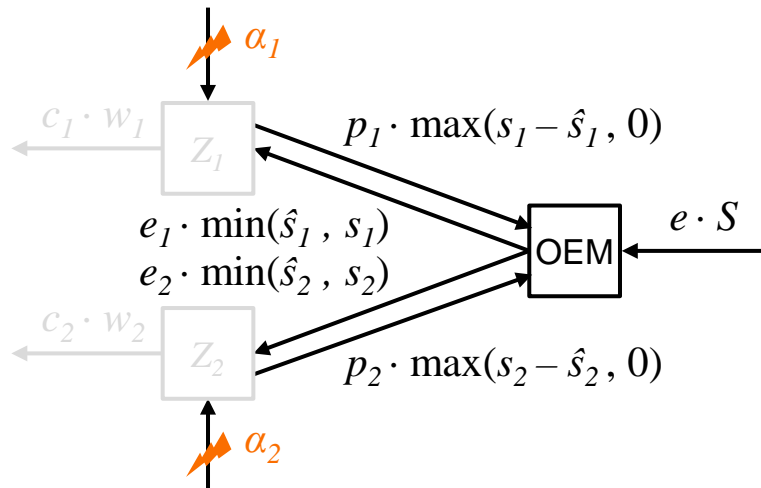
$$\Pi^{OEM} = e \cdot E\left\{ \min(\tau_1 \cdot \hat{s}_1 + \tau_2 \cdot \hat{s}_2, S) \right\} - \sum_{i=1}^2 e_i \cdot E\left\{ \min(\hat{s}_i, s_i) \right\}$$

Erwarteter Erlös

Erwartete Komponentenkosten

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Dezentraler Fall – OEM



Erwarteter Gewinn OEM – **Strafvertrag**:

$$\begin{aligned} \Pi^{OEM} &= e \cdot E \left\{ \min(\tau_1 \cdot \hat{s}_1 + \tau_2 \cdot \hat{s}_2, S) \right\} \\ &\quad - \sum_{i=1}^2 e_i \cdot E \left\{ \min(\hat{s}_i, s_i) \right\} \\ &\quad + \sum_{i=1}^2 p_i \cdot E \left\{ \max(s_i - \hat{s}_i, 0) \right\} \end{aligned}$$

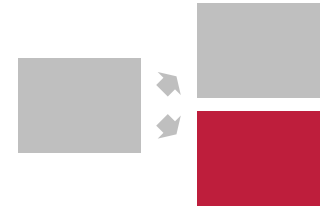
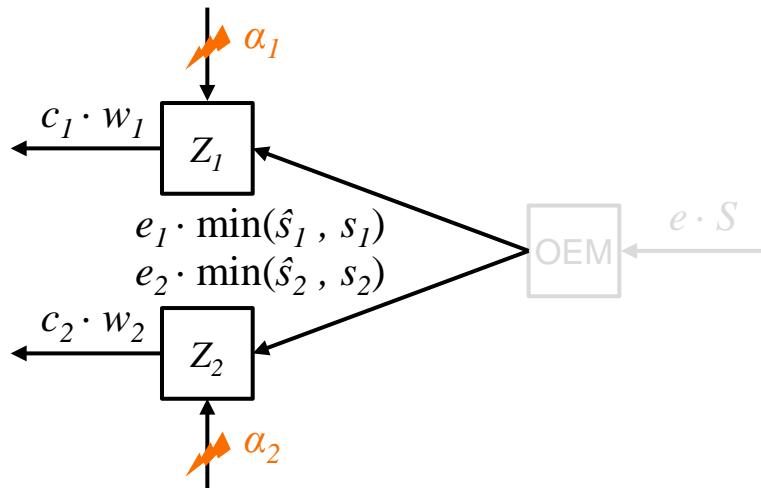
Erwarteter Erlös

Erwartete Komponentenkosten

Erwartete Strafkosten Zulieferer

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Dezentraler Fall – Zulieferer



Erwarteter Gewinn Zulieferer i – Stückpreisvertrag:

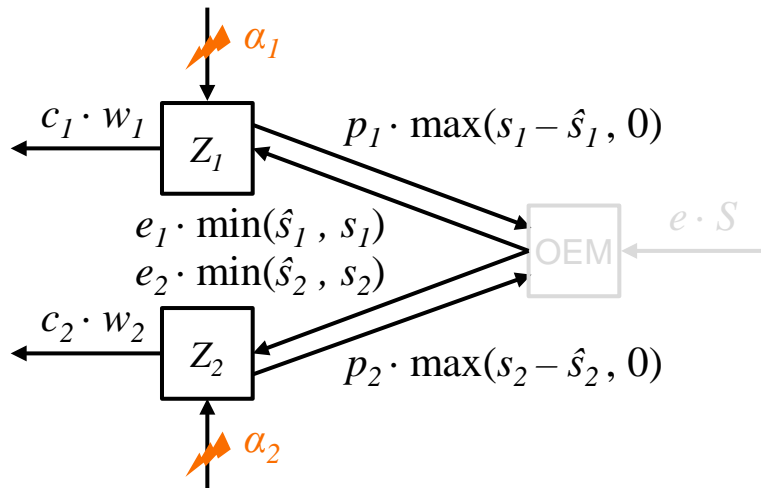
$$\Pi^i = e_i \cdot E\{\min(\hat{s}_i, s_i)\} - [c_i \cdot w_i]$$

Erwarteter Erlös

Entwicklungskosten

Modellierung verteilter Fahrzeugentwicklungsprozesse

Dezentraler Fall – Zulieferer



Erwarteter Gewinn Zulieferer i – Strafvertrag:

$$\Pi^i = e_i \cdot E\{\min(\hat{s}_i, s_i)\} - [c_i \cdot w_i] - [p_i \cdot E\{\max(s_i - \hat{s}_i, 0)\}]$$

Erwarteter Erlös
Entwicklungskosten
Erwartete Strafkosten

Fazit und Ausblick

Analytisches Optimierungsmodell, welches alle die für verteilte Entwicklungsprozesse relevanten Charakteristika abbildet

1

Analytische Bestimmung der Optima der Zielfunktionen (inkl. Nachweis Konkavität)

2

Analyse der Koordinationsfähigkeit der verschiedenen Verträge

3

Entwicklung und Analyse weiterer Verträge

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Kerstin Schmidt

+49 531-391-2208

kerstin.schmidt@tu-
braunschweig.de

