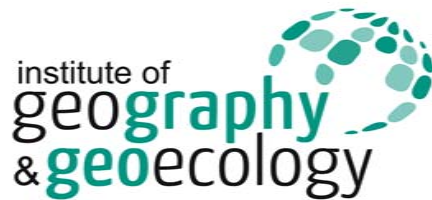




Bewertung des Wasserverbrauchs in der Ökoeffizienz-Analyse



Diplomarbeit

Institut für Geographie und Geoökologie I der Universität Karlsruhe
in Kooperation mit der BASF SE, Ludwigshafen

Georg Schöner

Betreuerin: Frau Dr. Pierobon, Ökoeffizienz Gruppe (GUP/CE)

5.-7. Oktober 2009 Ökobilanz-Werkstatt



Inhaltsübersicht

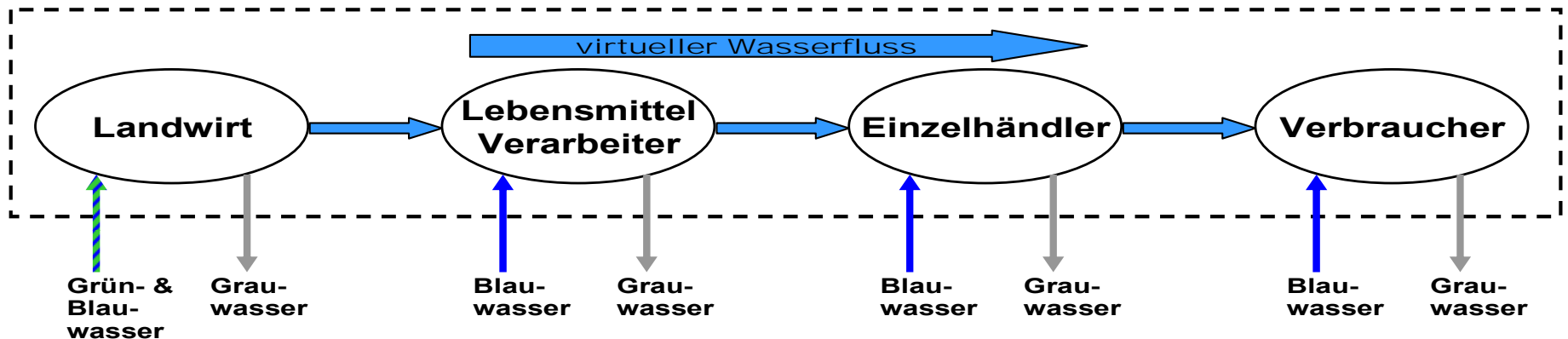
- **Warum Wasserverbrauch bewerten?**
- **Wasser-Fußabdruck**
- **Wasser in LCA**
- **Integration in Ökoeffizienz-Analyse**
- **Beispielanalyse Tomatenproduktion**

Warum Wasserverbrauch bewerten?

- “Water is the oil of the 21st century” (Forbes Magazine '08)
- ~ 1,1 Mrd. Menschen haben keinen hinreichenden Zugang zu Trinkwasser (UN 2006)
- Nur 2% der weltweiten Wasserressourcen sind Süßwasser, wovon wiederum $\frac{2}{3}$ an den Polkappen gespeichert ist (BRG 2009)
- Bis 2025 soll der weltweite Wasserverbrauch um 13% steigen (Rosengrant et al. 2003)
- 20% Intensivierung der Wasserknappheit im Rahmen des Klimawandels (UN 2006)
- 2050 werden 7 Mrd. Menschen einer Wasserknappheit ausgesetzt sein (UN 2003)

Wasser-Fußabdruck


- Konzept basiert auf dem “Virtuellen Wasser Konzept” von ALLAN (2002)
- Beinhaltet den Wasserverbrauch eines Produkts (während der kompletten Produktionsphase), einer Person oder eines Landes



- 3 Arten von Wasser werden unterschieden:
 - **Grün** Wasser-Fußabdruck: verdunstetes Regenwasser
 - **Blau** Wasser-Fußabdruck: verdunstetes Oberflächen- oder Grundwasser
 - **Grau** Wasser-Fußabdruck: verschmutztes Wasser.

Wasser-Fußabdruck

- Ergebnisse von Wasser-Fußabdrücken sind plakativ und gut um auf die Problematik aufmerksam zu machen.
- Große Wassermengen sind oft nur auf den Verbrauch von Grün-Wasser zurückzuführen



**1 kg Rindfleisch
=
16.000 L Wasser**

1 Deutscher = 5300 L Wasser täglich

- Wasser-Fußabdrücke sind regionalspezifisch aber der Wasserverbrauch wird nicht nach der vorherrschenden regionalen Wasserknappheit bewertet.

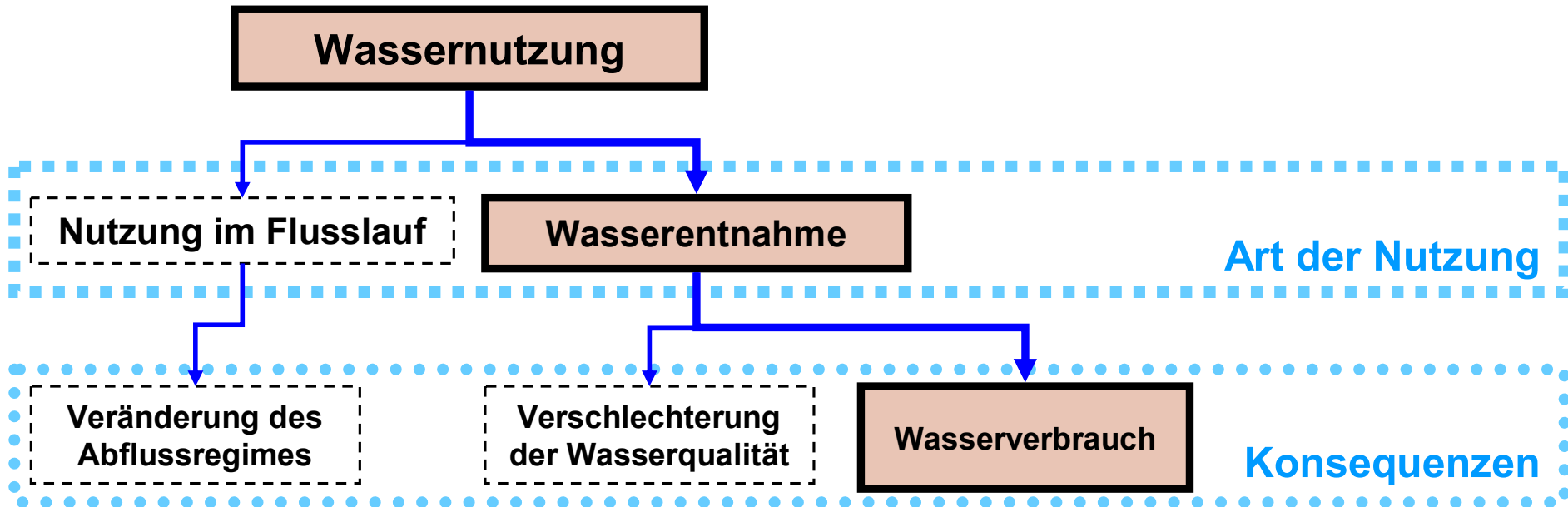
Wasser in LCA

Was macht die Bewertung von Wasser so kompliziert?

- Süßwasser ist die einzige abiotische Ressource, die erneuerbar und regional endlich zugleich ist.
- Einzige chemische Verbindung auf der Erde, die in der Natur in allen drei Aggregatzuständen vorkommt
- Global unendliche, lokal endliche Ressource
- Der tägliche Konsum liegt um ein Vielfaches höher, als derjenige anderer Ressourcen
- Kein weltweiter Transport in notwendigen Größenordnungen möglich
- Im Gegensatz zu Mineralien und fossilen Energieträgern ist Süßwasser stark mit der Biosphäre verbunden und seine Abnahme hat einen direkten Effekt auf Ökosysteme

Wasser in LCA

Was wird betrachtet?



- Die Verschlechterung der Wasserqualität wird durch die Umweltkategorie Wasseremissionen von den meisten LCA Methoden schon berücksichtigt.
- Der Wasserverbrauch entspricht dem Wasser, das aus dem Wassereinzugsgebiet (z. B. durch Evapotranspiration) verschwindet

Wasser in LCA

Wasserverbrauch hat Auswirkungen auf?

- Übernutzung von Gewässern & Grundwasser (beides regenerative wenn nachhaltig genutzt) und Nutzung von fossilen Grundwasservorkommen
⇒ Abnehmende der **Ressourcen** für zukünftige Generationen
- Zunahme der landwirtschaftlichen Produktion (Bewässerung) und Flussverbauung (Dämme)
⇒ Verringerte Süßwasser Verfügbarkeit für **Ökosysteme**
⇒ Verringerung der Nettoprimärproduktion und der Biodiversität
- Mangel an Zugang zu Süßwasser für Menschen
⇒ Verschlechterung der **menschlichen Gesundheit**
⇒ Unzureichende Hygiene (⇒ höhere Anzahl an Krankheiten, z. B. Diarröh) und Nahrungsmittelmangel (⇒ Unterernährung)

Wasser in LCA

- Pfister et al. (2009) haben an der ETH Zürich die umfassendste Bewertungsmethode von Wasserverbrauch für die Eco-Indicator 99 Methode entwickelt.
- Der negative Effekt von Wasserverbrauch auf die menschliche Gesundheit (ΔHH), auf die Qualität des Ökosystems (ΔEQ) und die Ressourcenverfügbarkeit (ΔR) werden betrachtet.
- Die durch GIS-Software wurden entsprechende Werte für jedes Wassereinzugsgebiet der Welt ermittelt.
- Beispiele für länderspezifische Damage Factors nach Pfister et al. (2009)

| | Niederlande | | | Marokko | | | Spanien | | |
|---------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| | 15 | | | 221 | | | 69 | | |
| Damage Factor | ΔHH | ΔEQ | ΔR | ΔHH | ΔEQ | ΔR | ΔHH | ΔEQ | ΔR |
| | 0 | 15 | 0 | 51 | 88 | 82 | 0 | 27 | 42 |

Integration in die Ökoeffizienz-Analyse der BASF

$WU_{\text{consumptive}}$ consumptive **Water Use** [liter]

DF regional **Damage Factor**

P average **precipitation** per m^2 and year [820 liter/ m^2]

$aWU_{\text{consumptive}}$ **assessed Water Use** [m^2] to be incorporated into the Land Use category

$$aWU_{\text{consumptive}} = WU_{\text{consumptive}} \times DF / P \text{ [m}^2\text{]}$$

z. B. zur Produktion von 1 kg Tomaten in Spanien werden durchschnittlich 52,5 L

Wasser benötigt und Spanien hat einen Damage Factor von 69 (= 0 ΔHH + 27 ΔEQ + 42 ΔR)

$$52,5 \text{ [l]} \times 69 \text{ (DF)} / 820 \text{ [l/m}^2\text{]} = 4,4 \text{ [m}^2\text{]}$$

Beispielanalyse Tomatenproduktion

Ausgleich zwischen Energie- und Wasserverbrauch?

Produktion von 1 kg Tomaten
in einem Gewächshausspannfeld in Spanien



Beispielanalyse Tomatenproduktion

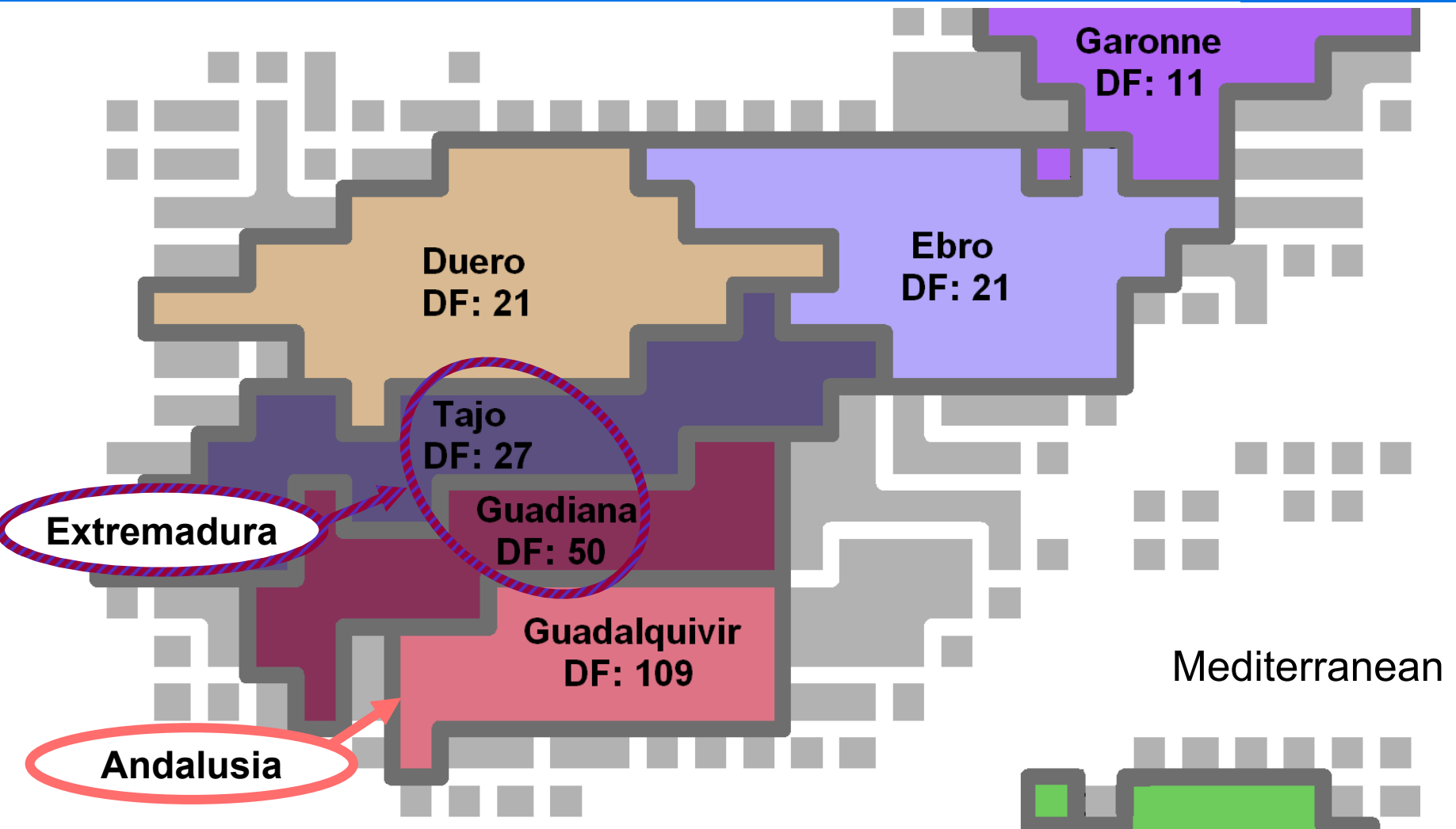
Eingangsdaten in die Umweltkategorie Flächenbedarf

| Wasser- & Flächenbedarf | Niederlande | | | Marokko | | | Spanien | | |
|---|-------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|---------------------|-------------|------------|
| Bewässerungswasser [L] | 30 ⁽¹⁾ | | | 75 ⁽²⁾ | | | 52,5 ⁽²⁾ | | |
| Damage Factor ⁽³⁾ | 15 | | | 221 | | | 69 | | |
| | Δ HH | Δ EQ | Δ R | Δ HH | Δ EQ | Δ R | Δ HH | Δ EQ | Δ R |
| | 0 | 15 | 0 | 51 | 88 | 82 | 0 | 27 | 42 |
| bewertetes Bewässerungswasser [m ²] | 0,6 | | | 20,2 | | | 4,4 | | |
| direkter Flächenbedarf [m ²] | 0,113 | | | 0,352 | | | 0,351 | | |
| Summe [m ²]: Wasser- & Flächenbedarf | 0,7 | | | 20,6 | | | 4,8 | | |

- Der Wert des „direkten Flächenbedarfs“ wird hauptsächlich von der zum Anbau benötigten Fläche bestimmt, die je nach Ertrag variiert (Niederlande 48 kg/m², Spanien 6,4 kg/m²)

Beispielanalyse Tomatenproduktion

Regionalspezifische Unterschiede in Spanien



Beispielanalyse Tomatenproduktion

Regionalspezifische Unterschiede in Spanien

| Wasser- & Flächenbedarf | Ø Spanien | | | Andalusien | | | Extremadura | | |
|---|-----------|-----|----|------------|-----|----|-------------|-----|----|
| Bewässerungswasser [L] ⁽¹⁾ | 52,5 | | | 70 | | | 75 | | |
| Damage Factor ⁽²⁾ | 69 | | | 109 | | | 37 | | |
| | ΔHH | ΔEQ | ΔR | ΔHH | ΔEQ | ΔR | ΔHH | ΔEQ | ΔR |
| | 0 | 27 | 42 | 51 | 39 | 70 | 0 | 37 | |
| bewertetes Bewässerungswasser [m ²] | 4,4 | | | 9,3 | | | 3,4 | | |
| direkter Flächenbedarf [m ²] | 0,35 | | | 0,35 | | | 0,35 | | |
| Summe [m ²]: Wasser- & Flächenbedarf | 4,75 | | | 9,65 | | | 3,74 | | |

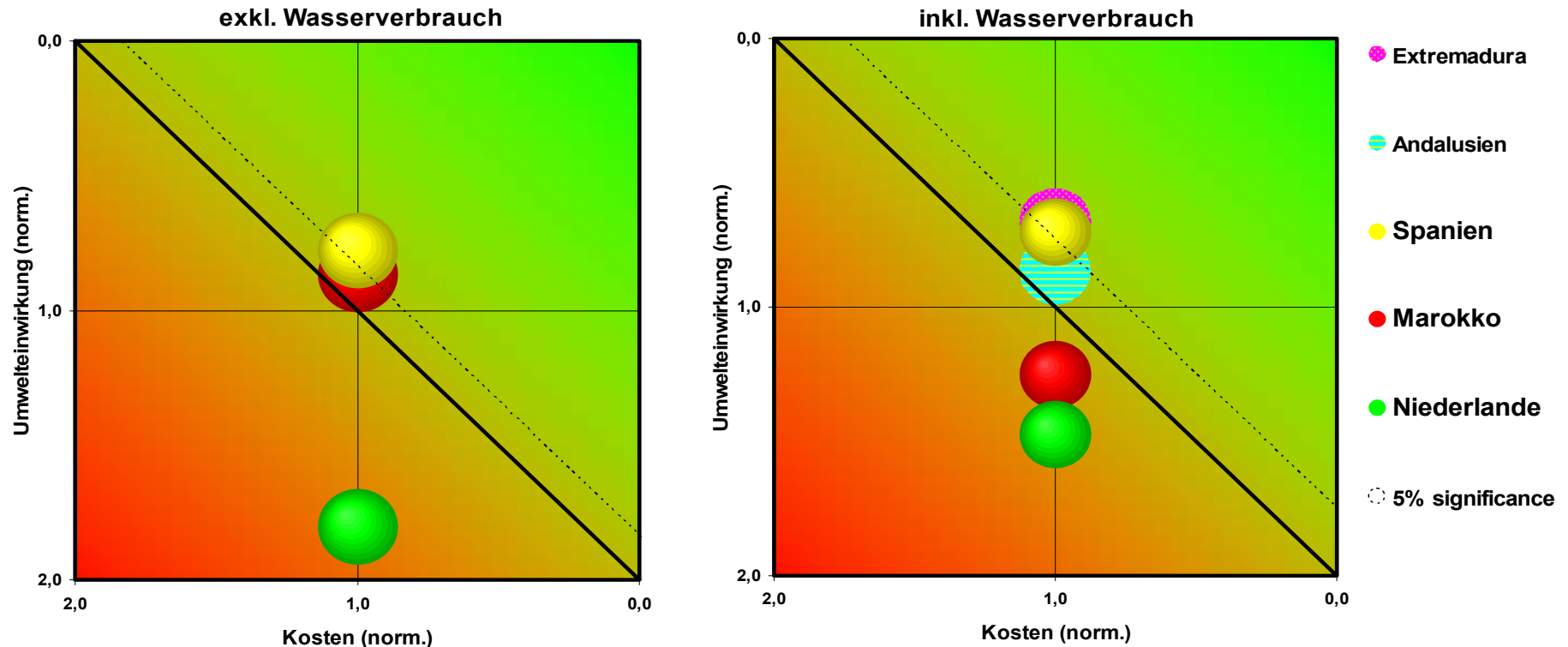
- Die negativen Umweltauswirkungen des Wasserverbrauchs sind in Andalusien (DF 109) höher als im Landesdurchschnitt (DF 69).

Beispielanalyse Tomatenproduktion

Ergebnisse im Ökoeffizienz Portfolio

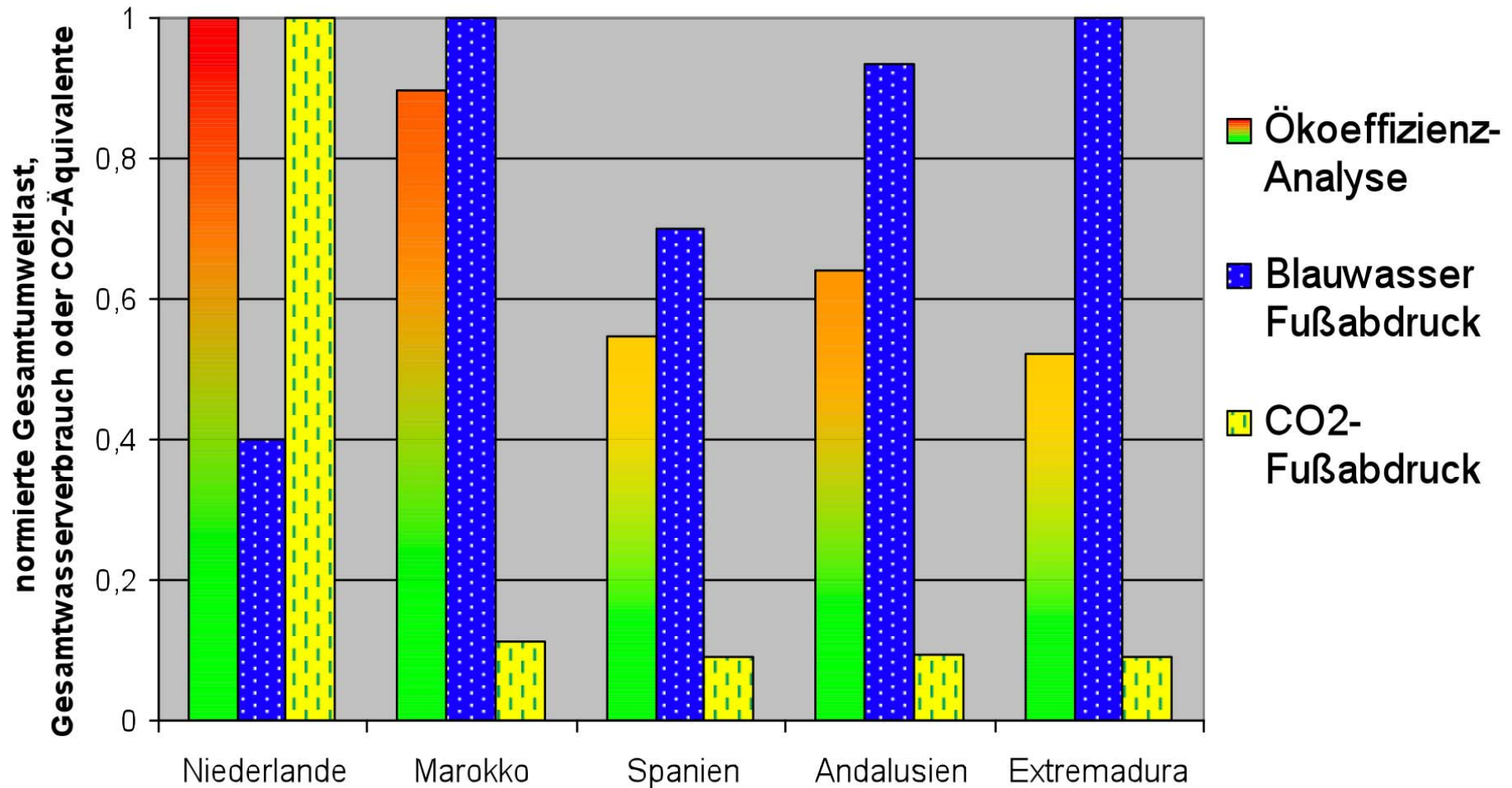
- Rohstoffverbrauch
- Energieverbrauch
- Risikopotential (Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten)
- Emissionen (GWP, ODP, POCP, AP, Wasseremissionen, Feststoffabfall)
- Toxizitätspotential
- Flächenbedarf

+ Wasserverbrauch



Beispielanalyse Tomatenproduktion

Ergebnisse von ÖEA im Vergleich zu H₂O- & CO₂-Fußabdruck



Literatur

- Allan, J. A. (1998): Virtual water: a strategic resource, global solutions to regional deficits. *Groundwater* 36 (4), 545–546.
- BASF - Saling, P., Kicherer, A., Dittrich-Krämer, B., Wittlinger, R., Zombik, W., Schmidt, I., Schrott, W. und Schmidt, S. (2002): Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2002) 7 (4) 203- 218
- Chapagain, A. K. & A. Y. Hoekstra (2008). The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International* 33 (1), 19–32.
- Chapagain, A. K. & S. Orr (2009): An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*. 2009, 90, 1219-1228. Elsevier
- Koehler, A. (2008): Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 451-455, Springer-Verlag
- Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A. und Cliff, R. (2009): Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I – inventory modeling and characterization factors for the main impact pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment* (2009) 14:28-42. Springer-Verlag
- Pfister, S. (2008): Grundlagen Oekologische Systemanalyse; Wirkungsabschätzung (LCIA) von Wasserverbrauch. ETH Zurich, Institute of Environmental Engineering (IfU), Section Ecological Systems Design URL: http://www.ifu.ethz.ch/ESD/education/Bachelorstudium/GrundlagenOSA/LCIA_Wasser.pdf
- Pfister, S., Koehler, A. und Hellweg, S. (2009a): Assessing the Environmental Impact of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology* 2009, 43, 4098-4104, Washington
- Rosegrant, M; Cai, Z und Cline, S (2003): *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity and Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis*. IFPRI, Washington. Available at www.ifpri.org
- UN (2003): *Water for People, Water for Life*. Paris: UNESCO, www.unesco.org/water/wwap/wwdr
- UN, the United Nations World Water Development Report 2 (2006): *Water—a shared responsibility*, p 46. Accessible at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405E.pdf>

BACK-UP

Wie groß ist der Wasserstress in einer Region?

Abnahme der Ressourcen

Water-Global Assessment and Prognosis Model:

- WaterGAP Global Hydrology Model = water availability

- Input data:
- Climate data
 - Drainage direction
 - Land cover
 - Soil water capacity
 - Slope
 - Hydrogeology
 - etc.

- WaterGAP Water Use Model = water withdrawal

- Input data:
- Domestic water use
 - Industrial water use
 - Agriculture water use

Damage Factor: Human health (ΔHH) incl. Water Stress Index (WSI) Ecosystem Quality (ΔEQ) Resources (ΔR)

Water stress Index (WSI) [-]

$$WSI = \frac{\text{annual freshwater use (WU}_{\text{consumptive}}) \text{ [m}^3\text{/yr]}}{\text{annual water availability (WA) [m}^3\text{/yr]}} \times \text{variation factor (VF)}$$

Damage to Human Health (ΔHH) [DALY/m³]

Water = WSI city related impact pathways for human health are! x DF

- fraction of agricultural Water Use

• Lack of freshwater for hygiene and ingestion \Rightarrow spread of diseases (e.g. diarrhea)
- Human Development Factor

• Water shortage for irrigation \Rightarrow malnutrition

per-capita Water Requirements to prevent malnutrition

per-capita malnutrition **Damage Factor**

Damage Factor:

Human health (ΔHH)
incl. Water Stress Index (WSI)
Ecosystem Quality (ΔEQ)
Resources (ΔR)

■ **Damage to Ecosystem Quality (ΔEQ)** [$m^2 \text{ yr}/m^3$]

- The net primary production which is limited by water availability represents the water-shortage vulnerability of an ecosystem
- The consumptive water use and natural precipitation describes the theoretical area-time [m^2/yr] equivalent which would be needed to recover the amount of consumed water by natural precipitation

■ **Damage to Resources (ΔR)** [MJ/m^3]

- Comes into account if the annual freshwater use exceeds the annual renewable freshwater availability
- The fraction of freshwater consumption that contributes to depletion is put into relation to energy being used for seawater desalination

Was ist die Ökoeffizienz-Analyse?

- Instrument zur ganzheitlichen, vergleichenden Beurteilung von Produkten und Verfahren
- Gleichgewichtete Bewertung von ökologischen und ökonomischen Einflüssen
- Entscheidungsorientierte Darstellung

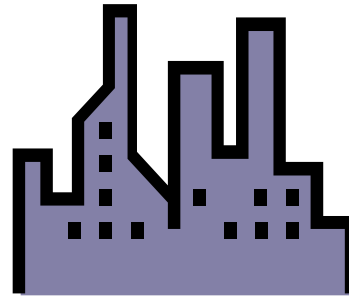
- Standardwerkzeug innerhalb BASF-Gruppe,
über 350 Analysen durchgeführt
- Auch genutzt von anderen Firmen und Instituten

Betrachtung des gesamten Lebensweges

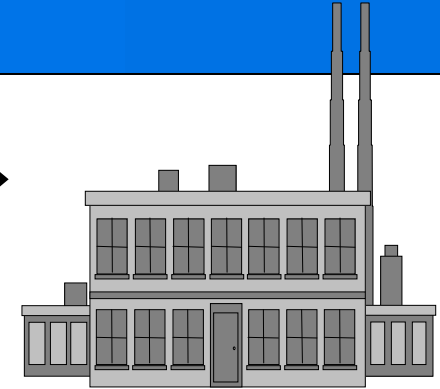
BASF



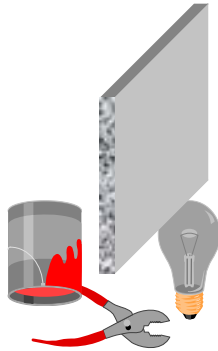
Rohstoffgewinnung



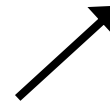
Grundmaterialien



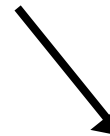
Produkte



Produktverwendung



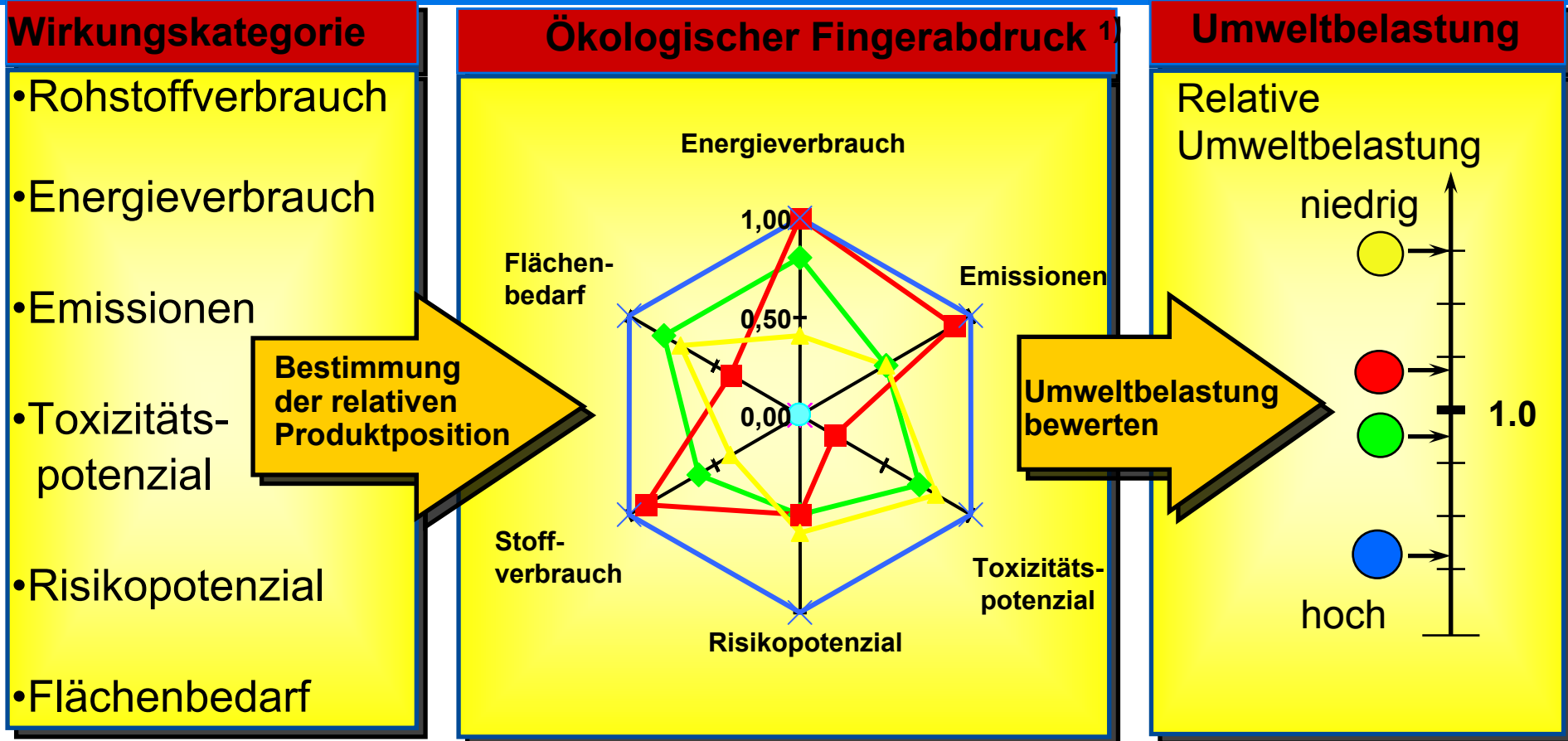
Recycling



Entsorgung



Analyse der Umweltbelastung



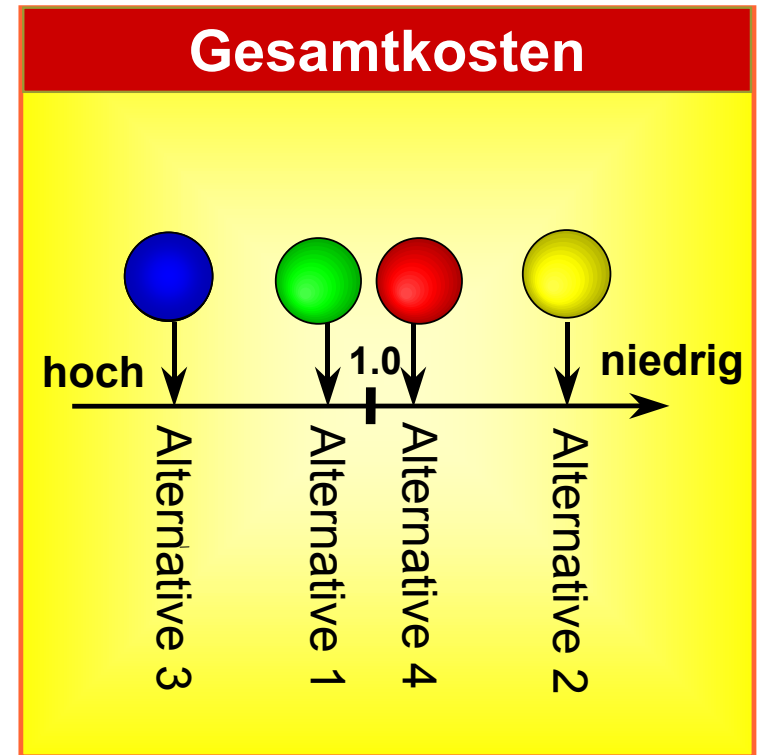
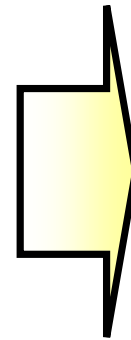
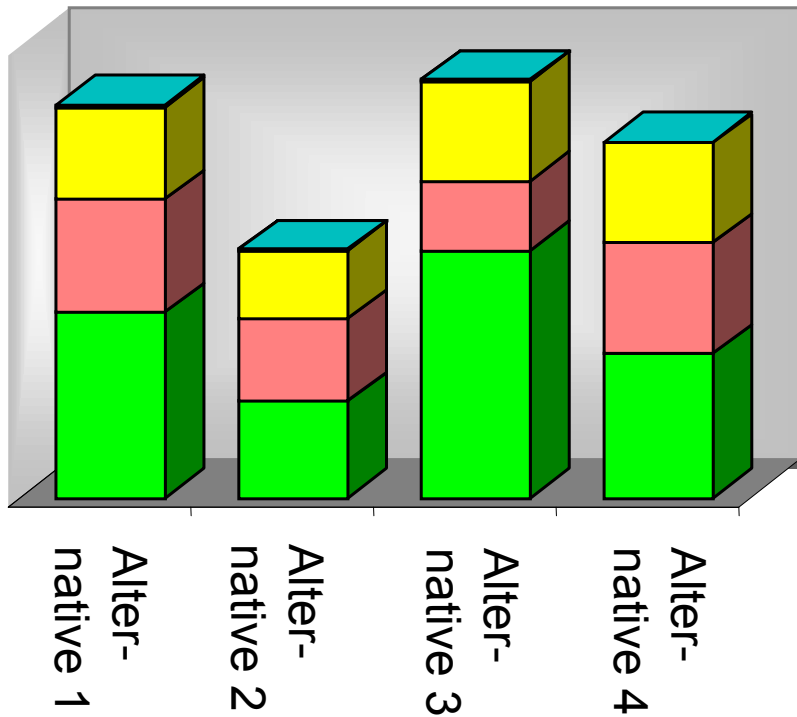
1) 1 = höchste Umweltbelastung
0 = niedrigste Umweltbelastung

● Alternative 1
● Alternative 2

● Alternative 3
● Alternative 4

Kostenanalyse des gesamten Lebensweges

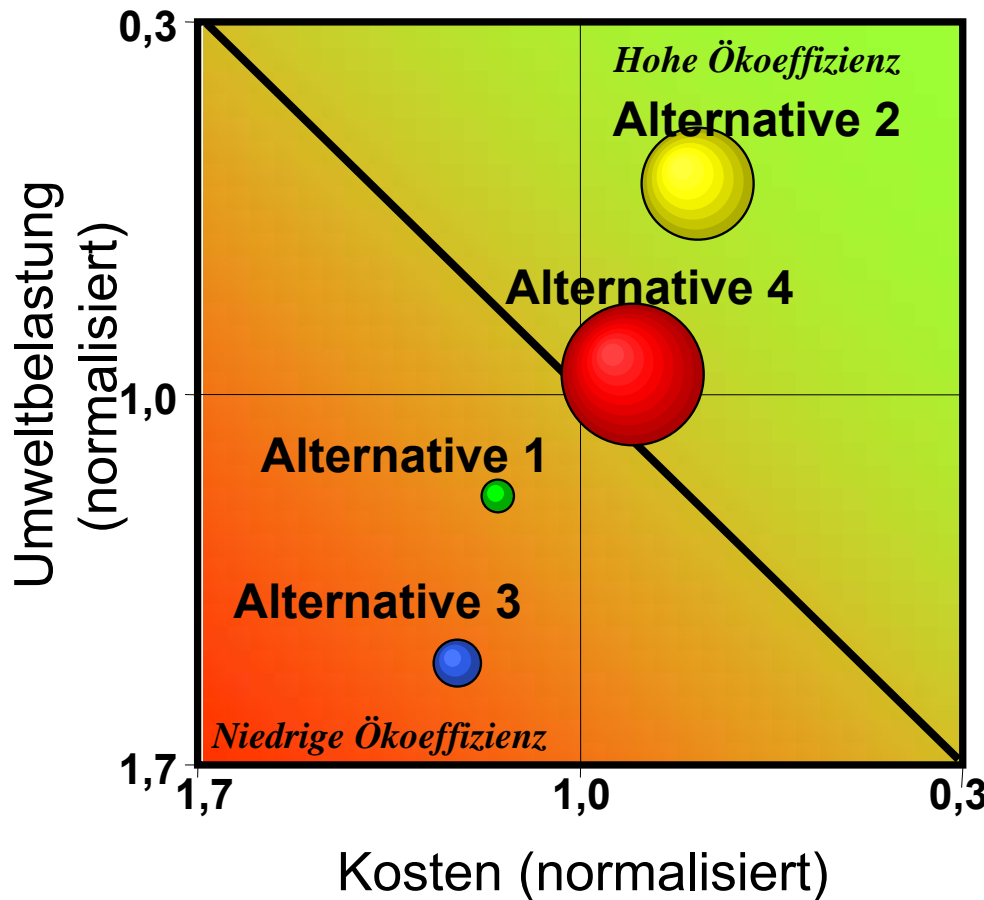
Kosten in EURO pro Nutzeinheit



Ökoeffizienz Portfolio: Verknüpfung von Kosten und Umweltbelastung

Kunden-
bezogener
Nutzen:

1 Nutzen-
einheit für
.....



Alternativen

Relativer
Marktanteil
in Europa

- Alternative 1 **x** %
- Alternative 2 **z** %
- Alternative 3 **y** %
- Alternative 4 **t** %

Die Kreisgröße entspricht dem (relativen) Marktanteil in Europa

Verwendung im Unternehmen

Ausgangslage & Ziel

■ Strategie (Standortentscheidungen, Investitionsentscheidungen)

Vorgehen

Stand & Entwicklung

■ Forschung und Entwicklung (Prozess- und Produktverbesserungen)

- ökonomische Aspekte

- Öko-/ Toxizität

■ Marketing (Darstellung von Produktvorteilen, Verbesserung der

- Gesellschaftsfaktoren

Kundenbindung)

Zusammenfassung

■ Öffentlichkeit (Diskussion mit Meinungsbildnern, NGOs und Politik)

Einordnung der Ökoeffizienz-Analyse und SEEbalance®

„cradle to gate“

*Herstellung: vom Rohstoff
bis zum Werkstor*

„cradle to grave“

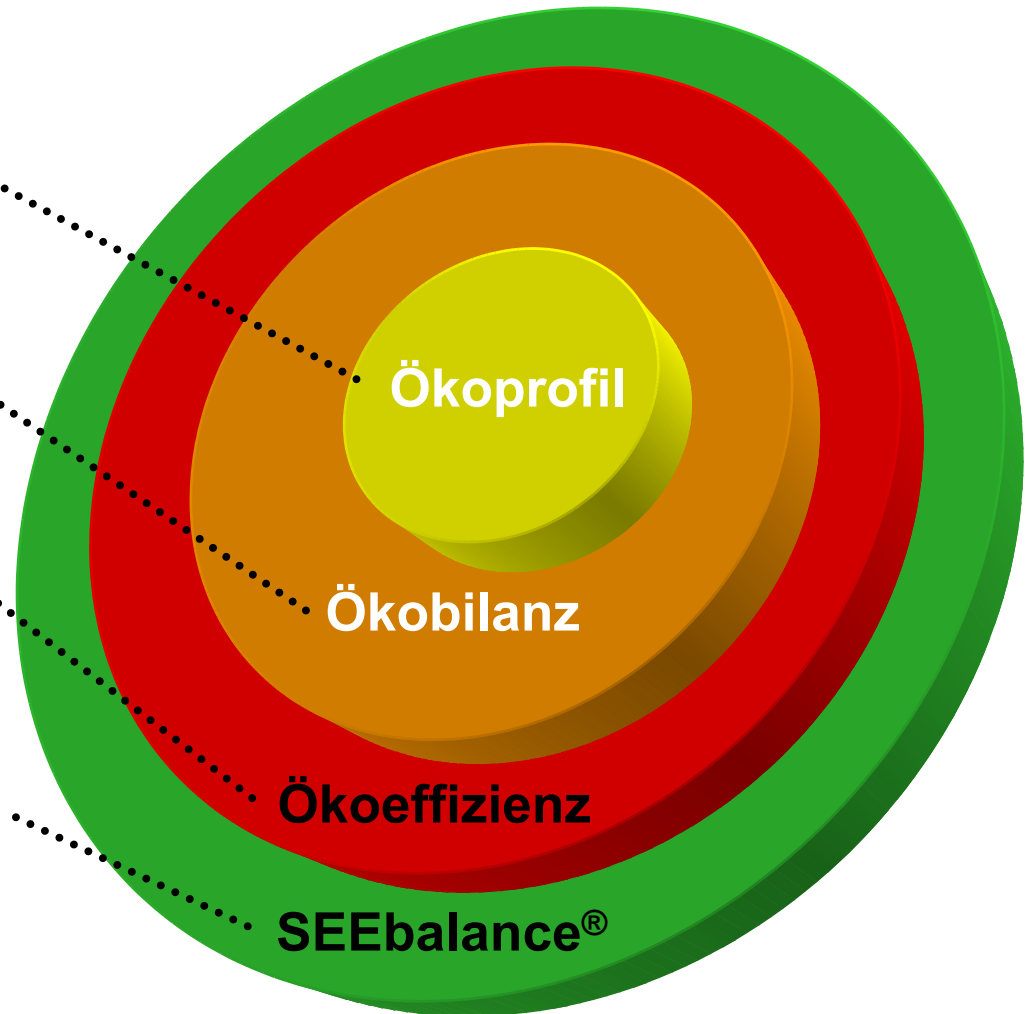
...plus Nutzung und Entsorgung

„cradle to grave and costs“

...plus Kosten über den Lebensweg

**„cradle to grave, costs and
social aspects“**

...plus soziale Aspekte über den Lebensweg



Ökoprofil

Ökobilanz

Ökoeffizienz

SEEbalance®