



Produktion und Nachhaltigkeit

Episode 1: Strategien und Planungsaufgaben

Prof. Dr. Grit Walther
RWTH Aachen

 Universität Bremen

ZMML
Zentrum für Multimedia
in der Lehre

DBU 

Deutsche Bundesstiftung Umwelt





Übersicht der Lerneinheit

Episode 1: Strategien und Planungsaufgaben

Episode 2:
Entscheidungsunterstützung

Episode 3:
Interview



Lernziele dieser Episode

Lernziel 1:

Sie wissen, warum die Kuppelproduktion unter Umweltgesichtspunkten den Regelfall der Produktion darstellt.

Lernziel 2:

Sie kennen die grundlegenden Umweltbasisstrategien der Produktion und können deren Umsetzung anhand von Beispielen erläutern.

Lernziel 3:

Sie kennen Aufgaben der strategischen, taktischen und operativen Produktionsplanung unter besonderer Berücksichtigung von Umweltaspekten und können jeweils konkrete Beispiele nennen.

Lernziel 4:

Sie wissen, wie die unter ökonomischen und umweltorientierten Gesichtspunkten relevanten Stoffströme die Basis von Entscheidungsunterstützungssystemen bilden können.



Gliederung

1

Produktion als Kuppelproduktionsprozess

2

Umweltbasisstrategien

3

Planungsprobleme und -aufgaben

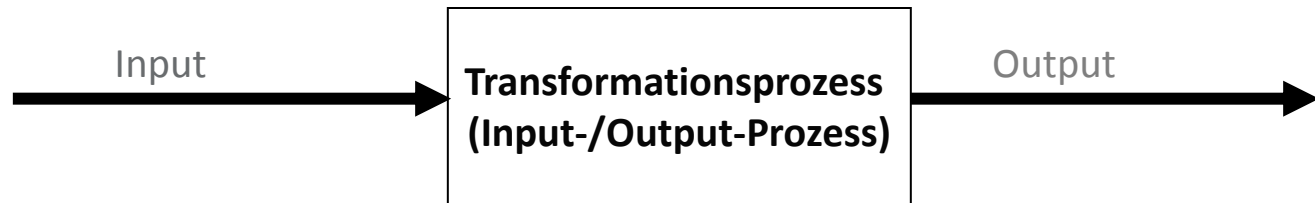
4

Entscheidungsunterstützung mittels
Stoffstrommodellierung und Bewertung



Produktion als Kuppelproduktionsprozess

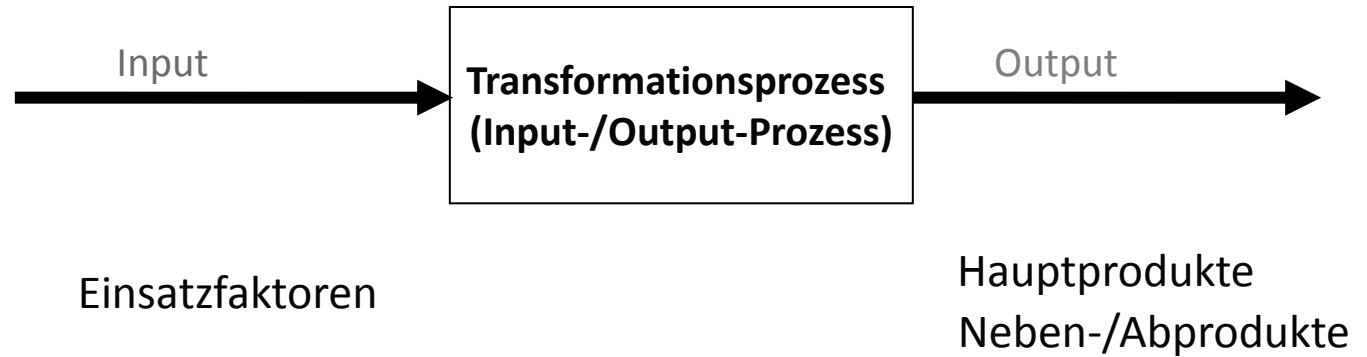
Produktion als Kuppelproduktionsprozess





Produktion als Kuppelproduktionsprozess

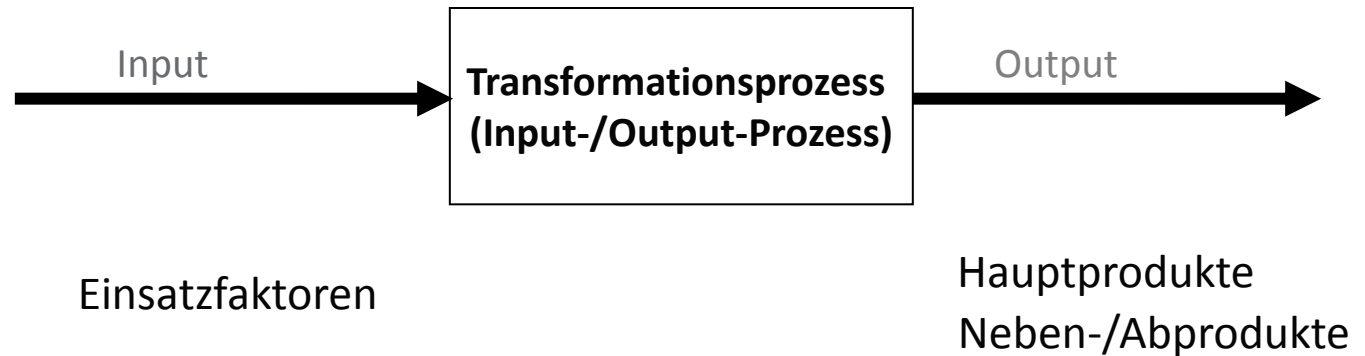
Produktion als Kuppelproduktionsprozess





Produktion als Kuppelproduktionsprozess

Produktion als Kuppelproduktionsprozess



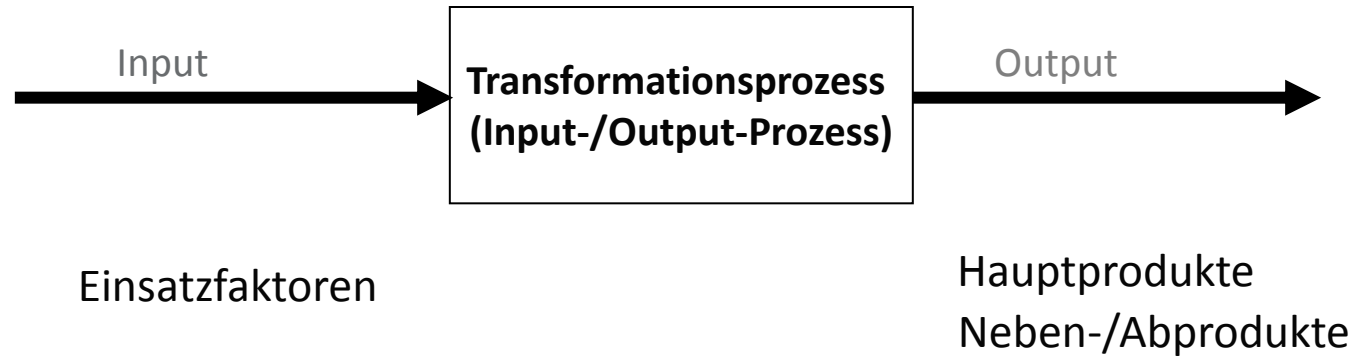
➔ **Kuppelproduktion** liegt vor, wenn im Rahmen eines Produktionsprozesses zwangsläufig (naturwissenschaftlich/technisch bedingt) zwei oder mehr Produkte gleichzeitig entstehen.

[Riebel 1955, Dyckhoff/Souren 2008]



Produktion als Kuppelproduktionsprozess

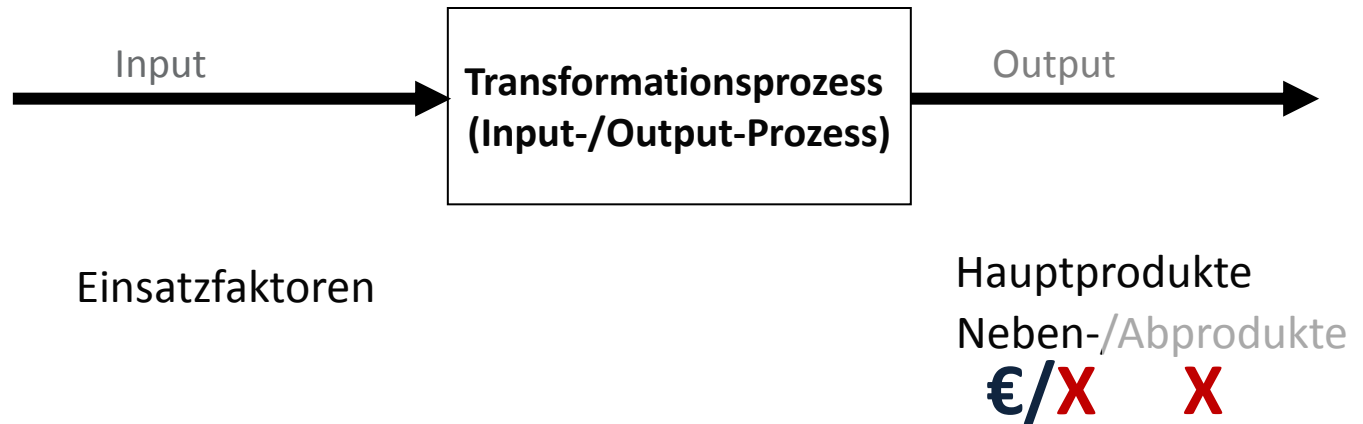
Berücksichtigung der Kuppelprodukte





Produktion als Kuppelproduktionsprozess

Berücksichtigung der Kuppelprodukte



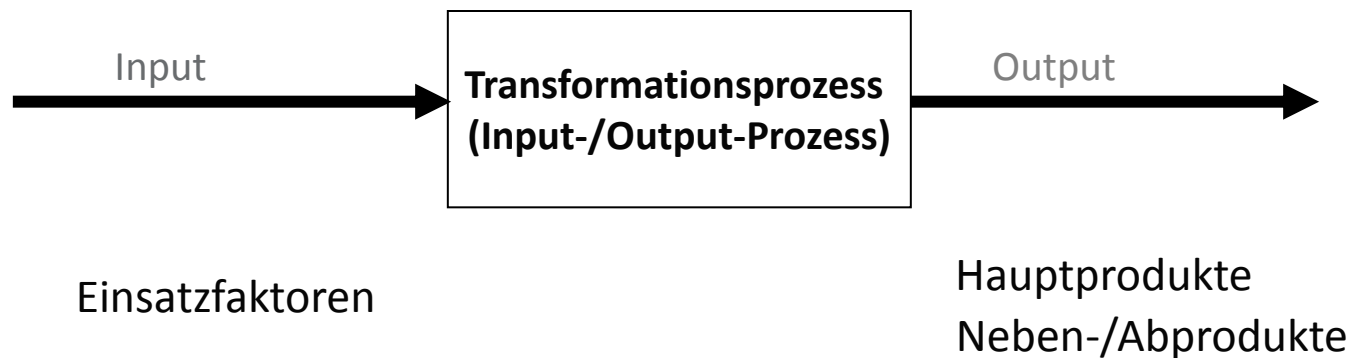
Betriebswirtschaftliches Entscheidungskalkül:

- Nur die aus ökonomischer (monetärer) Sicht entscheidungsrelevanten Kuppelprodukte werden in betriebswirtschaftliche Entscheidungen integriert
- Outputs, die keine monetären Auswirkungen haben werden ignoriert
- Kuppelproduktion als Sonderfall



Produktion als Kuppelproduktionsprozess

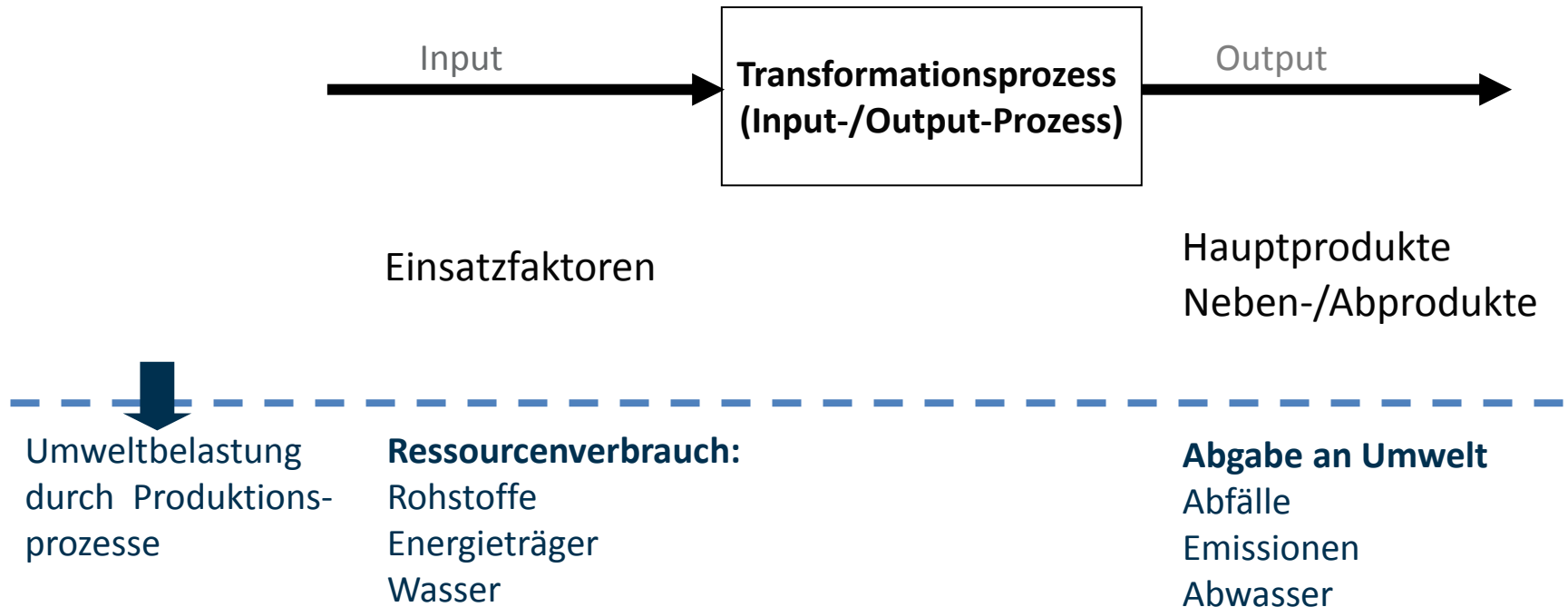
Berücksichtigung der Kuppelprodukte





Produktion als Kuppelproduktionsprozess

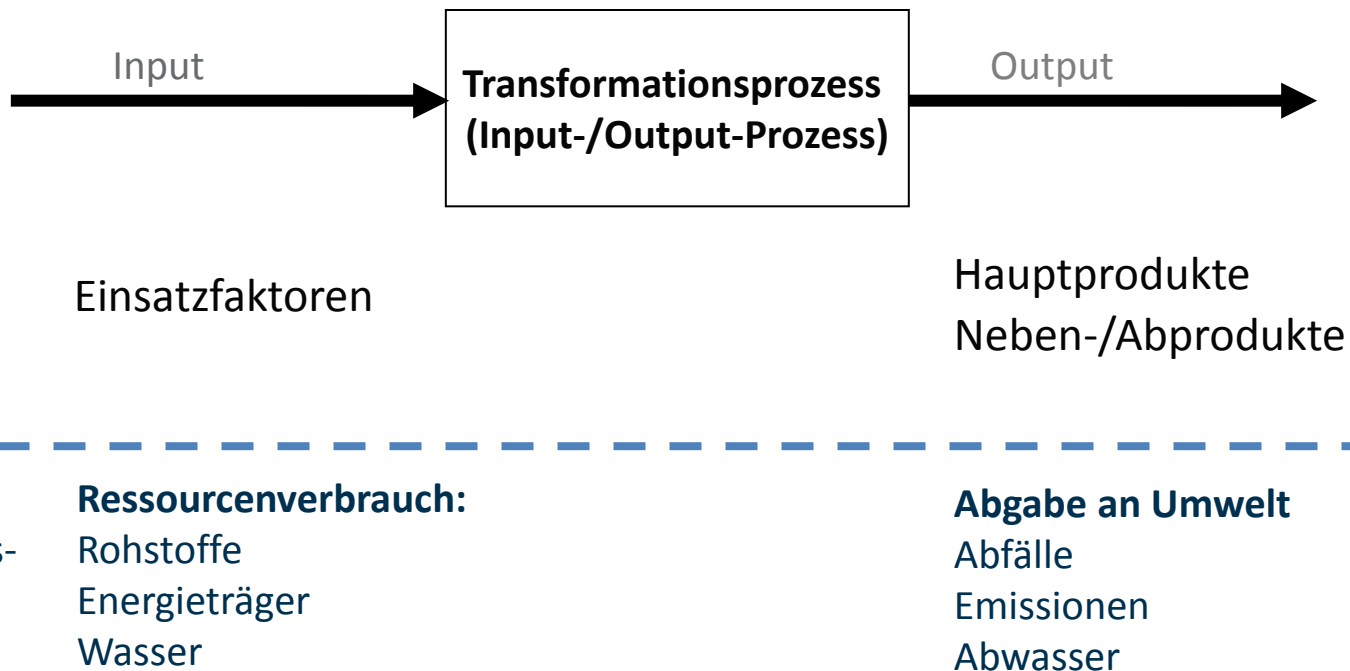
Berücksichtigung der Kuppelprodukte





Produktion als Kuppelproduktionsprozess

Berücksichtigung der Kuppelprodukte

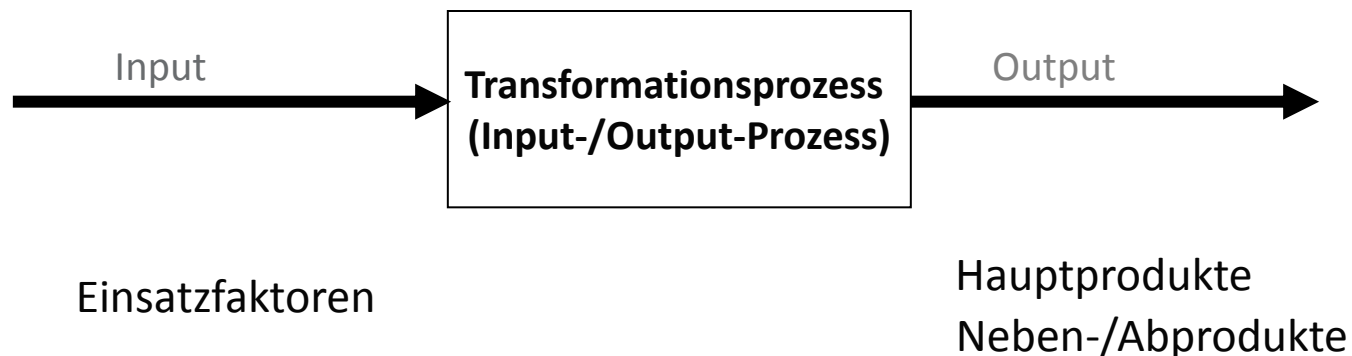


- ➔ Kuppelproduktionsprozesse stellen den Regelfall der Produktion dar.
- ➔ **Erweitertes Entscheidungskalkül:**
Betrachtung aller unter ökonomischen und umweltorientierten Gesichtspunkten entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

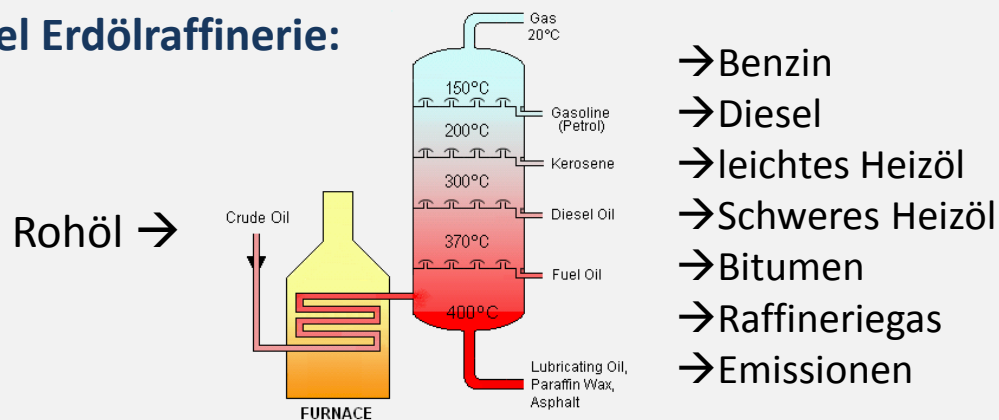


Produktion als Kuppelproduktionsprozess

Produktion als Kuppelproduktionsprozess



Beispiel Erdölraffinerie:



Heizkraftwerk

Hochofen

Lackierprozess

<http://www.aral.de/aral/sectiongenericarticle.do?categoryId=4000008&contentId=56173>



Gliederung

1

Produktion als Kuppelproduktionsprozess

2

Umweltbasisstrategien

3

Planungsprobleme und -aufgaben

4

Entscheidungsunterstützung mittels
Stoffstrommodellierung und Bewertung



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Umweltbasisstrategien:

- Umgang von Unternehmen mit Umweltproblemen
- Berücksichtigung der ökologischen, gesellschaftlichen und wettbewerbsbezogenen Relevanz

[Jacobs 1994, Dyckhoff/Souren 2008]

- Abwehrorientierte Strategie
- Outputorientierte Strategie
- Prozessorientierte Strategie
- Zyklusorientierte Strategie



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Abwehrorientierte Strategie:

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun möglichst nichts“
- Ignorieren bzw. Abwehr umweltorientierter Ansprüche



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Abwehrorientierte Strategie:

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun möglichst nichts“
- Ignorieren bzw. Abwehr umweltorientierter Ansprüche





Strategien einer nachhaltigen Produktion

Abwehrorientierte Strategie:

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun möglichst nichts“
- Ignorieren bzw. Abwehr umweltorientierter Ansprüche



Bewertung

- + Kurzfristig: Vermeidung umweltschutzbedingter Kosten
- Langfristig: Image- und Akzeptanzprobleme
- Verstoß gegen (umweltschutz)rechtliche Auflagen



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Abwehrorientierte Strategie:

- „Wir tun möglichst nichts“
- Ignorieren bzw. Abwehr umweltorientierter Ansprüche

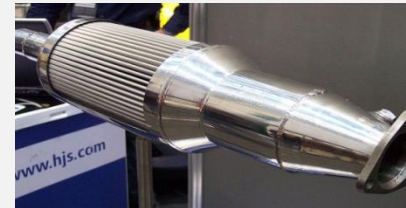


Beispiele



Tepco (Fukushima)

- Mangelhafte Wartung
- Bauliche Mängel



Diesel-Partikelfilter

- Fehlende Antizipation der gesellschaftlichen Forderungen aus Umsetzung der EU-Feinstaubrichtlinie



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Outputorientierte Strategie:

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun nur so viel wie nötig“
- Additiver Umweltschutz = direkte, nachgeschaltete Umweltschutzmaßnahmen, “End-of-Pipe”-Technologien



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Outputorientierte Strategie:

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun nur so viel wie nötig“
- Additiver Umweltschutz = direkte, nachgeschaltete Umweltschutzmaßnahmen, “End-of-Pipe”-Technologien



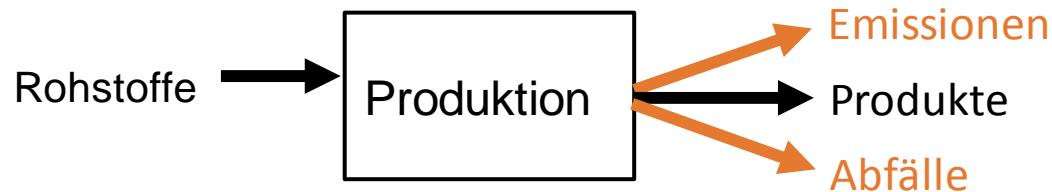


Strategien einer nachhaltigen Produktion

Outputorientierte Strategie:

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun nur so viel wie nötig“
- Additiver Umweltschutz = direkte, nachgeschaltete Umweltschutzmaßnahmen, “End-of-Pipe“-Technologien



Bewertung

- + Bisherige Prozessabläufe bleiben unberührt
- + Schnelle Implementierung ohne größere technische Risiken
- + Kurzfristige Einhaltung rechtlich vorgegebener Grenzwerte
- Zusätzliche Kontrollaufgaben durch Überprüfung und Überwachung
- Technologiebedingte (Minderungs-)Grenzen schnell erreicht
- Transmediale Problemverlagerung (Luft/Wasser → Abfall)



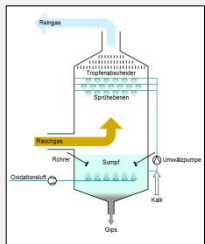
Strategien einer nachhaltigen Produktion

Outputorientierte Strategie:

- „Wir tun nur so viel wie nötig“
- Additiver Umweltschutz = direkte, nachgeschaltete Umweltschutzmaßnahmen, “End-of-Pipe”-Technologien



Beispiele



Rauchgasentschwefelungsanlage

- Reduktion der Schwefeldioxid-Emissionen bei Kraftwerken



Ölabscheider

- Abscheidung durch Abschwimmen
- Einsatz bspw. an Tankstellen



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Prozessorientierte Strategie

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun bei uns so viel wie möglich! “
- Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)
= Kombination aller input-, verfahrens- und outputseitigen Umweltschutzmaßnahmen, die im eigenen Unternehmen umsetzbar sind (CleanTech)



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Prozessorientierte Strategie

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun bei uns so viel wie möglich! “
- Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)
= Kombination aller input-, verfahrens- und outputseitigen Umweltschutzmaßnahmen, die im eigenen Unternehmen umsetzbar sind (CleanTech)





Strategien einer nachhaltigen Produktion

Prozessorientierte Strategie

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Wir tun bei uns so viel wie möglich! “
- Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)
= Kombination aller input-, verfahrens- und outputseitigen Umweltschutzmaßnahmen, die im eigenen Unternehmen umsetzbar sind (CleanTech)



Bewertung

- + Erhöhte Ressourcen- und Energieproduktivität
- + Vermeidung von Emissionen bereits vor der Entstehung
- + Wettbewerbschancen durch Kostenvorteile bei verschärften Umweltgesetzen oder erhöhten Kosten für Ressourcen und Entsorgung
- Hoher technischer und investitionsbedingter Aufwand
- Teilweise große technische Risiken



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Prozessorientierte Strategie

- „Wir tun bei uns so viel wie möglich! “
- Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)
= Kombination aller input-, verfahrens- und outputseitigen Umweltschutzmaßnahmen, die im eigenen Unternehmen umsetzbar sind (CleanTech)

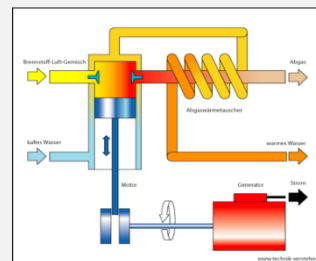


Beispiele



Inputseitig

Substitution von Rohstoffen
(z.B. durch nachwachsende Rohstoffe, recycelte Kunststoffe)



Prozesseitig:

Verbesserung von Anlagen/
Einsatz alternativer Technologien
(z.B. Druckluft, BHKW)



Outputseitig:

Innerbetr. Nutzung von Produktionsabfällen
(z.B. Abfall, Abwärme, Raffineriegas)



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Zyklusorientierte Strategie

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Gemeinsam so viel tun wie möglich“
- Produktintegrierter Umweltschutz = alle Maßnahmen entlang des Produktlebenszyklus „Produktentwicklung – Produktion – Nutzung – Entsorgung“
- Stoffkreisläufe und vermeidungsorientierte Produkt- und Servicekonzepte

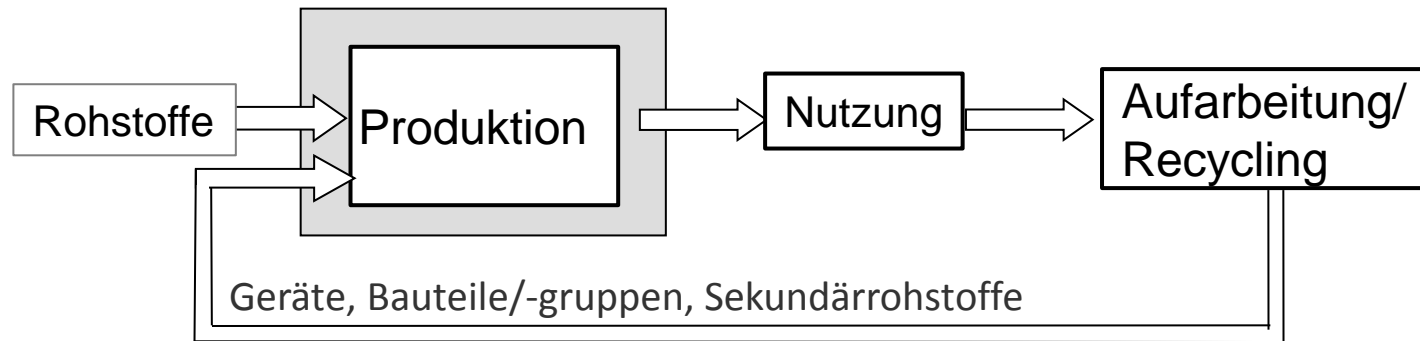


Strategien einer nachhaltigen Produktion

Zyklusorientierte Strategie

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Gemeinsam so viel tun wie möglich“
- Produktintegrierter Umweltschutz = alle Maßnahmen entlang des Produktlebenszyklus „Produktentwicklung – Produktion – Nutzung – Entsorgung“
- Stoffkreisläufe und vermeidungsorientierte Produkt- und Servicekonzepte



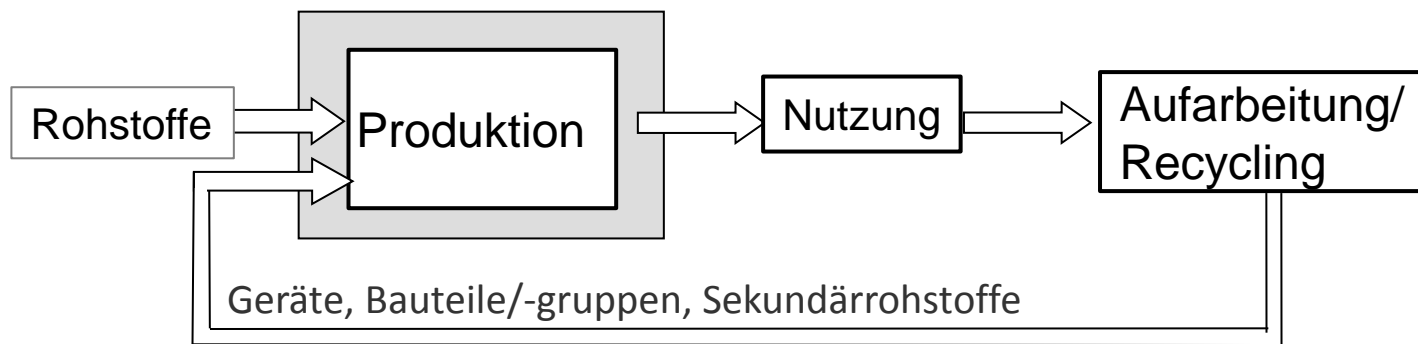


Strategien einer nachhaltigen Produktion

Zyklusorientierte Strategie

[Jacobs 1994; Dyckhoff/Souren 2008]

- „Gemeinsam so viel tun wie möglich“
- Produktintegrierter Umweltschutz = alle Maßnahmen entlang des Produktlebenszyklus „Produktentwicklung – Produktion – Nutzung – Entsorgung“
- Stoffkreisläufe und vermeidungsorientierte Produkt- und Servicekonzepte



Bewertung

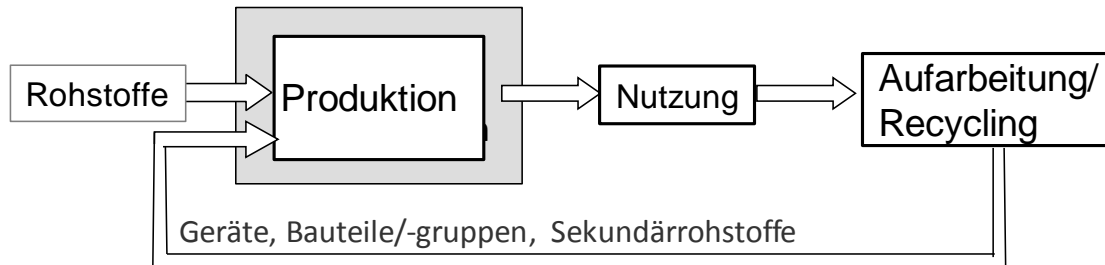
- + große ökologische Potenziale
- + Langfristig: Wettbewerbsvorteile, Imagevorteile
- Kurzfristig: sehr hohe Kosten und Risiken
- Umfangreiche Planungs- und Realisationsaufgaben
- Langfristig: Komplexitätssteigerung



Strategien einer nachhaltigen Produktion

Zyklusorientierte Strategie

- „Gemeinsam so viel tun wie möglich“
- Produktintegrierter Umweltschutz = alle Maßnahmen entlang des Produktlebenszyklus „Produktentwicklung – Produktion – Nutzung – Entsorgung“
- Stoffkreisläufe und vermeidungsorientierte Produkt- und Servicekonzepte



Beispiele



Aufarbeitung von Bauteilen/Baugruppen

Lichtmaschinen,
Austauschmotoren



Aufarbeitung gebrauchter Geräte (Remanufacturing)

Server, Medizingeräte



Angebot neuer Geschäftsmodelle

z.B. Car-Sharing



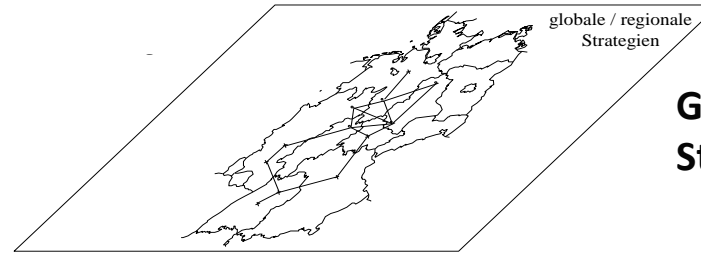
Gliederung

- 1 Produktion als Kuppelproduktionsprozess
- 2 Umweltbasisstrategien
- 3 Planungsprobleme und -aufgaben
- 4 Entscheidungsunterstützung mittels Stoffstrommodellierung und Bewertung



Planungsprobleme und -aufgaben

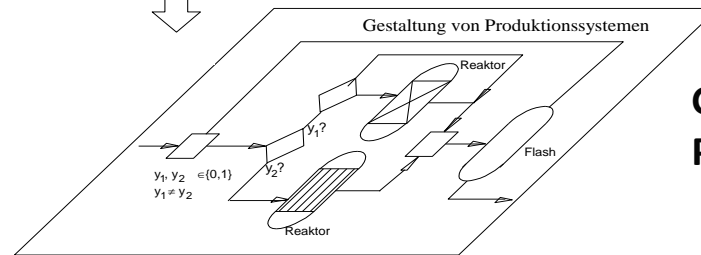
**Strategische
Planungsebene**



globale / regionale
Strategien

**Globale/regionale
Strategien**

**Taktische
Planungsebene**

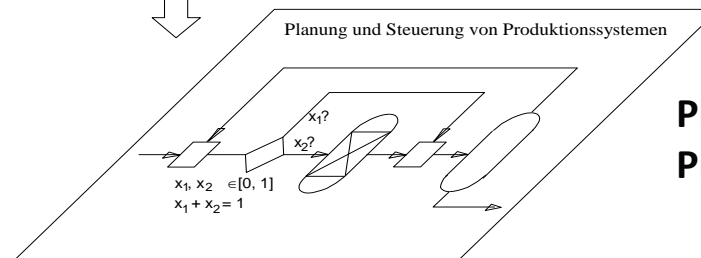


Gestaltung von Produktionssystemen

$y_1, y_2 \in \{0,1\}$
 $y_1 \neq y_2$

**Gestaltung von
Produktionssystemen**

**Operative
Planungsebene**



Planung und Steuerung von Produktionssystemen

$x_1, x_2 \in [0, 1]$
 $x_1 + x_2 = 1$

**Planung und Steuerung von
Produktionssystemen**



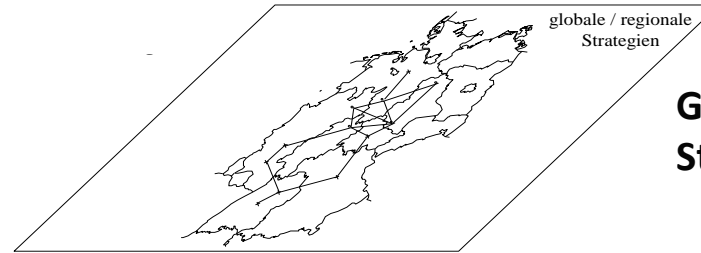
Planungsaufgaben:

- Erweiterung der klassischen Planungsaufgaben
- Explizite Berücksichtigung gesellschaftlicher, umweltrechtlicher sowie ressourcen- und emissionsorientierter Aspekte



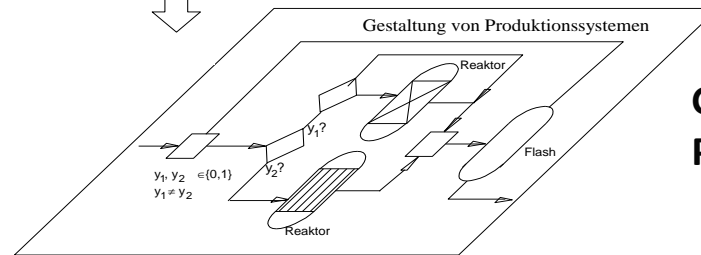
Planungsprobleme und -aufgaben

**Strategische
Planungsebene**



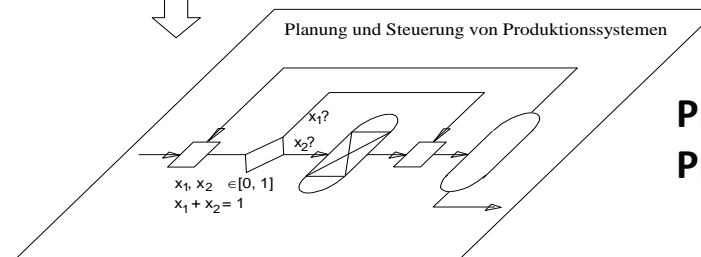
**Globale/regionale
Strategien**

**Taktische
Planungsebene**



**Gestaltung von
Produktionssystemen**

**Operative
Planungsebene**



**Planung und Steuerung von
Produktionssystemen**



Planungsaufgaben:

- Erweiterung der klassischen Planungsaufgaben
- Explizite Berücksichtigung gesellschaftlicher, umweltrechtlicher sowie ressourcen- und emissionsorientierter Aspekte



Planungsprobleme und -aufgaben

Strategische Planungsebene (> 5 Jahre):

- Entwicklung nachhaltiger Produktinnovationen
- Wahl der Produktionsstandorte und -verfahren unter Berücksichtigung der erwarteten (globalen/regionalen) Stoff- und Energieströme
- Wahl adäquater Rücknahme- und Entsorgungsstrategien für Altprodukte und Reststoffe



Planungsprobleme und -aufgaben

Strategische Planungsebene (> 5 Jahre):

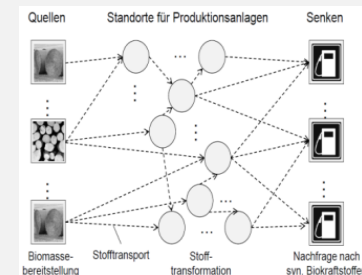
- Entwicklung nachhaltiger Produktinnovationen
- Wahl der Produktionsstandorte und -verfahren unter Berücksichtigung der erwarteten (globalen/regionalen) Stoff- und Energieströme
- Wahl adäquater Rücknahme- und Entsorgungsstrategien für Altprodukte und Reststoffe

Beispiele



Produktinnovationen

Automobilindustrie: Entwicklung batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge/ Brennstoffzellenfahrzeuge



Planung von Produktions- und Infrastruktur

- Aufbau einer H₂-Tankstellen-Infrastruktur
- Investition in Produktionsanlagen für synthetische Biokraftstoffe



Planungsprobleme und -aufgaben

Taktische Planungsebene (1-5 Jahre)

- Umweltfreundliche Produktgestaltung unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus
- Konzeption input-, prozess- und outputseitiger Umweltschutzmaßnahmen
- Konzeption einer umweltverträglichen Beschaffungs-, Produktions-, Vertriebs-, Rücknahme- und Entsorgungslogistik



Planungsprobleme und -aufgaben

Taktische Planungsebene (1-5 Jahre)

- Umweltfreundliche Produktgestaltung unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus
- Konzeption input-, prozess- und outputseitiger Umweltschutzmaßnahmen
- Konzeption einer umweltverträglichen Beschaffungs-, Produktions-, Vertriebs-, Rücknahme- und Entsorgungslogistik

Beispiele



Produktgestaltung

Demontagegerechte Gestaltung von Handys



Konzeption von Rücknahme-/Aufarbeitungssystemen

Tonerkartuschen, Medizingeräte



Planungsprobleme und -aufgaben

Operative Planungsebene (< 1 Jahr)

- Umweltfreundliche Auswahl und Bereitstellung der benötigten Einsatzstoffe bzw. deren Substitution durch Sekundärrohstoffe und aufgearbeitete Bauteile
- Optimale Nutzung bestehender Beschaffungs-, Produktions-, Vertriebs-, Rücknahme- und Entsorgungslogistiksysteme
- Optimale Durchführung von Reparaturen und Instandhaltungsmaßnahmen

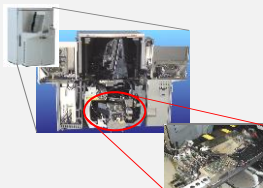


Planungsprobleme und -aufgaben

Operative Planungsebene (< 1 Jahr)

- Umweltfreundliche Auswahl und Bereitstellung der benötigten Einsatzstoffe bzw. deren Substitution durch Sekundärrohstoffe und aufgearbeitete Bauteile
- Optimale Nutzung bestehender Beschaffungs-, Produktions-, Vertriebs-, Rücknahme- und Entsorgungslogistiksysteme
- Optimale Durchführung von Reparaturen und Instandhaltungsmaßnahmen

Beispiele



Substitution von Neuteilen

Integrierte Recycling- und Produktionsplanung beim Einsatz aufgearbeiteter Ersatzteile



Optimale Nutzung der Logistiksysteme

Intermodale Routenplanung zur Minimierung der CO₂-Emissionen bei Erhaltung der Flexibilität



Gliederung

- 1 Produktion als Kuppelproduktionsprozess
- 2 Umweltbasisstrategien
- 3 Planungsprobleme und -aufgaben
- 4 Entscheidungsunterstützung mittels Stoffstrommodellierung und Bewertung



Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

Ermittlung aller betriebswirtschaftlich und umweltbedingt entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme



Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

Ermittlung aller betriebswirtschaftlich und umweltbedingt entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

• Stoffstrombilanz (Input-/Output-Bilanz):

Erhebung der die Systemgrenze (Werkstor) überschreitenden Stoff- und Energieströme

- Beschreibend
- Berichterstattung
(z.B. Umweltbericht)





Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

Ermittlung aller betriebswirtschaftlich und umweltbedingt entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

• Stoffstrombilanz (Input-/Output-Bilanz):

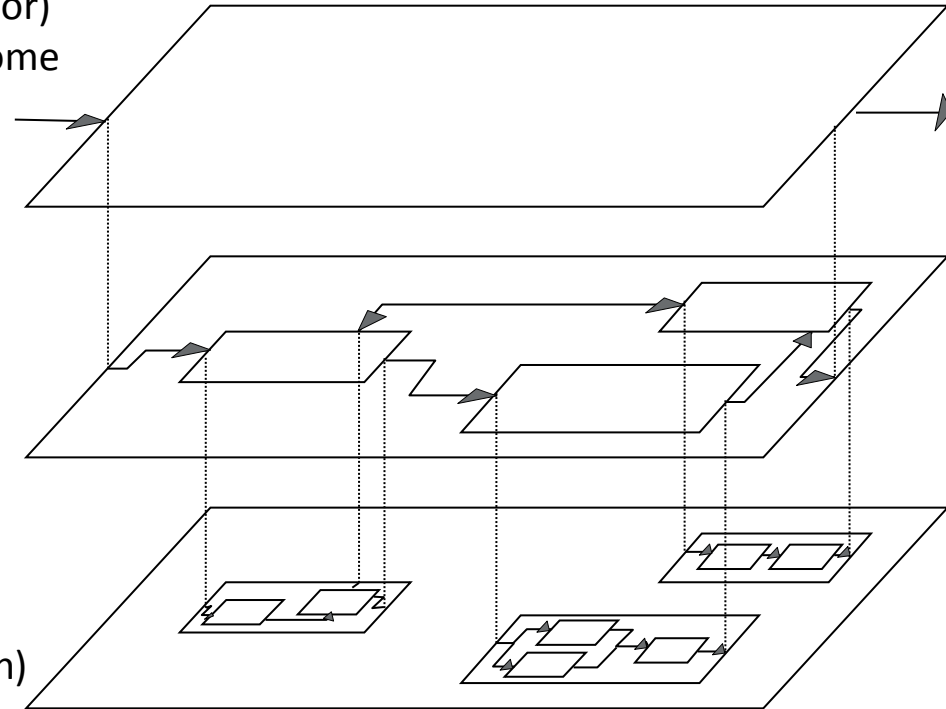
Erhebung der die Systemgrenze (Werkstor) überschreitenden Stoff- und Energieströme

- Beschreibend
- Berichterstattung
(z.B. Umweltbericht)

• Stoffstromanalyse (Prozessbilanz):

Berechnung der Stoff- und Energieströme vernetzter Produktionssysteme über funktionale Zusammenhänge

- Planungsgrundlage
- Entscheidungsunterstützung
(z.B. Anlagen-/Alternativenvergleich)





Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

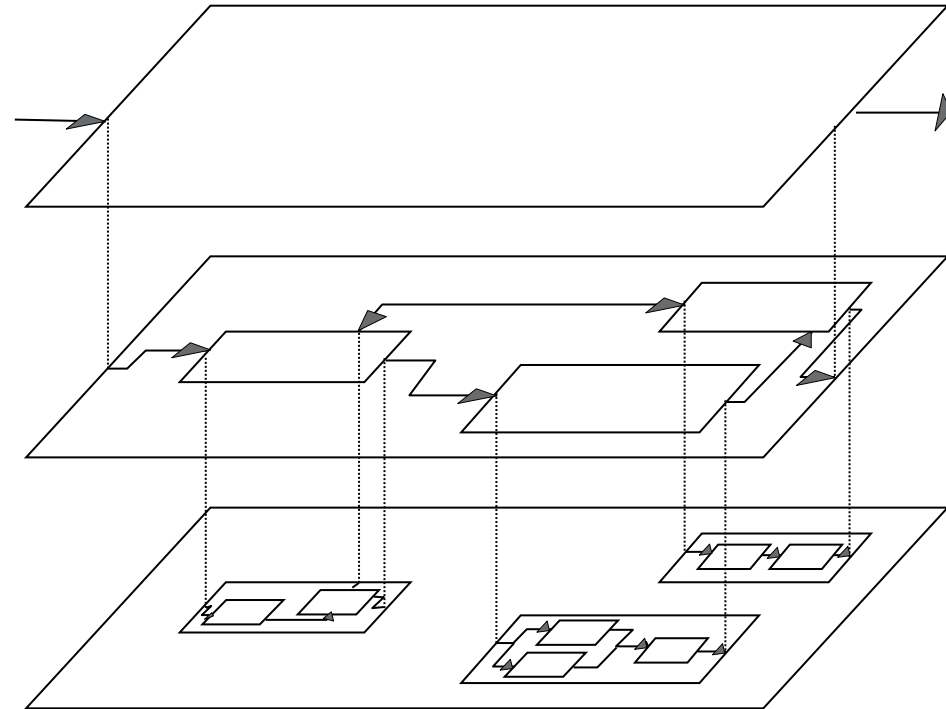
Ermittlung aller betriebswirtschaftlich und umweltbedingt entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

Black-Box-Modell



+ Aussagekraft
+ Aufwand

Grey-Box-Modell





Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

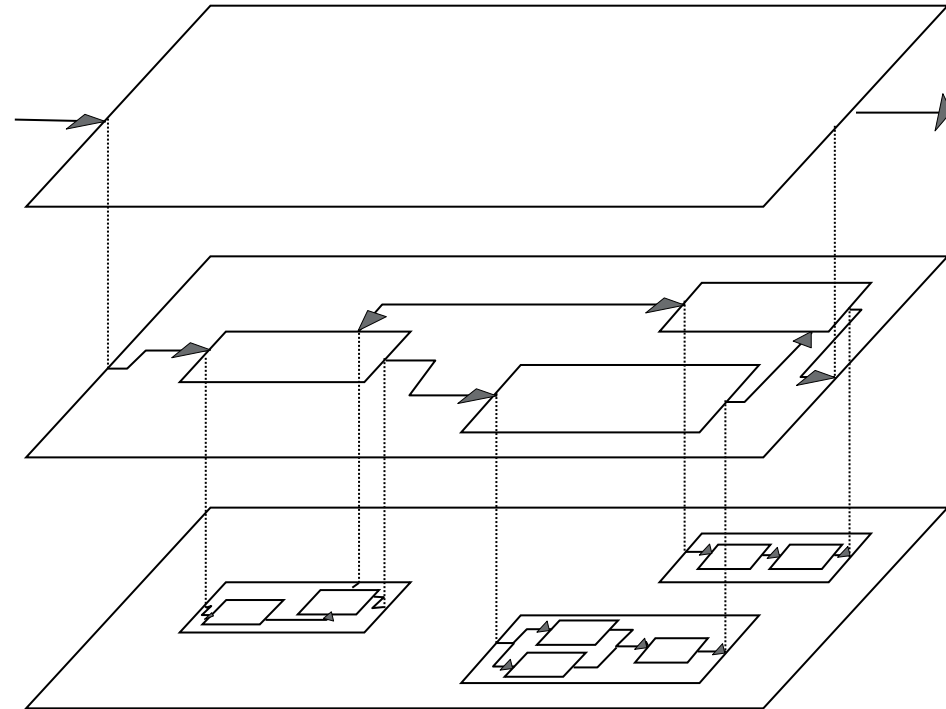
Ermittlung aller betriebswirtschaftlich und umweltbedingt entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

Black-Box-Modell



+ Aussagekraft
+ Aufwand

Grey-Box-Modell



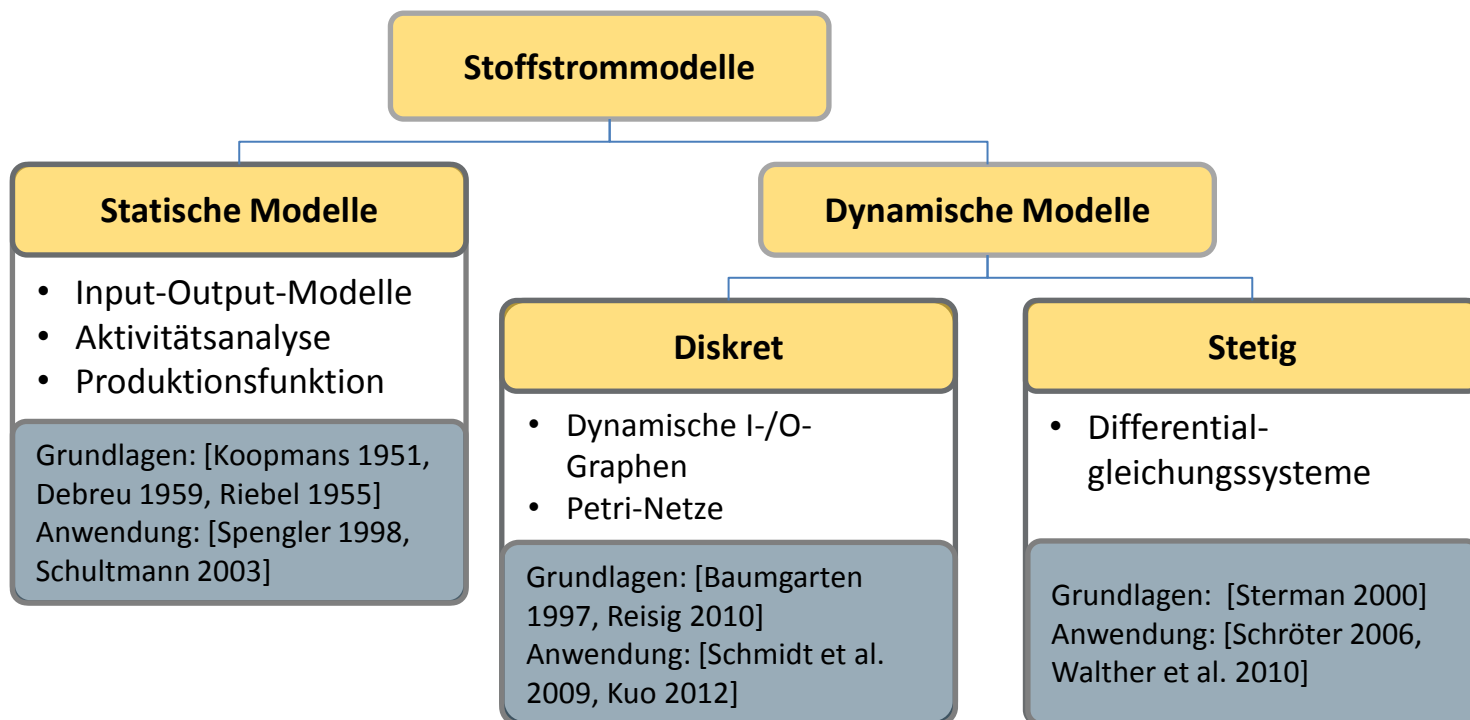
Fallspezifische Ermittlung des richtigen Detaillierungsgrades des Modells.



Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

Ermittlung aller entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

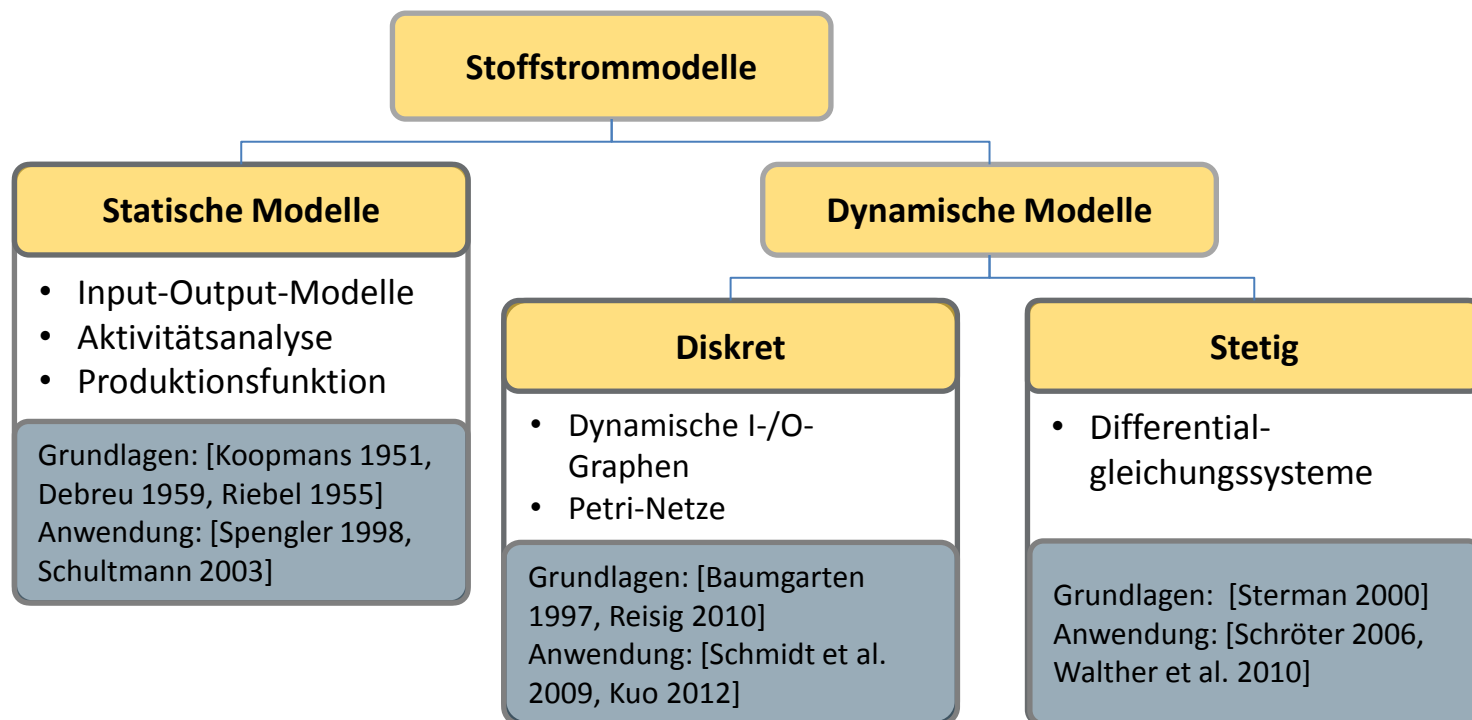




Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

Ermittlung aller entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme



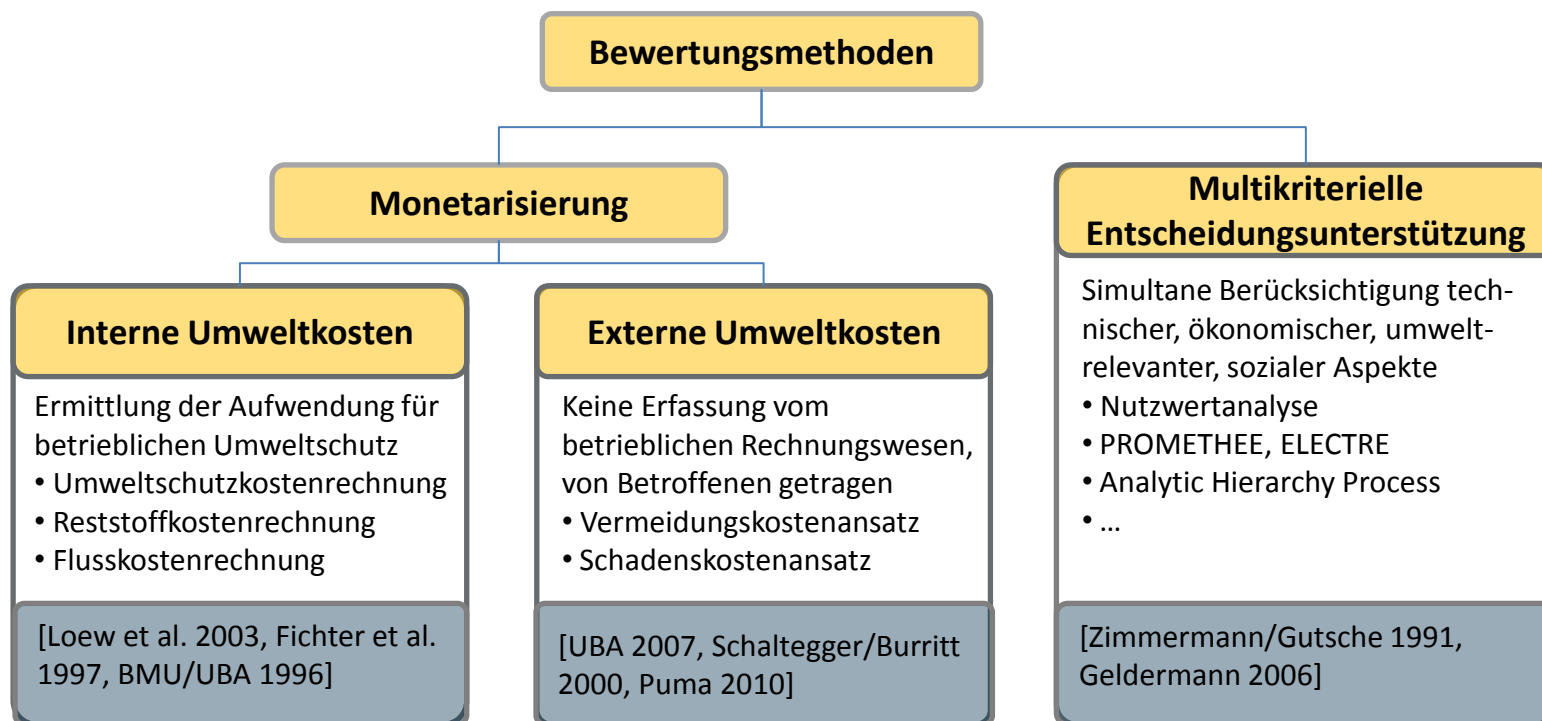
Fallspezifische Ermittlung der geeigneten Modellierungsmethode.



Entscheidungsunterstützung

2. Bewertung:

Ermittlung der durch die Produktion verursachten Wirkungen

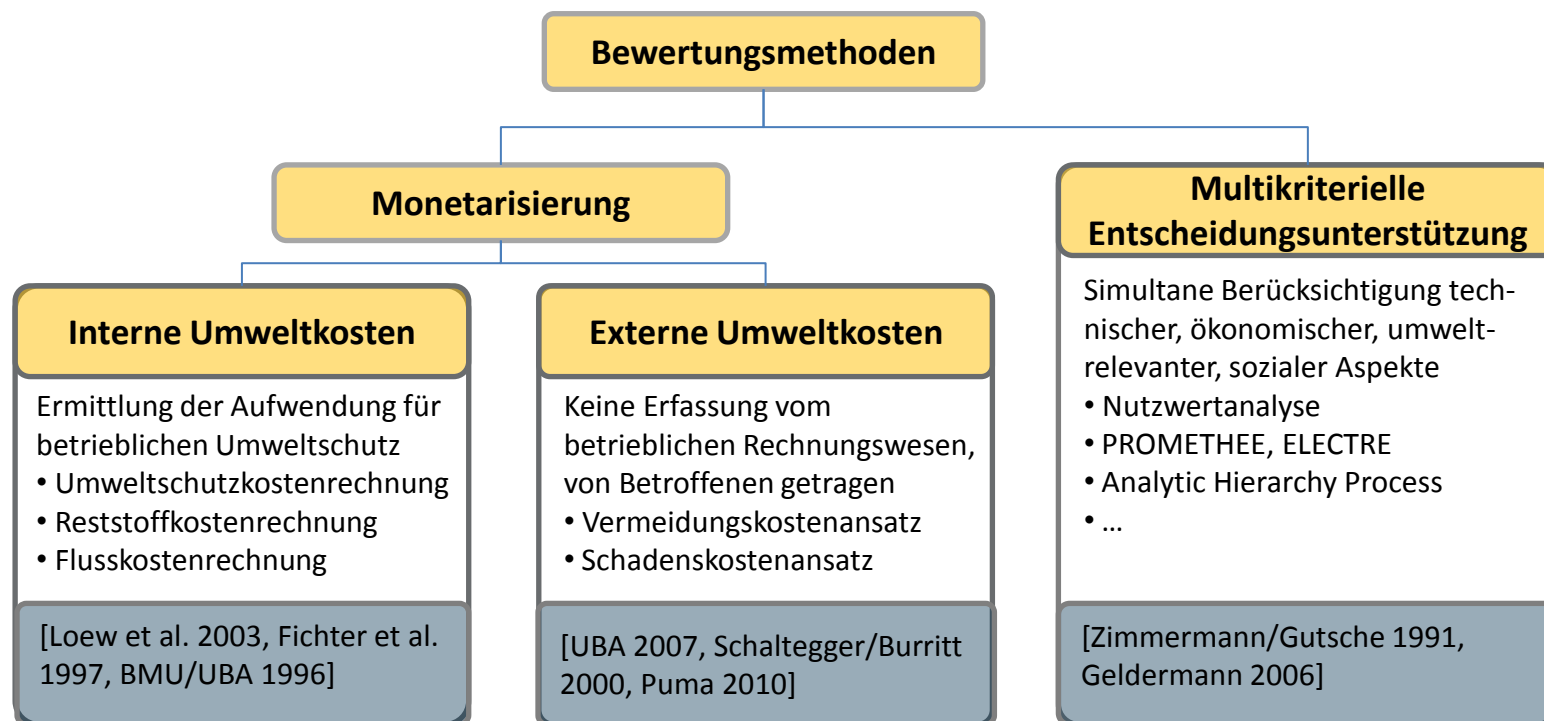




Entscheidungsunterstützung

2. Bewertung:

Ermittlung der durch die Produktion verursachten Wirkungen



Fallspezifische Auswahl geeigneter Bewertungsmethoden



Entscheidungsunterstützung

1. Stoffstrommodellierung:

Ermittlung aller betriebswirtschaftlich und umweltbedingt entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme

2. Bewertung:

Ermittlung der durch die Produktion verursachten Wirkungen



Stoff- und Energieströme und die dadurch verursachten ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen bilden die Grundlage von Entscheidungsunterstützungssystemen

→ siehe Episode 2: Entscheidungsunterstützung



Aufgaben für das Selbststudium

1. Im Rahmen von Kuppelproduktionsprozessen entstehen zwangsläufig mehrere Produkte gleichzeitig. Nennen Sie – über die beschriebene Erdölraffinerie hinaus – weitere konkrete Kuppelproduktionsprozesse mit den jeweiligen Einsatzfaktoren und den resultierenden Haupt-, Neben- bzw. Abprodukten!
2. Erarbeiten Sie zyklusorientierte Maßnahmen a) für einen KfZ-Hersteller, b) für einen Energieversorger und c) für ein Unternehmen der chemischen Industrie. Ziehen hierfür bspw. Umwelt- oder Nachhaltigkeitsberichte bzw. Produktökobilanzen konkreter Unternehmen dieser Branchen heran!
3. Informieren Sie sich auf den Webseiten <http://www.pius-info.de> und <http://www.ipp-bayern.de> über Tools, Software und Projekte zu den Themen Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) und Integrierte Produktpolitik (IPP)!
4. Erarbeiten Sie – beispielsweise aus aktuellen Medienberichten heraus – weitere strategische, taktische und operative Planungsaufgaben von Unternehmen unter besonderer Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten!



Literatur und weiterführende Quellen

- Dyckhoff, H./Souren, R. (2008): Nachhaltige Unternehmensführung – Grundzüge industriellen Umweltmanagements. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Jacobs, R. (1994): Organisation des Umweltschutzes in Industriebetrieben. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Spengler, T. (1998): Industrielles Stoffstrommanagement – Betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung von Stoff- und Energieströmen in Produktionsunternehmen. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Walther, G. (2010): Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke – Überbetriebliche Planung und Steuerung von Stoffströmen entlang des Produktlebenszyklus. Gabler-Verlag, Wiesbaden.

Anmerkung zu den rechtlichen Grundlagen: Die Rechte der Bilder und Graphiken liegen, sofern nicht anders angegeben, beim Verfasser der Folien. Die Folientexte beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf eigene Forschungs-, Lehr- und Praxistransfer-Tätigkeiten und sind deshalb bei deren Verwendung zu zitieren.



Literatur und weiterführende Quellen

- Koopmans, T. (1951): Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In: Koopmans, T. (Hrsg.): Activity Analysis of Production and Allocation, Proceedings of a Conference. New York/London. S. 33-97.
- Debreu (1959): Theory of Value. An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium. Yale University Press, New Haven/London.
- Riebel, P. (1955): Die Kuppelproduktion – Betriebs- und Marktprobleme. Westdeutscher Verlag, Köln/Opladen.
- Schultmann, F. (2003): Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement – Betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung industrieller Kreislaufwirtschaftssysteme. Erich-Schmidt Verlag, Berlin.
- Fichter, K.; Loew, T.; Seidel, E. (1997): Betriebliche Umweltkostenrechnung – Methoden und Praxisgerechte Weiterentwicklung. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Puma (2010): Puma's Environmental Profit and Loss Account for the year ended 31 December 2010.
- Baumgarten, B. (1997): Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen. 2. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Schmidt, M.; Lambrecht H.; Möller, A. (2009): Stoffstrombasierte Optimierung – Wissenschaftliche und methodische Grundlagen sowie softwaretechnische Umsetzung. Edition MV Wissenschaft, Münster.
- Sterman, J. D. (2000): Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world. Irwin/McGrw-Hill, Boston.
- Loew, T.; Fichter, K.; Müller U.; Schulz, W. F.; Strobel, M. (2003): Ansätze der Umweltkostenrechnung im Vergleich. Vergleichende Beurteilung von Ansätzen der Umweltkostenrechnung auf ihre Eignung für die betriebliche Praxis und ihren Beitrag für die ökologische Unternehmensführung; Forschungsbericht 299 15 156; UBA TEXTE 78/2003 UBA-FB 000483. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH, Berlin & Institut für Management und Umwelt (IUM), Augsburg.
- BMU/UBA (1996): Handbuch der Umweltkostenrechnung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit/Umweltbundesamt (Hrsg.). Vahlen, München.
- Zimmermann, H.; Gutsche, L. (1991): Multi-Criteria Analyse, Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Geldermann, J. (2006): Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe. Reisig, W. (2010): Petrinetze – Modellierungstechniken, Analysemethoden, Fallstudien. Reihe Leitfäden der Informatik. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Kuo, T. (2012): Waste electronics and electrical equipment disassembly and recycling using Petri net analysis: Considering the economic value and environmental impacts. Computers & Industrial Engineering, in Press.
- Walther, G.; Wansart, J.; Kieckhaefer, K.; Schnieder, E.; Spengler, Th. (2010): Impact assessment in the automotive industry – mandatory market introduction of alternative powertrain technologies. In: System Dynamics Review, 26 (3), 239-261.
- Schaltegger, S.; Burritt, R. (2000): Contemporary Environmental Accounting – Issues, Concepts and Practice. Greenleaf, Sheffield.
- UBA (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten.
- Reisig, W. (2010): Petrinetze – Modellierungstechniken, Analysemethoden, Fallstudien. Reihe Leitfäden der Informatik. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

Anmerkung zu den rechtlichen Grundlagen: Die Rechte der Bilder und Graphiken liegen, sofern nicht anders angegeben, beim Verfasser der Folien. Die Folientexte beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf eigene Forschungs-, Lehr- und Praxistransfer-Tätigkeiten und sind deshalb bei deren Verwendung zu zitieren.