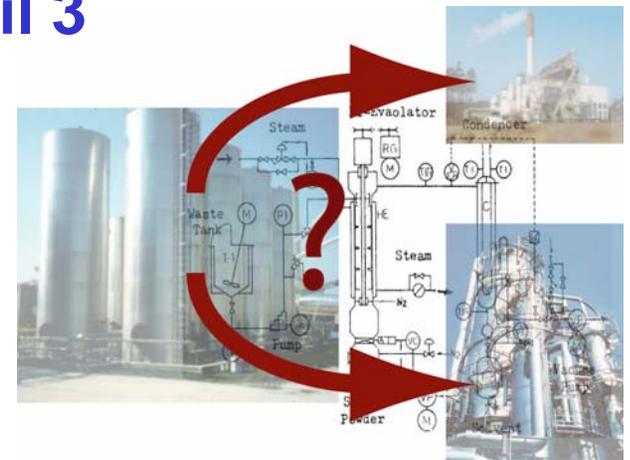


Vorlesung: Umweltverträgliche Technologien

Modul Oekobilanzen

FALLSTUDIE: Abfallösmungsmittelmanagement, Teil 3



Ziel und Rahmenbedingungen

Das Management eines Chemiekonzerns möchte wissen, ob die anfallenden Abfalllösungsmittel (ALM) aus ökologischer Sicht thermisch oder stofflich verwertet werden sollen.

Das Ziel der Untersuchung ist *der ökologische Vergleich der stofflichen und thermischen Verwertung von Lösungsmitteln* (Destillation und Verbrennung in ALM-Spezialöfen). Die funktionelle Einheit ist die *Entsorgung von 1 t Lösungsmittelgemisch*.

In einem ersten Schritt soll ein spezifisches Fallbeispiel gerechnet werden, nämlich die stoffliche und thermische Verwertung eines Gemisches aus Toluol (98 wt%), Karbonsäure (1 wt%), Methanol (0.5 wt%) und Wasser (0.5 wt%).

Sachbilanz – kumulierte Daten (Gutschriftenverfahren)

	Einheit	Destillation	Spezialofen ALM
Ressourcen			
Erdöl	t	-0,50	-0,20
Steinkohle	t	-0,0002	-0,02
Erdgas	m3	-860	-800
Emissionen			
CO2	kg	-30	1100
NOx	kg	-4	-1
SOx	kg	-1	-3
Cd (Luft)	mg	16	-210
Partikel	g	330	-520

Schadensfaktoren (Beispiel Eco-indicator 99, Hierarchist)

	Einheit	Eco-indicator 99 ecosystem quality	Eco-indicator 99 human health	Eco-indicator 99 resources	Eco-indicator 99 total (Punkte)
Ressourcen					
Erdöl	t			100	100
Steinkohle	t			4	4
Erdgas	m3			0,1	0,1
Emissionen					
CO2	kg		0,005		0,005
NOx	kg	0,4	2,3		2,7
SOx	kg	0,08	1		1
Cd (Luft)	mg	0,0008	0,004		0,004

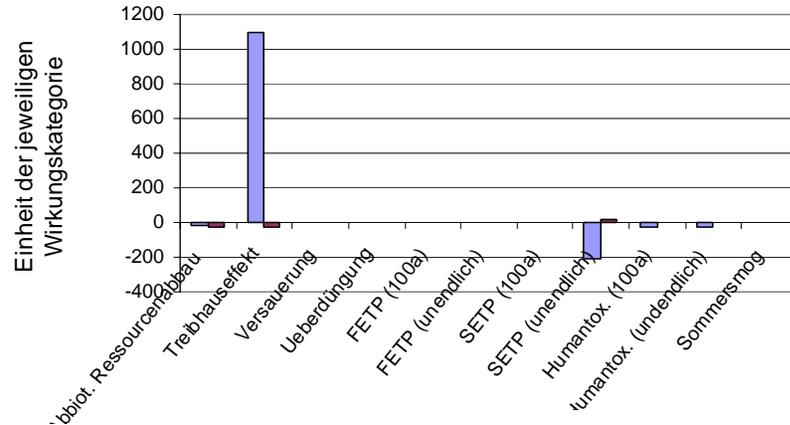
Fragen

1. Berechnen Sie die kumulierten Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für beide Verwertungsverfahren und für die Methoden CML'01 (Tab. 2, nur die grau unterlegten Wirkungskategorien), Eco-indicator 99 und kumulierter Energieaufwand (Tab. 3, nur die grau unterlegten Wirkungskategorien). Fallen die Ergebnisse immer zugunsten des selben Verwertungsverfahrens aus?
2. Welche Vor- und Nachteile haben Ihrer Meinung nach aggregierende Methoden zur Wirkungsabschätzung (z.B. Eco-indicator 99) gegenüber teilaggregierenden Methoden wie CML'01?
3. In der nachstehenden Abbildung sehen Sie die Ergebnisse für das Gutschriften- und Warenkorbverfahren für die Methode CML'01 verschieden dargestellt (SETP=Meerwasser Oekotoxizität). Zur Erinnerung: Gutschriften- und Warenkorbverfahren sind bezüglich des Vergleichs der Entsorgungsverfahren *rechnerisch* äquivalent. Achten Sie auf die Beschriftung der y-Achse. Welche Darstellung bevorzugen Sie und warum?

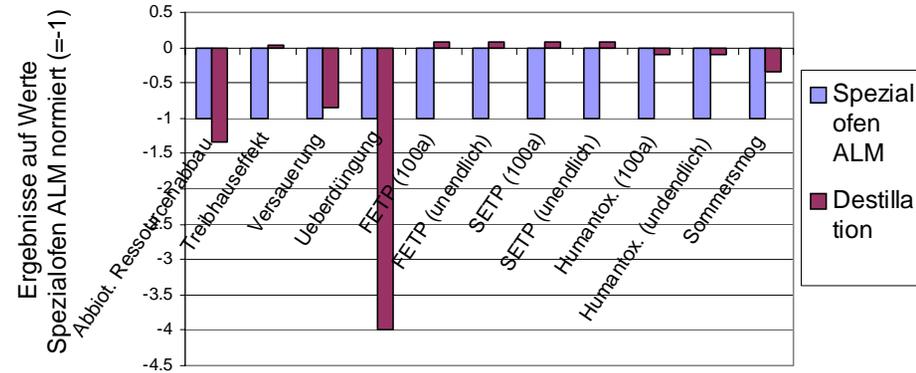
Fragen

3. Unterschiedliche Darstellung von Ergebnissen

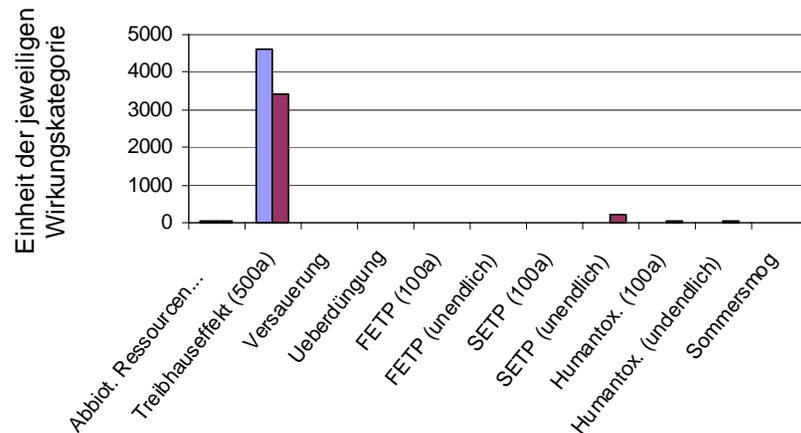
CML'01, Gutschriftenverfahren



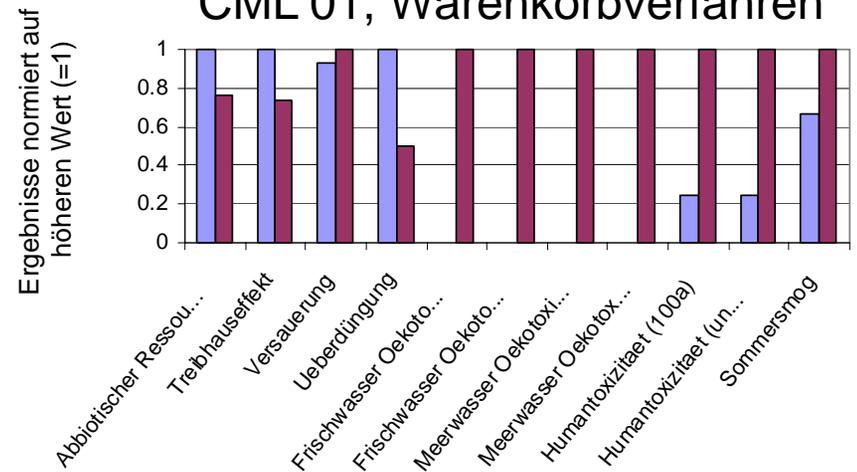
CML'01, Gutschriftenverfahren



CML'01, Warenkorbverfahren



CML'01, Warenkorbverfahren



Fragen

4. Warum gibt es Ihrer Meinung nach Unterschiede bei der Bewertung der Oekotoxizität von Cd-Emissionen, wenn als Zeithorizont 100 Jahre oder unendlich zugrunde gelegt wird (Tab. 2). Können Sie sich vorstellen, warum sind diese Unterschiede bei der Humantoxizität für Cd-Emissionen in die Luft nicht sichtbar sind?

Schwere Frage!

Frage 1

1. Berechnen Sie die kumulierten Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für beide Verfahren.

Sachbilanzergebnisse

	Einheit	Destillation
Ressourcen		
Erdöl	t	-0,50
Steinkohle	t	-0,0002
Erdgas	m3	-860
Emissionen		
CO2	kg	-30
NOx	kg	-4
SOx	kg	-1
Cd (Luft)	mg	16
Partikel	g	330

Charakterisierungsfaktoren

Abiotischer Ressourcenabbau (kg antimony-Eq)	20
	10
	0,02
	0
	0
	0
	0

*

=

Ergebnisse Wirkungsabschätzung

Abiotischer Ressourcenabbau (kg antimony-Eq)

-10
-0.002
-17.2

Frage 1: Ergebnisse Destillation CML'01

	Abbiot. Ressour- cen- abbau	Treib- haus- effekt	Ver- sauer- ung	Ueber- dün- gung	Frisch- wasser Oeko- toxizität	Meer- wasser Oeko- toxizität	Human- toxizität	Sommer smog
Einheit	kg antimony -Eq	kg CO2- Eq	kg SO2- Eq	kg PO4- Eq	kg 1,4- DCB-Eq	kg 1,4- DCB-Eq	kg 1,4- DCB-Eq	kg ethylene- Eq
Erdöl	-10							
Steinkohle	-0.002							
Erdgas	-17.2							
CO2		-30						
NOx			-2	-0.4			-4	
SOx			-1				-0.1	-0.05
Cd					0.0048	16	1.6	
Partikel							0.264	
Summe (gerundet)	-27	-30	-3	-0.4	0.0048	16	-2.3	-0.05

Frage 1: Ergebnisse ALM Spezialofen CML'01

	Abbiot. Ressour- cen- abbau	Treibh aus- effekt	Ver- sauer- ung	Ueber- dün- gung	Frisch- wasser Oeko- toxizität	Meer- wasser Oeko- toxizität	Human- toxizität	Sommer smog
Einheit	kg antimon y-Eq	kg CO2- Eq	kg SO2- Eq	kg PO4- Eq	kg 1,4- DCB-Eq	kg 1,4- DCB-Eq	kg 1,4- DCB-Eq	kg ethylene -Eq
Erdöl	-4							
Steinkohle	-0.2							
Erdgas	-16							
CO2		1100						
NOx			-0.5	-0.1			-1	
SOx			-3				-0.3	-0.15
Cd					-0.063	-210	-21	
Partikel > 2.5 um, and < 10um							-0.416	
Summe	-20.2	1100	-3.5	-0.1	-0.063	-210	-22.716	-0.15

Frage 1: Ergebnisse Eco-indicator 99 (Hierarchist)

	Spezialofen ALM				Destillation			
	Oeko- system Ge- sund- heit	Mensch- liche Ge- sund- heit	Re- sour- cen	Total	Oeko- system Ge- sund- heit	Mensch- liche Ge- sund- heit	Re- sour- cen	Total
Eco-indicator 99								
Erdöl			-20	-20			-50	-50
Steinkohle			-0.08	-0.08			-	-
Erdgas			-80	-80			0.0008	0.0008
CO2		5.5		5.5		-0.15		-0.15
NOx	-0.4	-2.3		-2.7	-1.6	-9.2		-10.8
SOx	-0.24	-3		-3	-0.08	-1		-1
Cd	-0.168	-0.84		-0.84	0.012 8	0.064		0.064
Partikel		-5.2		-5.2		3.3		3.3
Summe (gerundet)	-0.8	-5.8	-100	-106	-1.7	-7	-136	-145

Frage 1: Ergebnisse kumulierter Energieaufwand

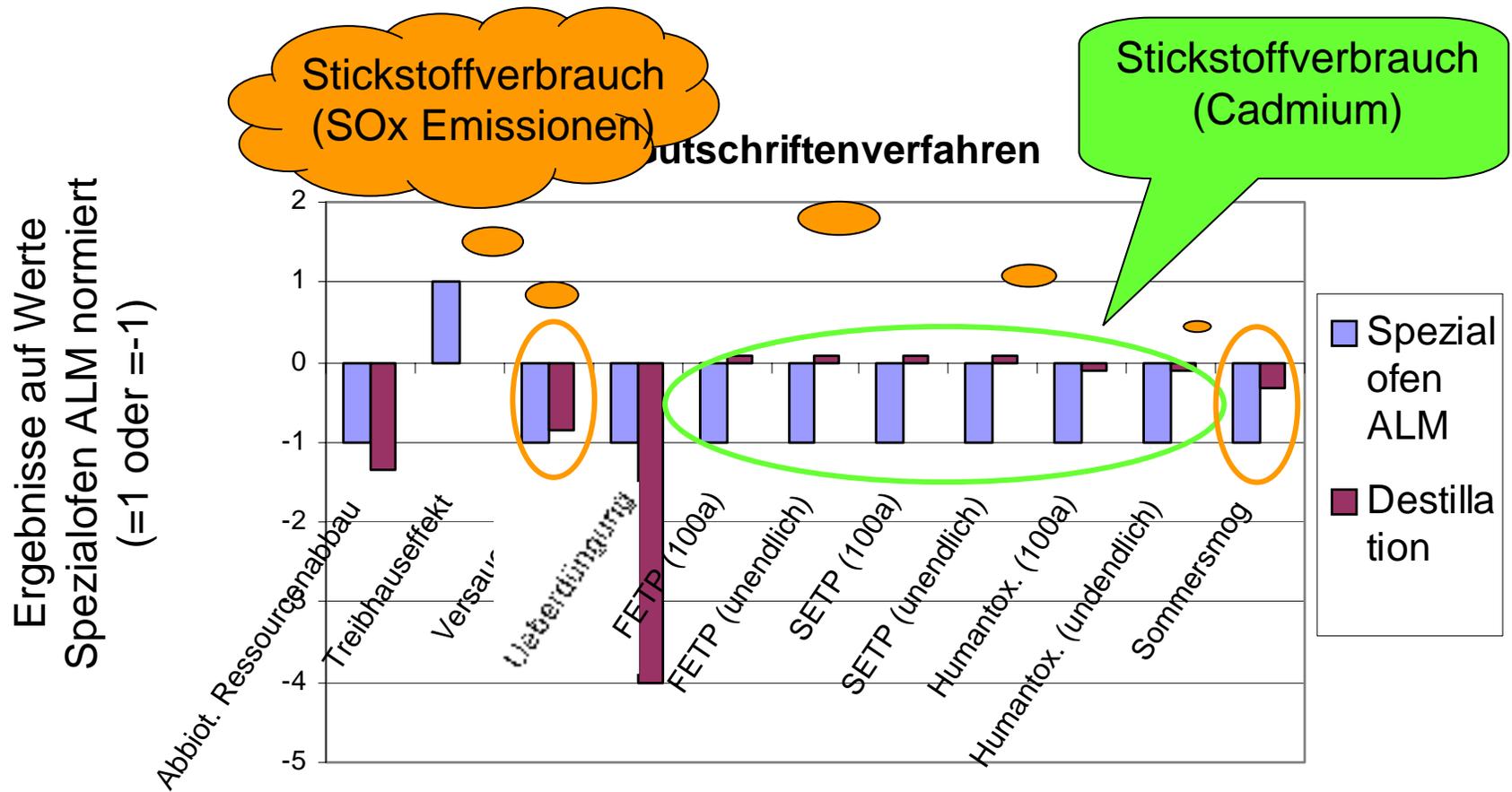
	Spezialofen ALM	Destillation
Einheit	MJ-eq	MJ-eq
Ressourcen		
Erdöl	-9160	-22900
Steinkohle	-382	-3.82
Erdgas	-32240	-34658
Summe (gerundet)	-41800	-57600

Frage 1: Fallen die Ergebnisse immer zugunsten des selben Verwertungsverfahrens aus?

- Kumulierter Energieverbrauch
- Eco-indicator 99 (Hierarchist)



Frage 1: Fallen die Ergebnisse immer zugunsten des selben Verwertungsverfahrens aus?



Frage 2

2. Welche Vor- und Nachteile haben Ihrer Meinung nach aggregierende Methoden zur Wirkungsabschätzung (z.B. Eco-indicator 99) gegenüber teilaggregierenden Methoden wie CML'01?

Vorteile:

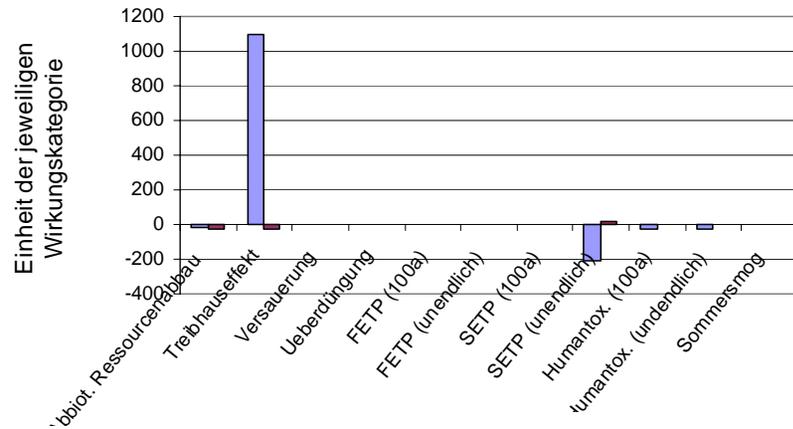
- leichtere Entscheidungsfindung
- weniger Fachwissen erforderlich (allerdings auch grössere Fehlergefahr)
- mehr Konsistenz und weniger Spielraum für Manipulation durch Beeinflussung der Gewichtung
- Experten (und nicht Laien) gewichten

Nachteile:

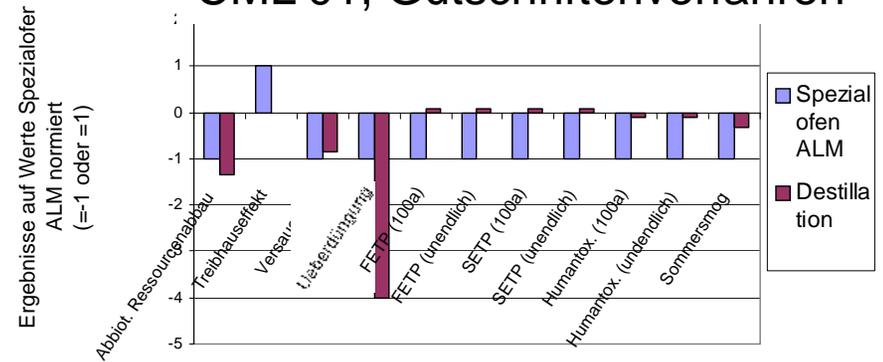
- Bewertungsraster spiegelt nicht unbedingt Wertesystem des Entscheidungsträgers wider
- Subjektive Elemente könnten als „wissenschaftlich korrekt“ verstanden werden
- weniger Transparenz

Frage 3: Darstellung der Ergebnisse

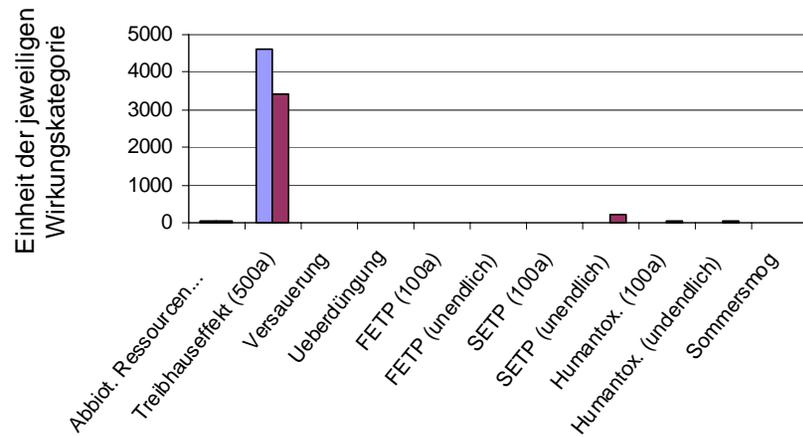
CML'01, Gutschriftenverfahren



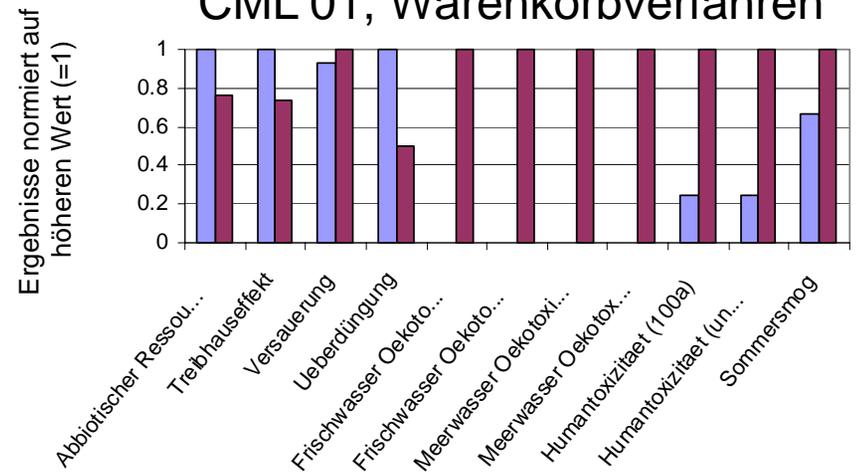
CML'01, Gutschriftenverfahren



CML'01, Warenkorbverfahren



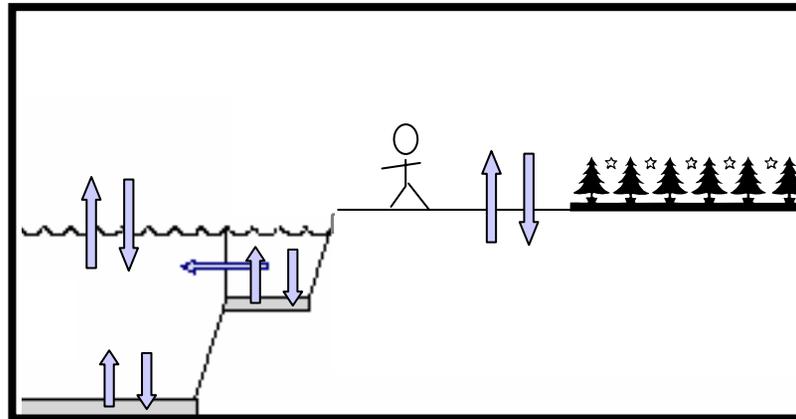
CML'01, Warenkorbverfahren



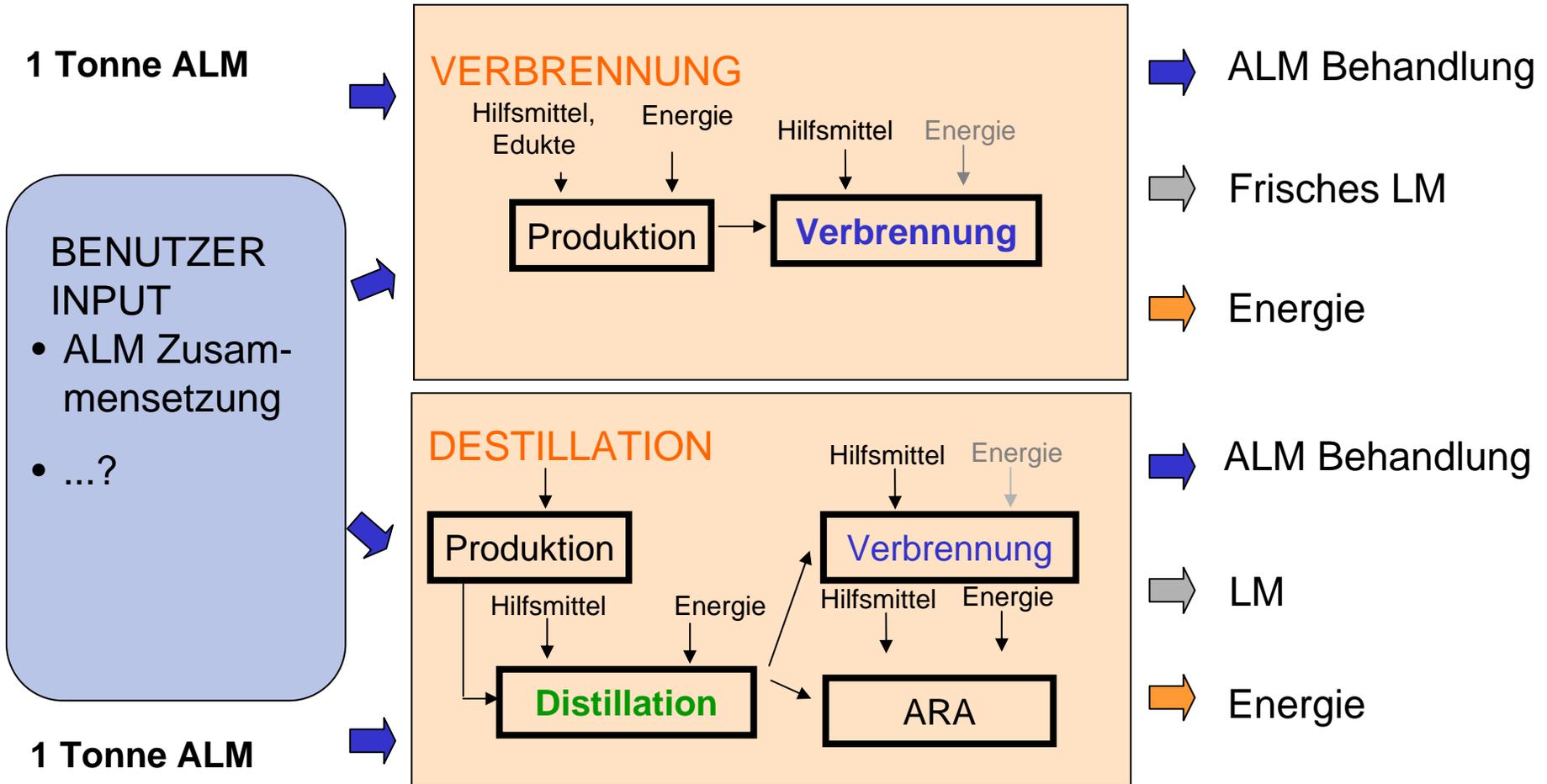
Frage 4: Zeithorizont

Unterschied Bewertung Luftemission Cd:

- Frischwassertoxizität: 1 Größenordnung
- Meerwassertoxizität: 2 Größenordnungen
- Humantoxizität: insignifikanter Unterschied

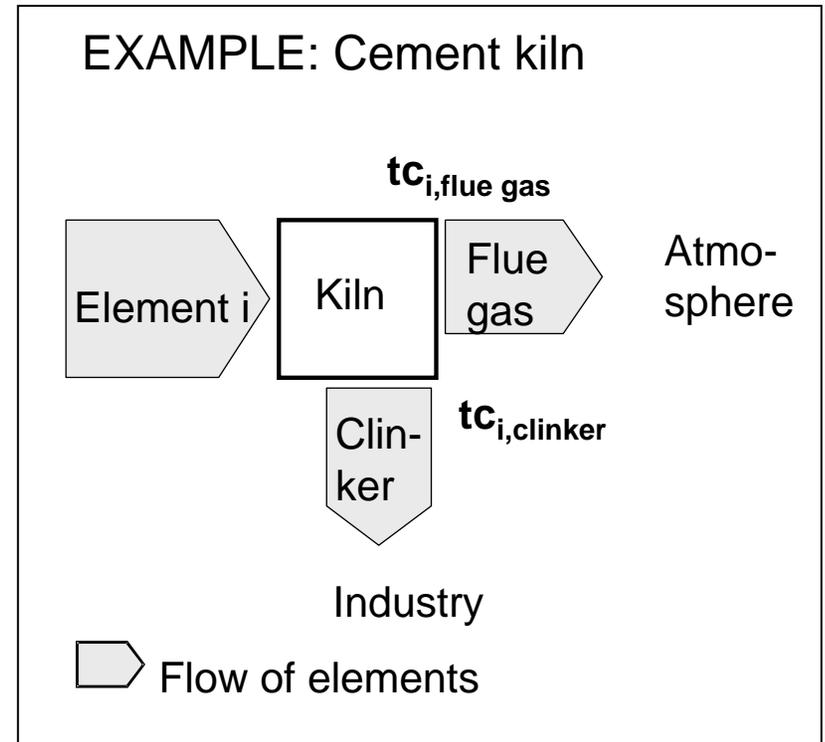


Inventartool: Ecosolvent



Inputabhängiges Modell Verbrennung

- ALM Spezialöfen
- Zementwerk
- **Allokation:**
 - Emissionen: Transferkoeffizienten für C, N, S, P, (F, Cl, Br, I, Fe,) As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Ti, Zn oder Menge Lösungsmittel
 - Hilfsmittel auf „Zielelemente“ (z.B. NaOH pro Elemente S,P, Cl, Br, I)
 - Energie: unterer Heizwert



Inputabhängiges Modell Verbrennung

- ALM Spezialöfen
- Zementwerk
- **Beispiel CO₂:**
 - 100% wird in die Luft emittiert
 - 1 t ALM Gemisch (Toluol, Methanol, Wasser) enthält 0,9 t C



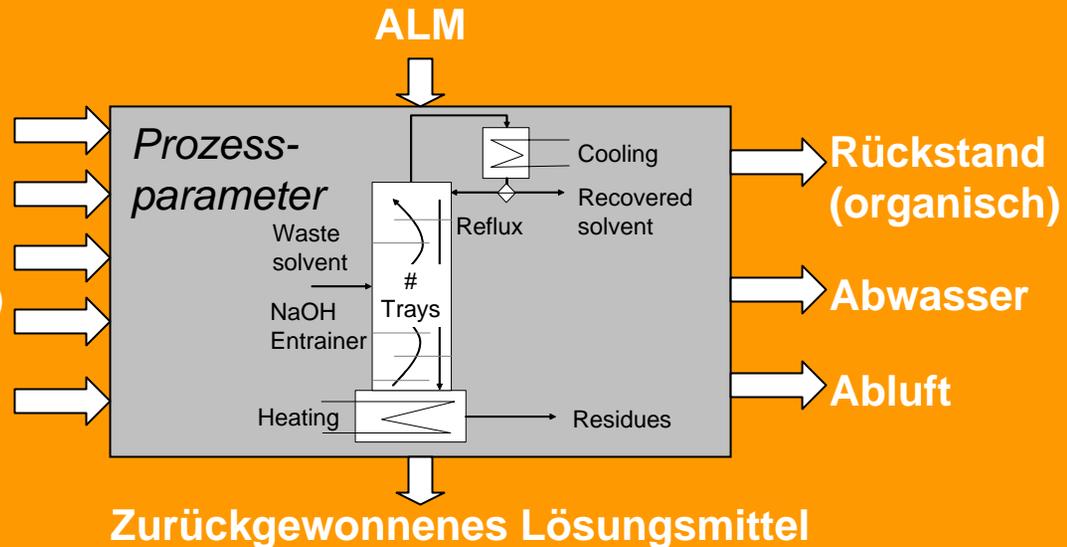
$$0.9 \text{ t} * 100\% * 44/12 = 3.3 \text{ t CO}_2$$

Im Zementwerk auch C aus fossilen Brennstoffen (z.B. C-Gehalt von 1 t Heizöl ca. 0,84 t → wenn Toluolhaltiges ALM-Gemisch Heizöl ersetzt, dann werden die CO₂ Emissionen leicht erhöht (siehe Uebungsblatt 2))

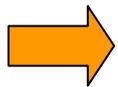
Destillationsmodell: Ein statistischer Ansatz

LCI-Parameter

Dampf
Strom
Kühlwasser
Inertgas (Stickstoff)
Hilfsstoffe
(pH-Regulierung
Reinigungsmittel,
Schleppmittel)

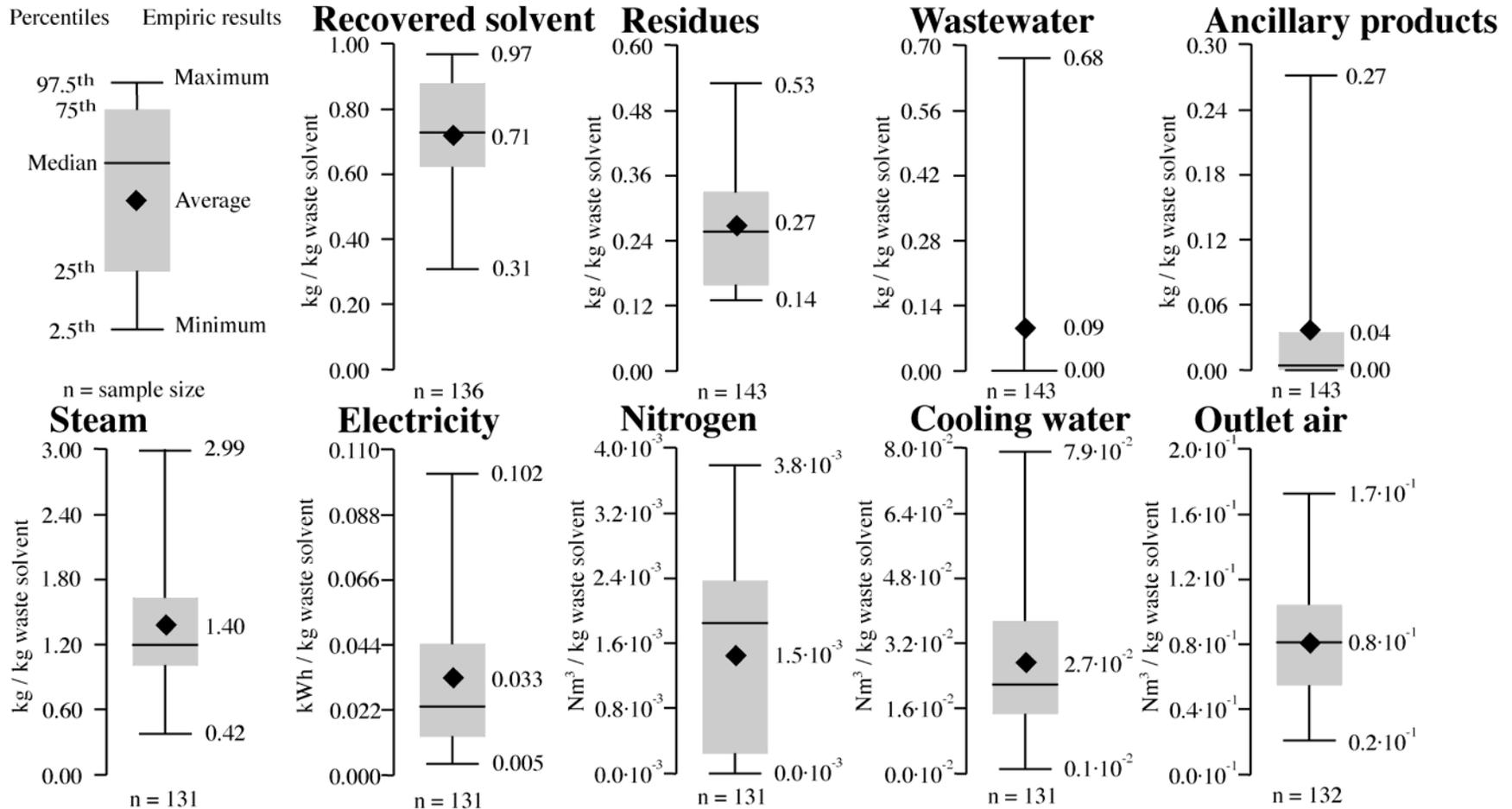


Problem: jede Destillation ist einzigartig (ALM-Zusammensetzung / Reinheit Destillat / Technologie)

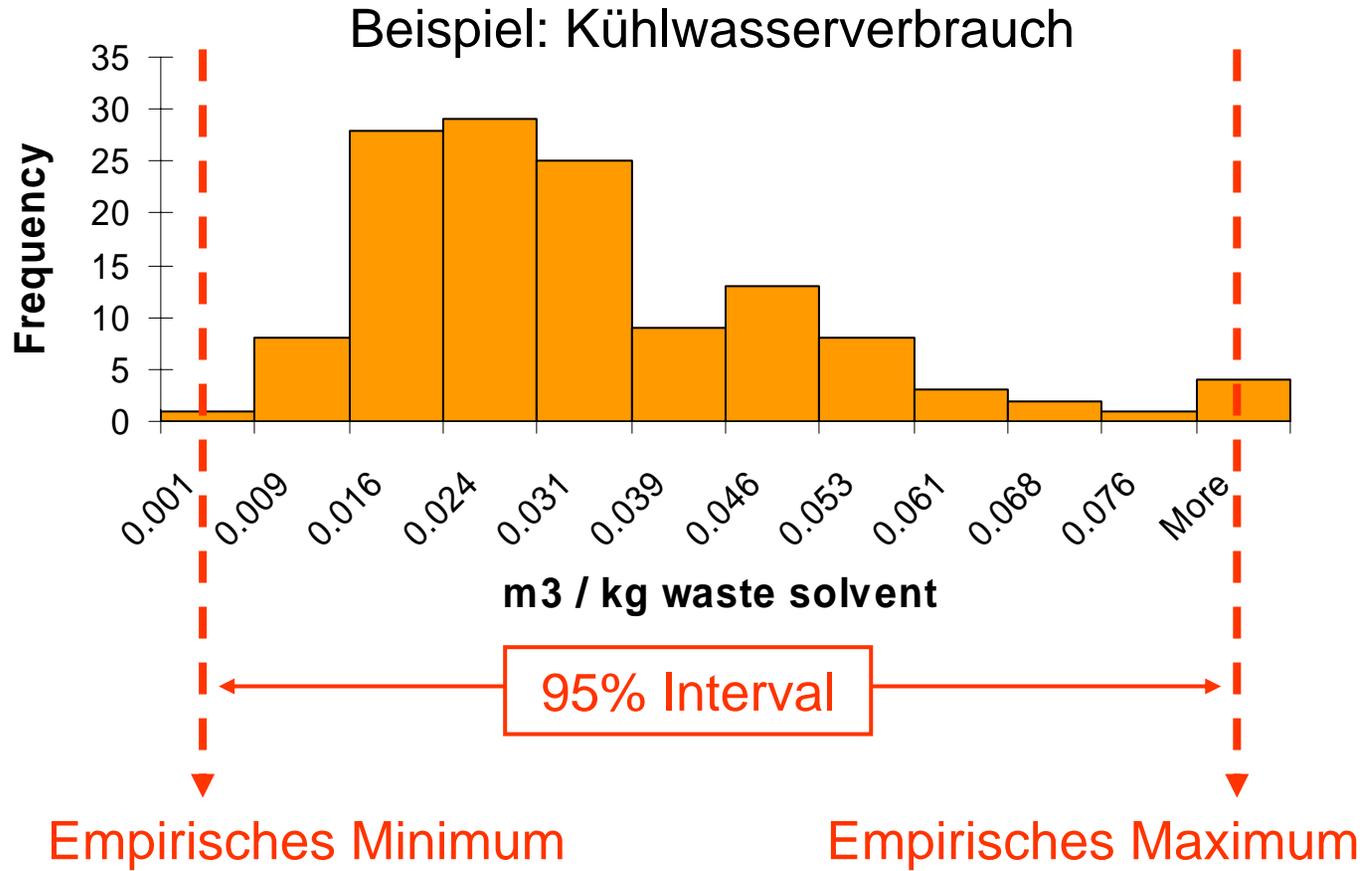


Quantifizierung der LCI-Parameter mit statistischer Analyse

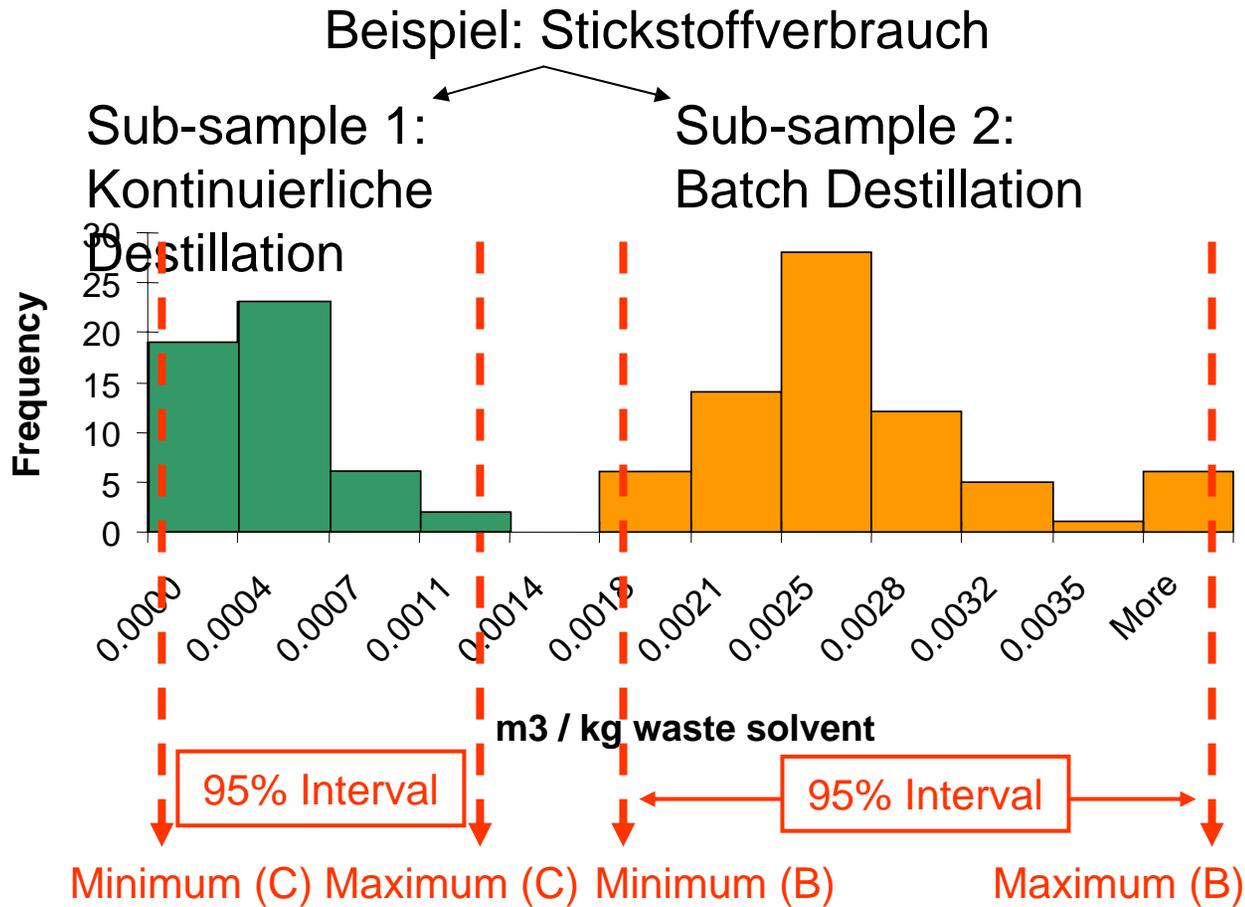
Generische Wertebereiche für Inventarflüsse



Statistische Analyse

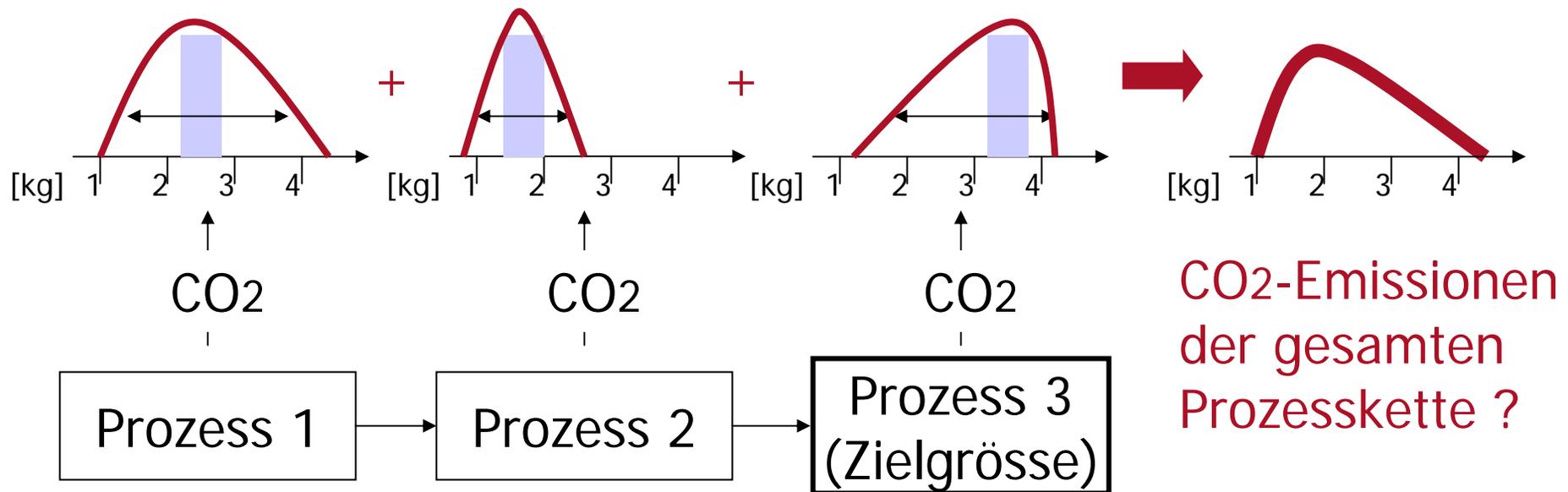


Statistische Analyse

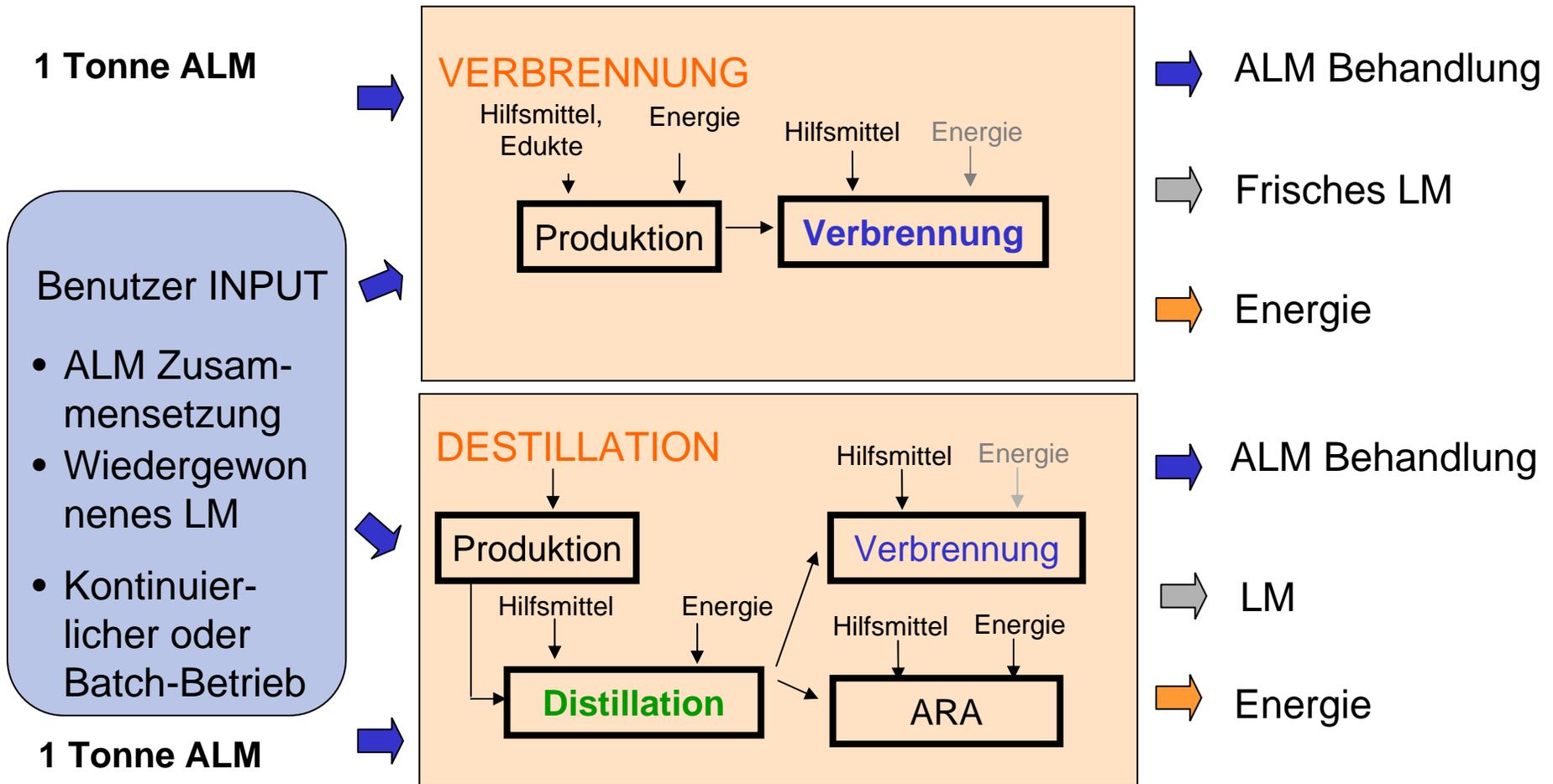


Statistische Analyse

- Quantitative Unsicherheitsbetrachtung mittels probabilistischer Modelle:
Monte Carlo Simulationen

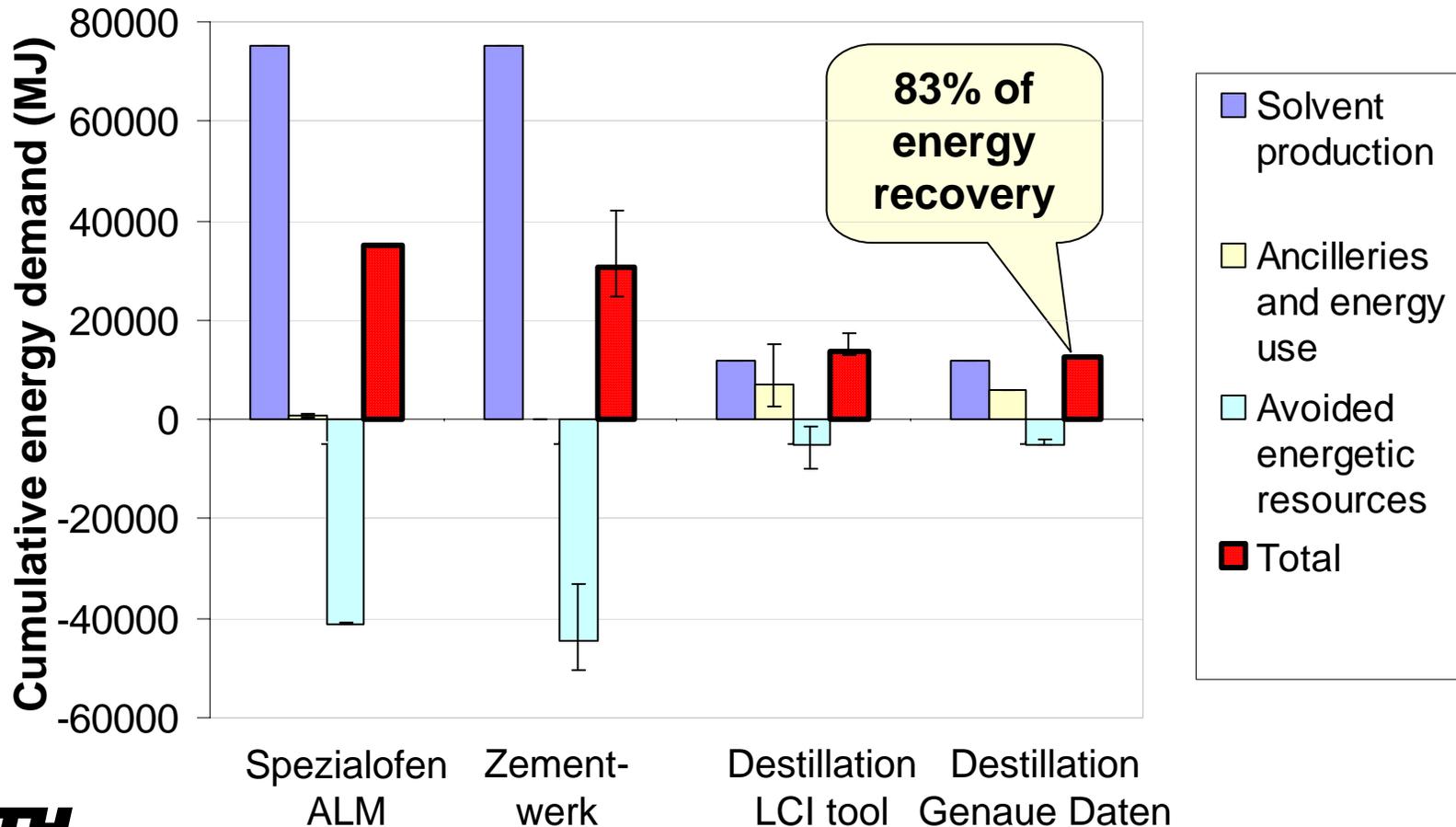


Inventartool: Ecosolvent



Anwendungsbeispiel: Toluene containing waste solvent

Produktion und Behandlung von 1 Tonne LM: Toluol (98 wt%), Wasser (0,5 wt%), Methanol (0,5 wt%), Karbonsäure (1 wt%)



Files zum Herunterladen (ab morgen)

- Uebungsblatt 3
- Folien mit Lösungen
- Excelfiles mit Daten dieser Uebung
- Demosoftware Ecosolvent:
<http://www.sust-chem.ethz.ch/teaching/courses/Vorlesungsunterlagen.html>
(Passwort für Ecosolvent: cg123456)