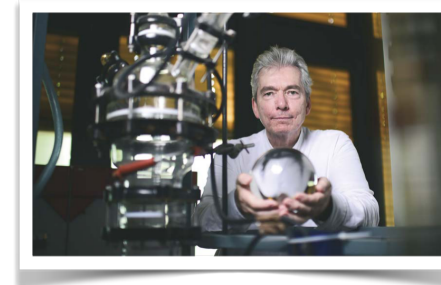


Ein Beitrag aus dem ProcessNet-Arbeitsausschuss **Cost Engineering**

Thomas Rieckmann

Institut für Anlagen und Verfahrenstechnik
Technische Hochschule Köln

Reaktionstechnik und Prozessentwicklung



„enkelgerechte“ Technik

thomas.rieckmann@th-koeln.de

Dennis Krämer

Dechema e.V.
Fachbereich Energie und Klima

Carbon Management



CO₂ also alternative
Rohstoffquelle

dennis.kraemer@dechema.de

Decarbonisierung der Industrie der Stoffwandlung

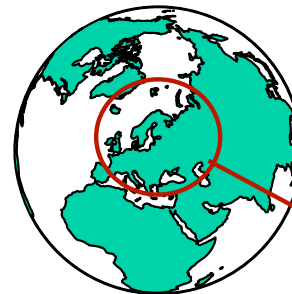
An welcher Stelle entfaltet eine MWh nicht-fossiler elektrischer Energie zum Schutz des Klimas ihre maximale Wirkung?

Kraftwerk: Braunkohle, Steinkohle

From energy point of view, it is more beneficial to use 1 MWh of green electricity to replace 1 MWh grey electricity than use it to convert CO₂ electrochemically to C₂H₄

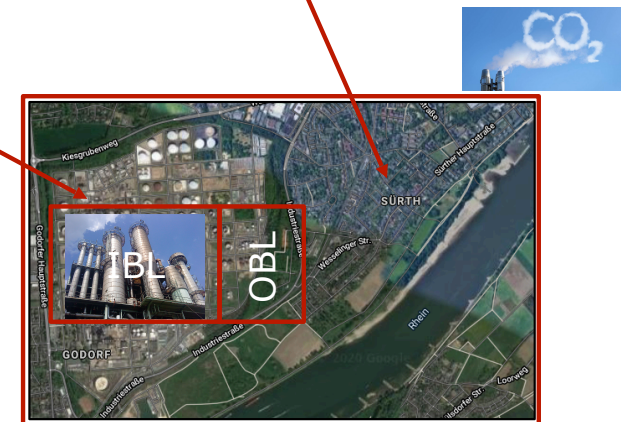
- Today, available green electricity would best be used to close coal and gas based power plants instead of powering the electrochemical conversion of CO₂ to ethylene

Kevin van Geem, Ghent University, 2020



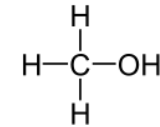
Prozesse
der Stoffwandlung

keine Externalisierung der Kosten



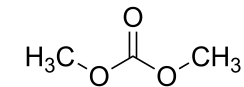
Flugtreibstoff

- ▶ via Methanol aus CO₂ und Wasserstoff



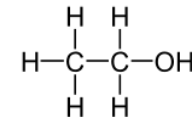
Dimethylcarbonat

- ▶ Edukte CO₂ und Methanol



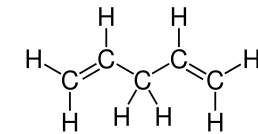
Ethanol

- ▶ Elektrochemisch, CO₂ in Wasser absorbiert



Olefine, Steamcracker

- ▶ Substitution von Methan durch Wasserstoff



AG Rieckmann, TH Köln 2019-2021

endergonisch, $\Delta_{\text{R}}G > 0$, nicht freiwillig ablaufend

Die Decarbonisierung ist an die Verfügbarkeit von CO₂-neutralem Wasserstoff gekoppelt

Es wird ein Werkzeug benötigt, das den Entscheidungsprozess in Politik und Wirtschaft im Ringen um angemessene technische Lösungen unterstützt.

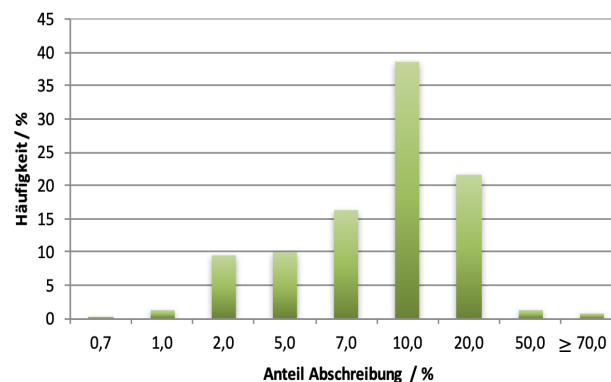
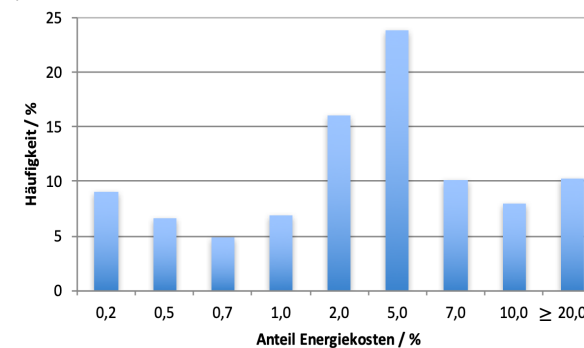
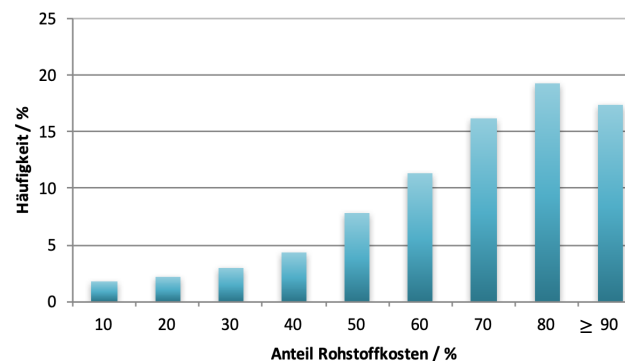
Die für frühe Projektphasen bzw. Machbarkeitsstudien entwickelten Methoden der Kostenschätzung bieten hier die Möglichkeit, mit angemessenem Aufwand, die Datenbasis zu liefern und die folgenden Fragen zu beantworten:

- Wie hoch sind die notwendigen **Investitionsausgaben**?
- Wie hoch sind die spezifischen **Produktionskosten**?
- Welche **technologischen** und **wirtschaftlichen Risiken** sind mit der vorgeschlagenen Lösung verbunden?
- Wie muss sich der **Preis zur Nutzung fossiler Energieträger** entwickeln, damit ein vorgeschlagener Prozess ökonomisch attraktiv wird?

Produktionskosten chemischer Produkte – variable Kosten und fixe Kosten

	Mittelwert	Median
Rohstoffkosten	72 %	77 %
Energiekosten	2,5 %	5,4 %
Abschreibung	13 %	16 %
Personal	5,5 %	3,7 %

Die Rohstoffkosten dominieren die Produktionskosten. Der Anteil der Abschreibung, der Personalkosten und der Energiekosten ist gering.



Fixe Kosten

Abschreibung (s)
Engineering (d)
Personal (d)

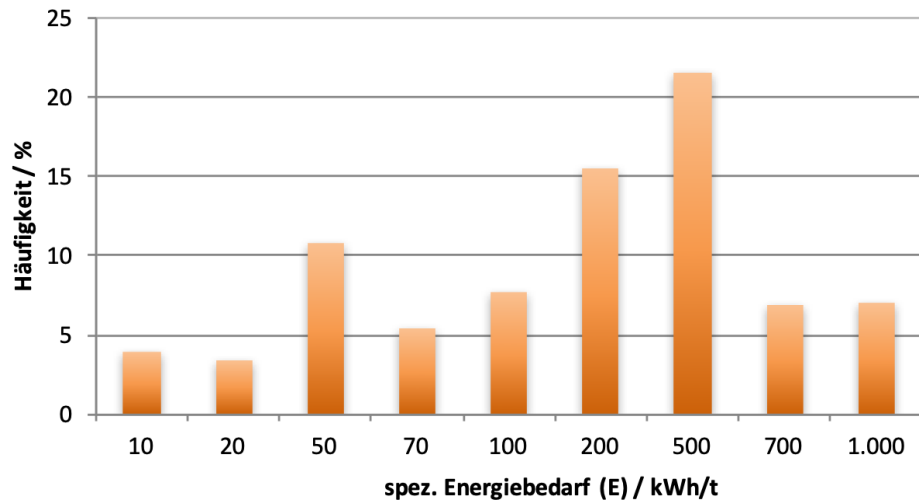
Variable Kosten

Rohstoffe, Hilfsstoffe (d),
Energie (d)
Wartung und Instandhaltung (s)

Datenbasis: 950 Prozesse, von 1 t/a bis 1,2 Mio. t/a

s: stochastische Methoden
d: deterministische Methoden

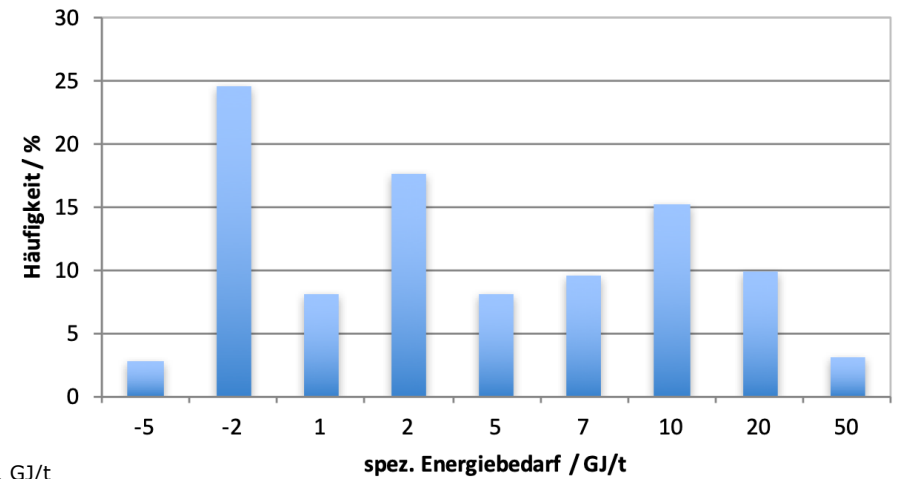
Spezifischer Energiebedarf chemischer Produkte, Elektroenergie und thermische Energie



Mittelwert: 1257 kWh/t
Median: 234 kWh/t

Spezifischer Energiebedarf, Elektroenergie
z.B. Motoren für Pumpen, Rührer, kleine Verdichter

Der Anteil der Energiekosten an den Produktionskosten wird stark zunehmen, der Anteil der Rohstoffkosten wird abnehmen.



Mittelwert: 11 GJ/t
Median: 4,3 GJ/t
Min: -110 GJ/t
Max: 483 GJ/t

Spezifischer Energiebedarf, thermische Energie
z.B. Dampf, Erdgas

Bilanzierung über Prozesssimulation

Datenbasis: 950 Prozesse, von 1 t/a bis 1,2 Mio. t/a

Methode

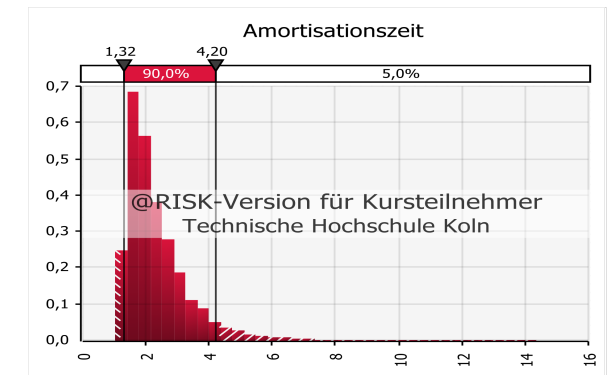
Bezug: Investitionsausgaben für Apparate und Maschinen

- ▶ modifizierte Zuschlagskalkulation nach Hand für den Prozess („IBL“)
- ▶ Ingenieurdienstleistungen über Mengengerüst
- ▶ Servicemedien (Dampf, Wärmeträgeröle, Kühlwasser) als variable Kosten („OBL“)

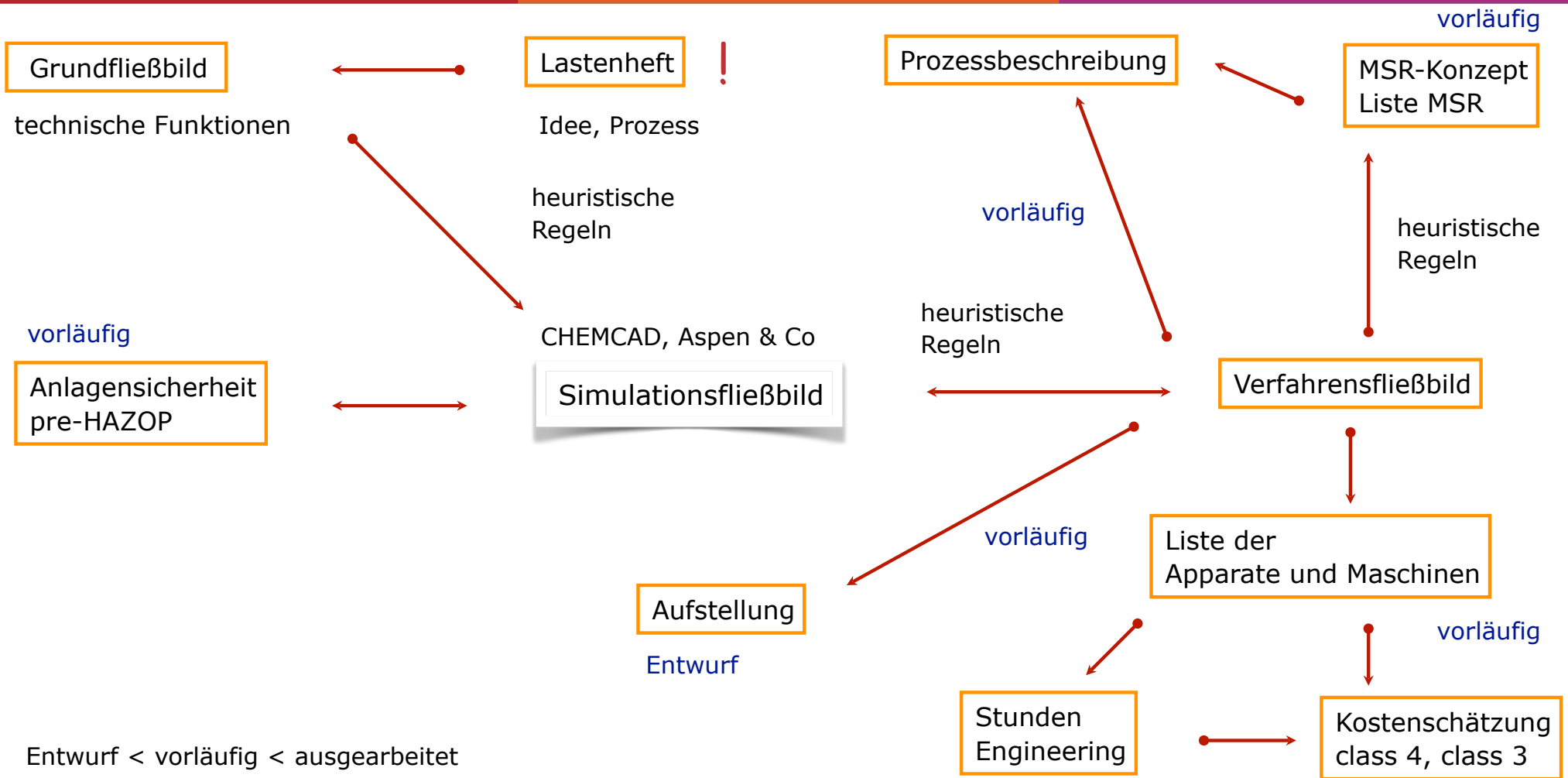
Genauigkeit und Vertrauensintervall

- ▶ „Class 4“, -30 / +50 %
- ▶ Monte-Carlo-Simulation
- ▶ Angabe des wahrscheinlichsten Wertes
- ▶ Ergebnisse mit einem Vertrauensintervall von 80 % oder 90 %

$$\text{Investitionsausgaben} = F_i \cdot F_b \cdot F_p \cdot \sum (\text{Handfaktor} \cdot F_m \cdot \text{Equipmentkosten})$$



Kostenschätzung in frühen Projektphasen - Informationsfluss und Dokumente



Sensitivitätsanalyse - Monte-Carlo-Simulation - „Was wäre wenn?“

Monte-Carlo-Methode: Numerisches Verfahren, das Zufallszahlen zur Simulation oder zur approximativen Lösung mathematischer Probleme verwendet

- ▶ Hier: Erzeugung einer repräsentativen Stichprobe möglicher Eingangsparemeter
- ▶ Software: Crystal Ball oder @Risk, Ergänzungssoftware zu Excel

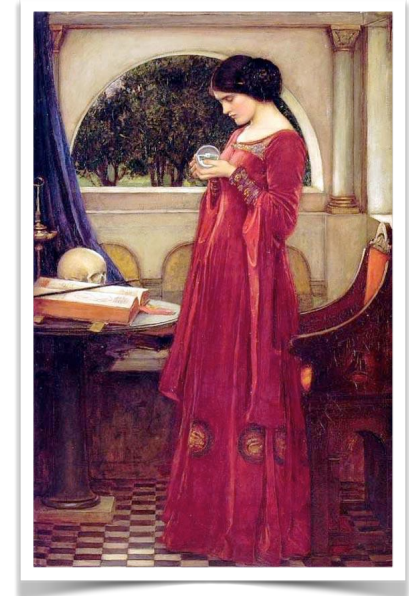
Alle Eingangsparemeter mit definierter Verteilungsfunktion, z.B. Rechteckverteilung, Dreiecksverteilung, Normalverteilung,...

Gleichzeitige Variation eines Satzes von n_i Eingangsparemetern (1.000 x, 10.000 x,...)

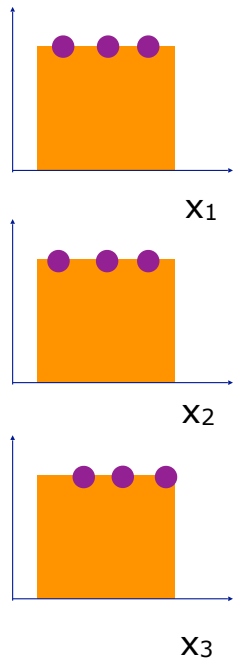
Ausgabe der untersuchten Parameter bzw. Sensitivitäten in Form von Verteilungen mit Angabe des Mittelwertes und der Werte für ein Intervall von z.B. 90 % Wahrscheinlichkeit



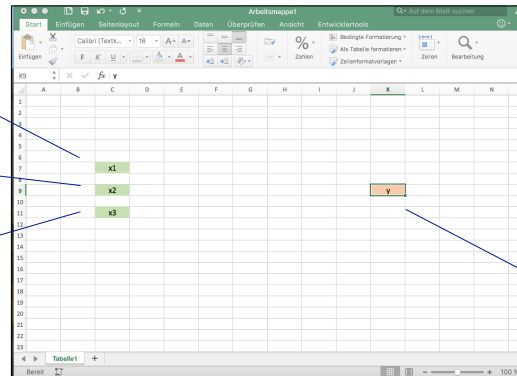
Tornado-Analyse: Darstellung der Regressionsempfindlichkeit



John William Waterhouse - The Crystal Ball
www.jwwaterhouse.com

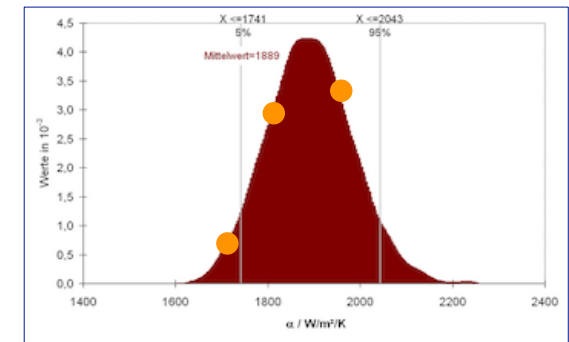


z.B. 10.000-fache Berechnung
 $y = f(x_1, x_2, x_3)$



Repräsentative Stichprobe aus der Grundgesamtheit aller möglichen Eingangsparemeter

Einteilung der Ergebnisse in Klassen

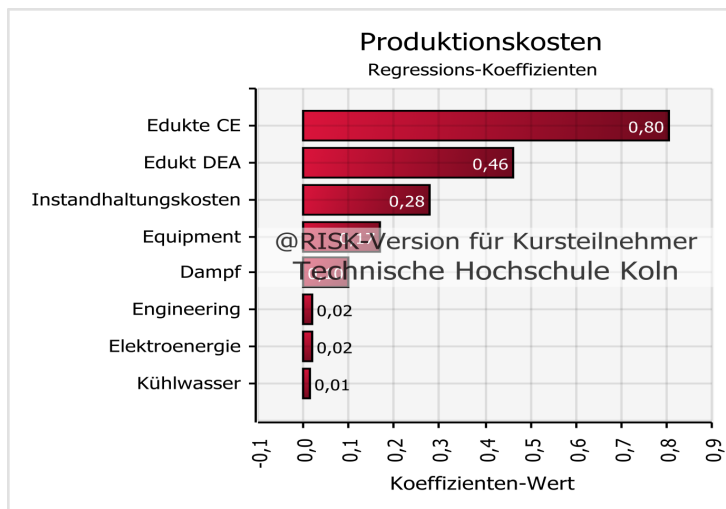


zufällige Wahl der Eingangsparameter x_i
innerhalb einer Verteilungsfunktion

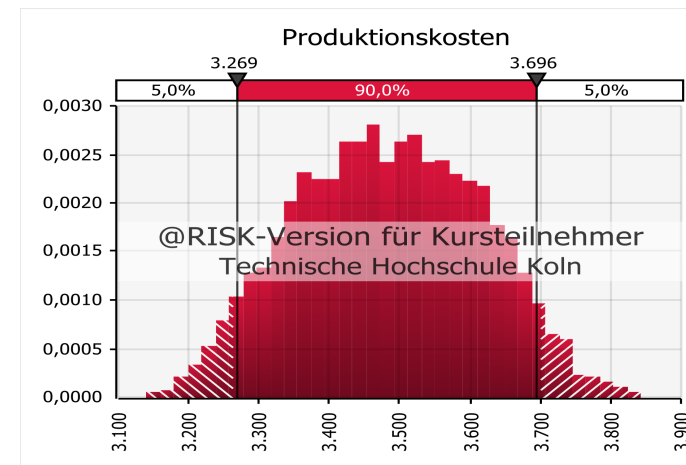
Stoffliche Nutzung von CO₂ - Kostenschätzung

Die vorgestellte Methode erlaubt es, bei angemessener Standardisierung, Investitionsausgaben und Produktionskosten einschließlich der jeweiligen Vertrauensintervalle zu schätzen und Prozessvarianten auf Basis eines objektiven Maßstabes zu bewerten.

Wirkung der Eingangsparameter auf die Ausgangsparameter



Verteilungsfunktion und Vertrauensintervall der Ausgangsparameter



Wahrscheinlichster Wert: 3480 €/t.

Mit 90%iger Wahrscheinlichkeit wird er zwischen 3270 € und 3700 € liegen.