



# Recycling von Papier aus gemischten Abfallströmen: Anforderungen an die Datengrundlage für eine ökologische Bewertung

Recy & DepoTech 2024

**Hannah Köhler**, Alena Maria Spies, Rosalie von Behr, Karoline Raulf & Kathrin Greiff

14.11.2024

# Datenqualität in der Lebenszyklusanalyse (LCA)

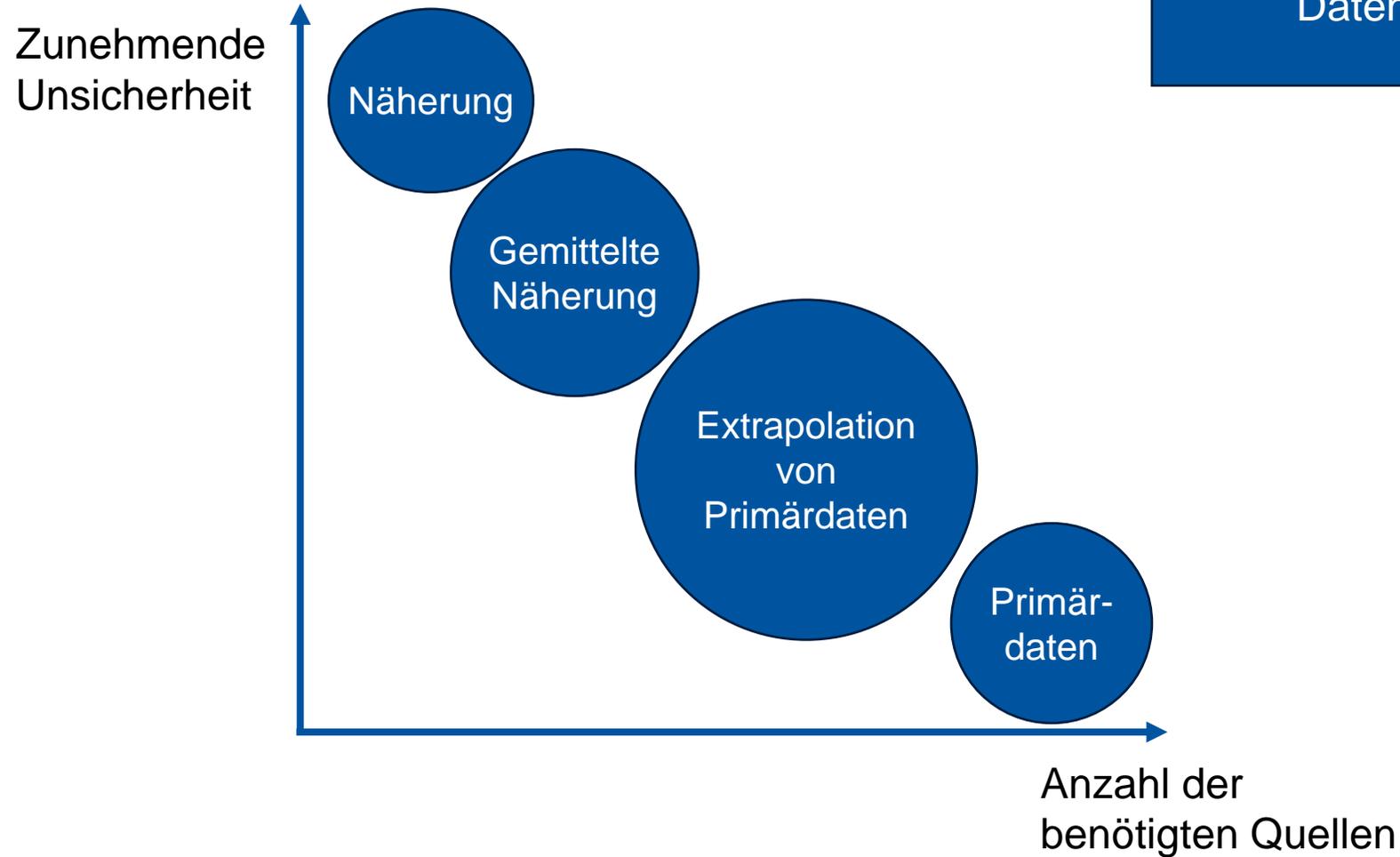
## » Indikatoren



(FirstEigen, 2024)

# Datenqualität in der LCA

» Warum ist das wichtig?



→ Welchen Einfluss hat die Datengrundlage?

# Datengrundlagen in der LCA

» Abhängig vom Bilanzrahmen



Regionen



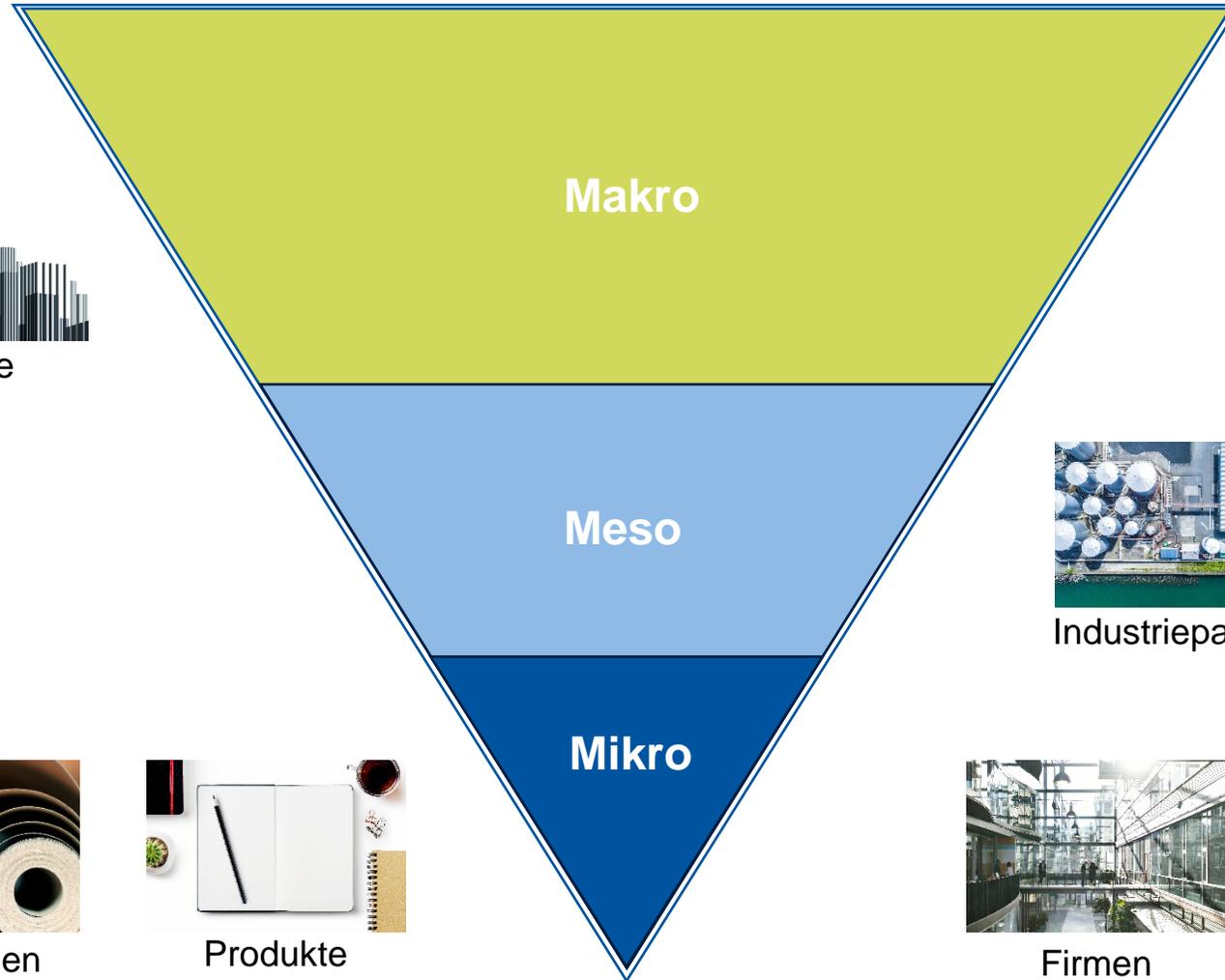
Städte



Materialien



Produkte



Welt



Kontinente



Länder



Industrieparks

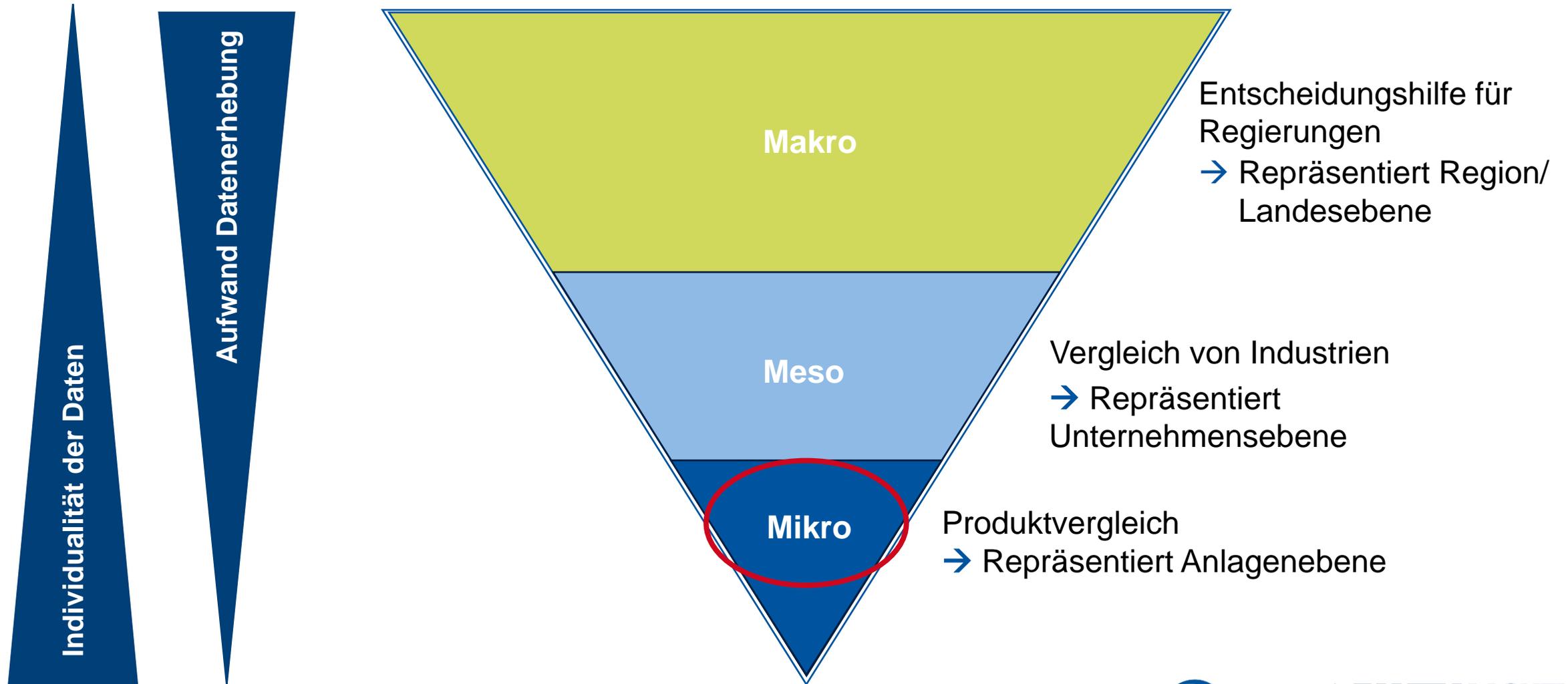


Firmen

(Muñoz et al., 2022)

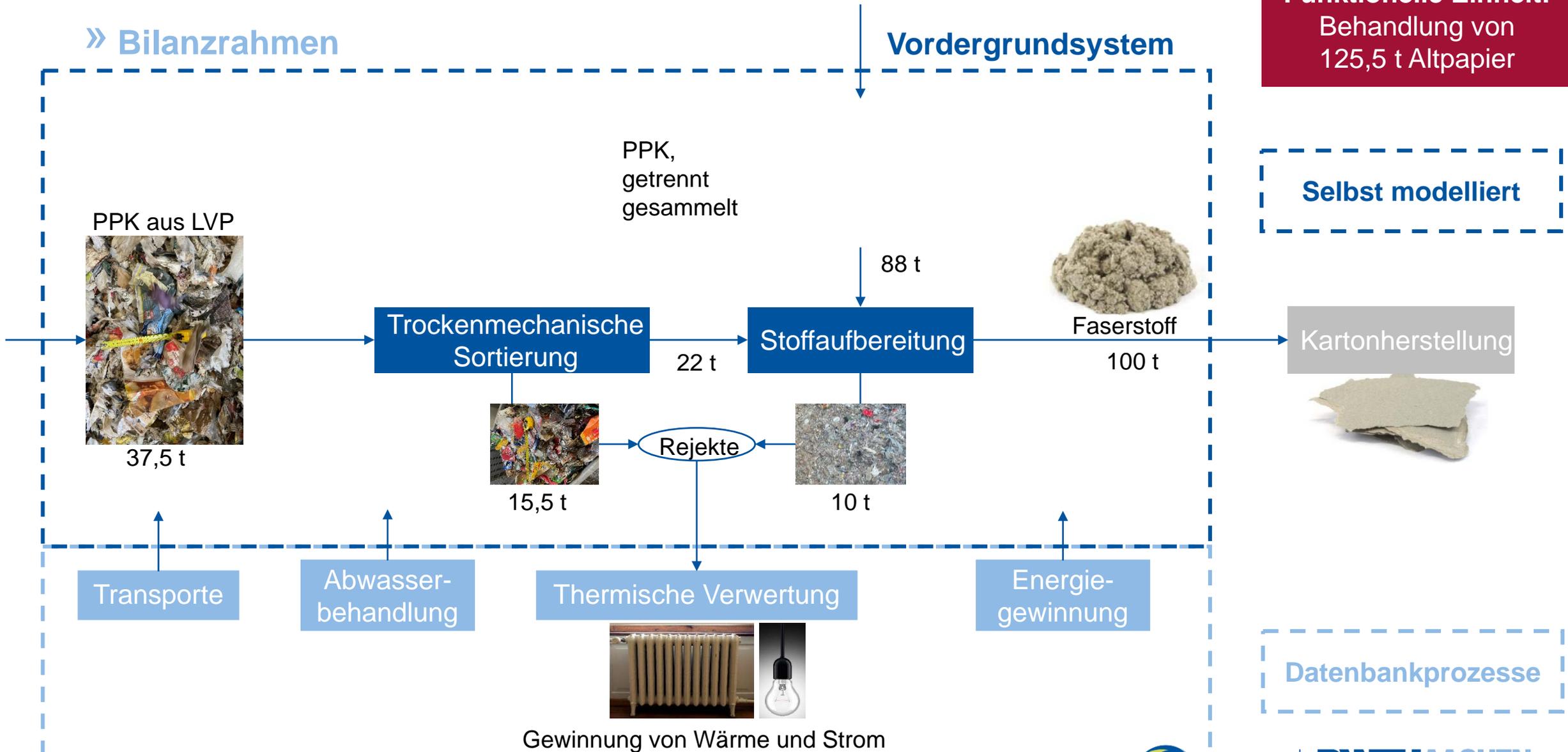
# Datengrundlagen in der LCA

» Abhängig vom Bilanzrahmen



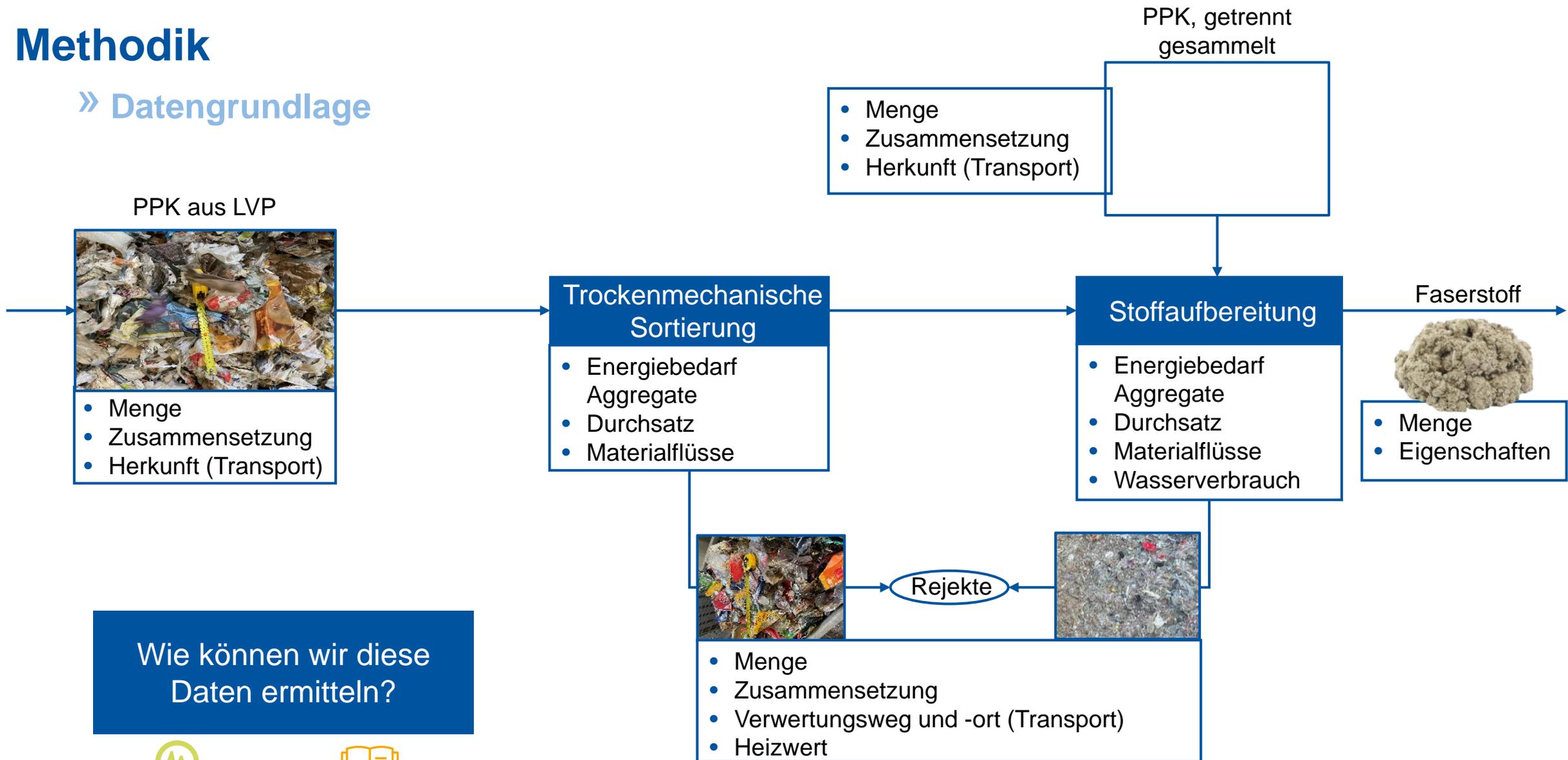
# Methodik

## » Bilanzrahmen



# Methodik

## » Datengrundlage



Wie können wir diese Daten ermitteln?



# Methodik

## » Datengrundlage – Unsicherheiten

### Primärdaten



Messfehler



Momentaufnahme



Zugang zu Anlagen



Tiefes Verständnis für die Prozesse benötigt

### Sekundärdaten



Durchschnittswerte



Veraltete Daten



Verfügbarkeit der Daten



Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Daten

→ Welchen Einfluss hat die Datenunsicherheit auf das Ergebnis der Ökobilanz?

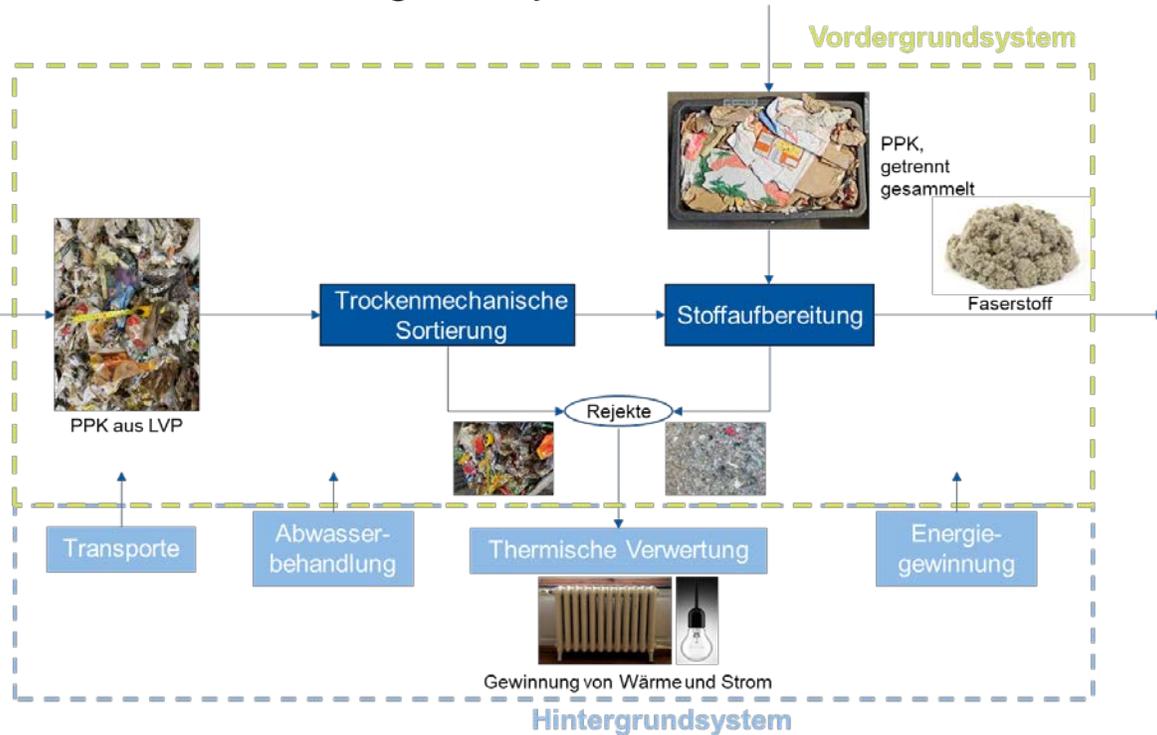
→ Wie kann der Einfluss bestimmt werden?

# Methodik

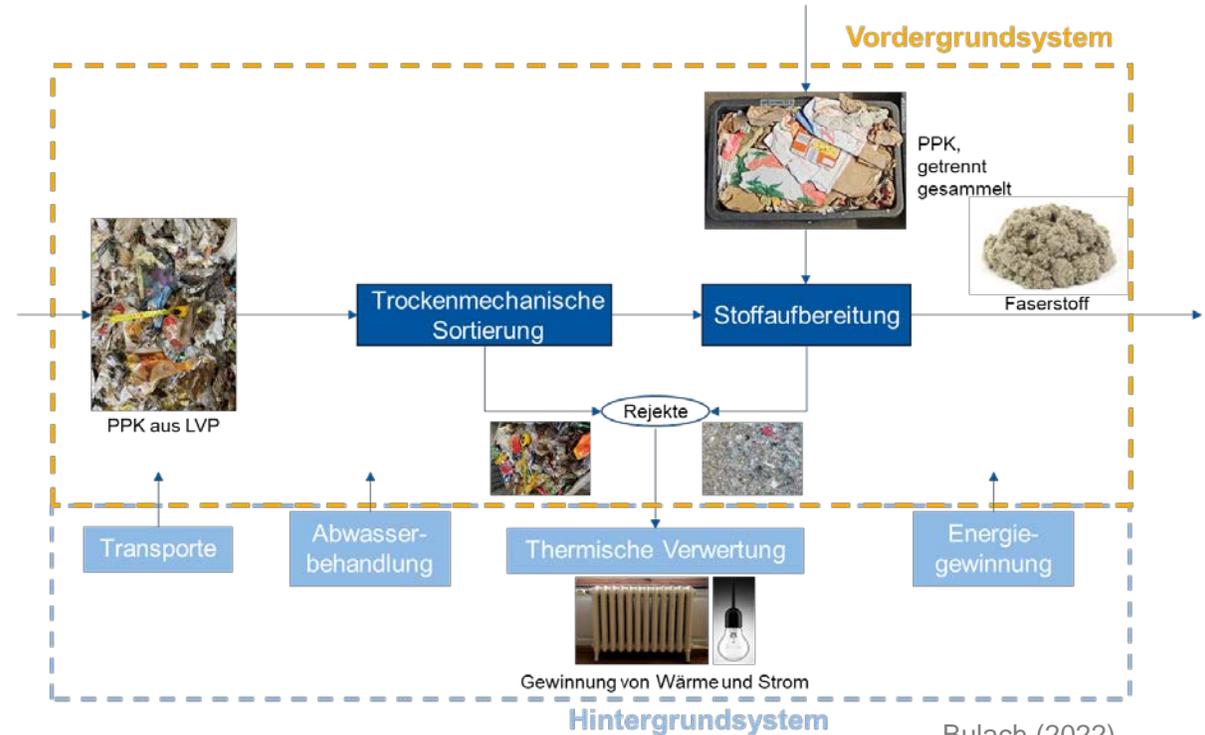
## » Ermittlung des Einflusses der Datenherkunft



### Szenario 1: Vordergrundsystem mittels Primärdaten



### Szenario 2: Vordergrundsystem mittels Literaturdaten



Bulach (2022)  
Vogt (2008)  
Suhr (2015)

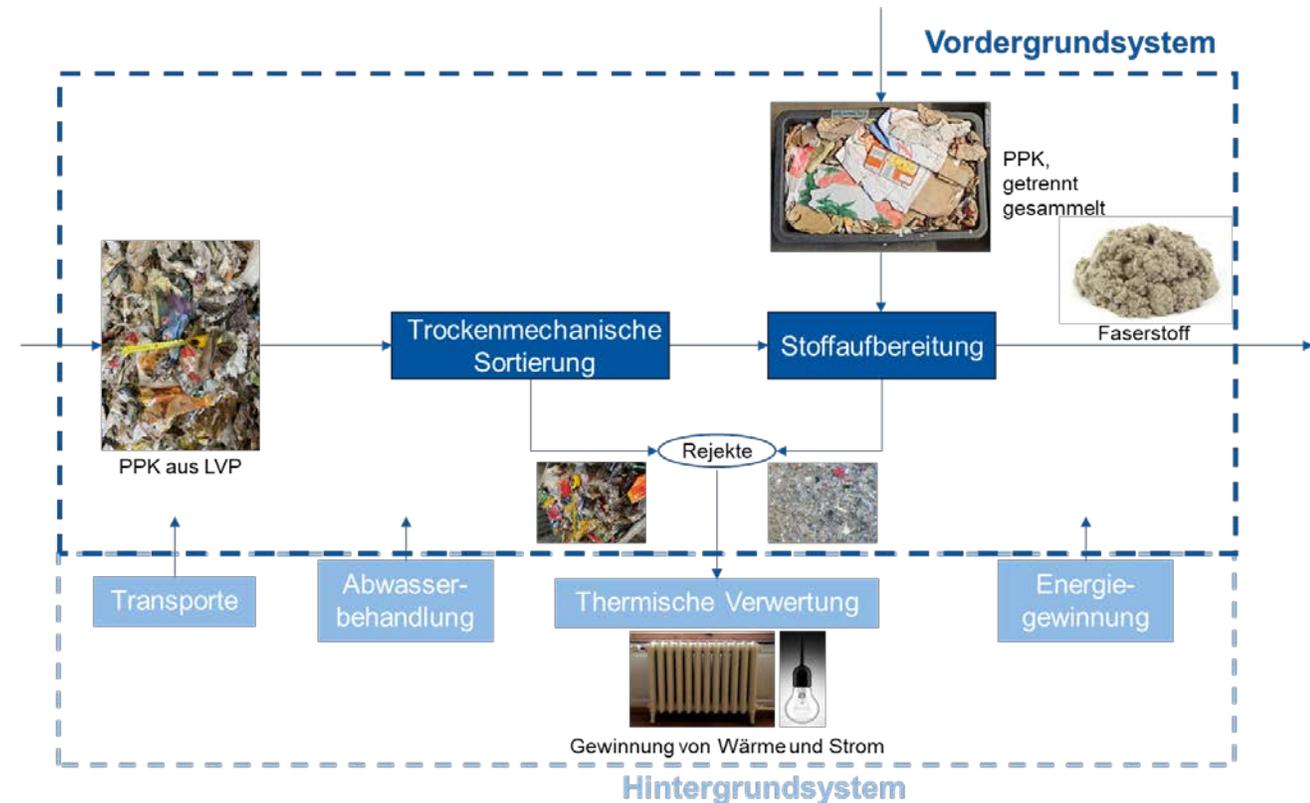
Hintergrundsystem aus Datenbank ecoinvent 3.10, cut off

# Methodik

## » Bilanzrahmen

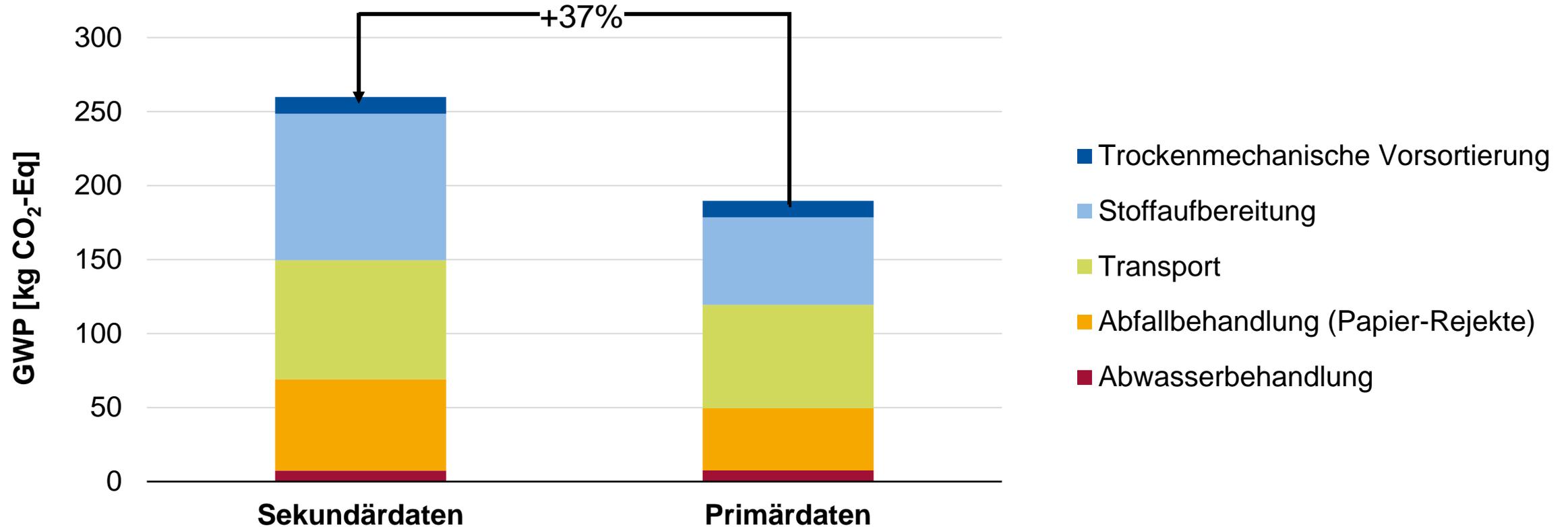
- ▶ Ökobilanz basierend auf Primär- und Sekundärdaten
- ▶ Hinterlegung der Datensicherheit im Modell
- ▶ Umweltwirkungskategorien:
  - Treibhausgaspotenzial (GWP, ReCiPe 2016 (H))
  - Kumulierter Energieaufwand (CED)
- ▶ Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse

**Funktionelle Einheit:**  
Behandlung von  
125,5 t Altpapier



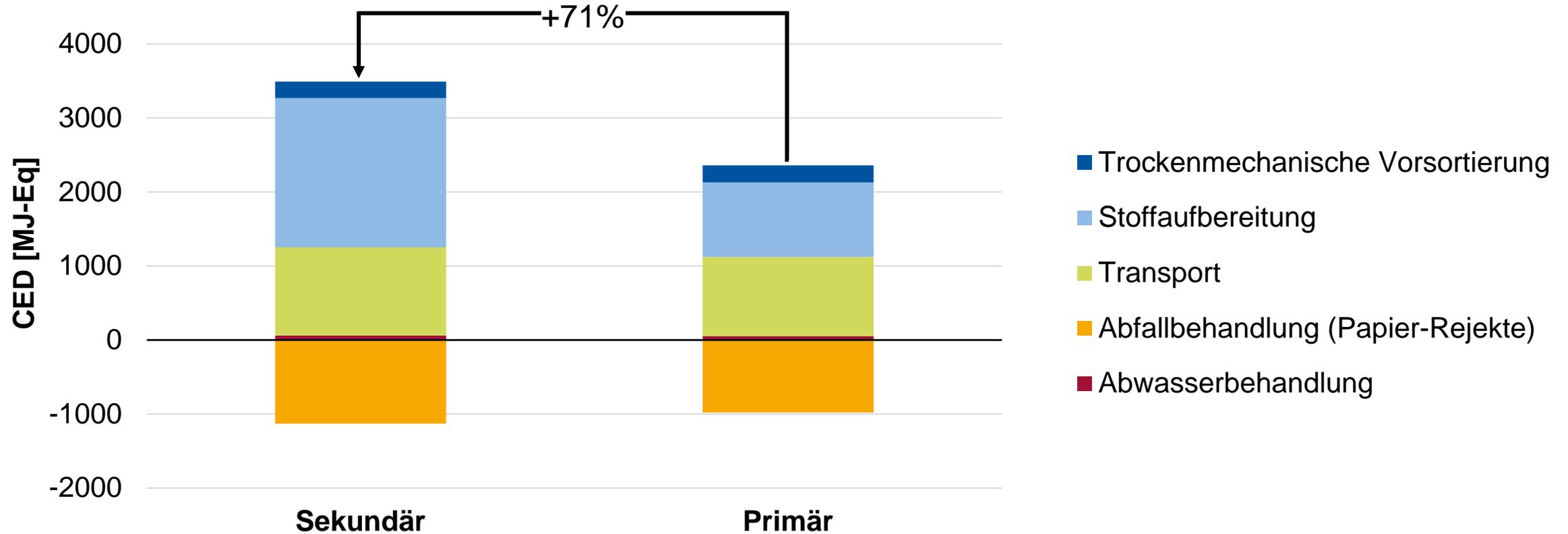
# Ergebnisse

## » Wirkungsabschätzung – Treibhausgaspotenzial (GWP)



# Ergebnisse

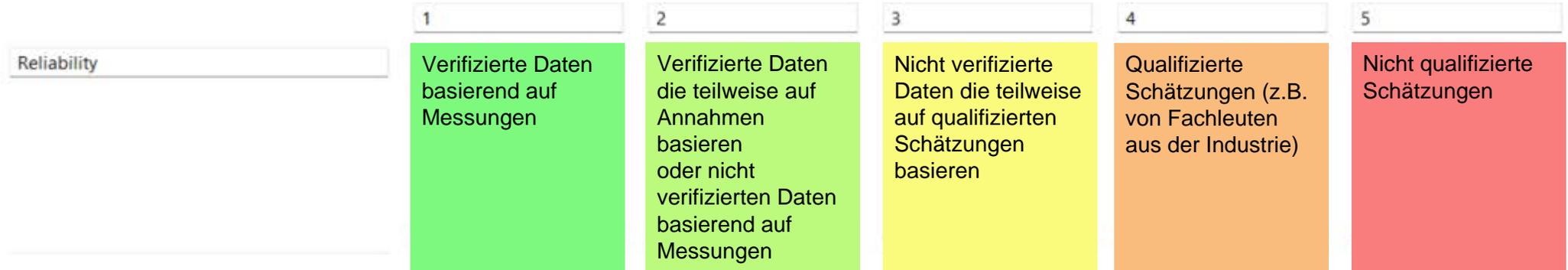
## » Wirkungsabschätzung – Kumulierter Energieaufwand (CED)



# Unsicherheitsanalyse

## » Pedigree-Matrix

### Qualitative Werte



### Quantitative Werte

	1	2	3	4	5
Sicherheit	1.0	1.0502	1.0936	1.1959	1.4918
Vollständigkeit	1.0	1.0202	1.0502	1.0936	1.1959
Zeitliche Korrelation	1.0	1.0287	1.0936	1.1959	1.4918
Geografische Korrelation	1.0	1.0101	1.0202	1.0502	1.0936
Weitere technische Korrelation	1.0	1.0502	1.1959	1.4918	1.9993

# Unsicherheitsanalyse

## » Pedigree-Matrix – Ergebnisse

	Prozess	Primärdaten					Sekundärdaten				
		R	C	T	G	F	R	C	T	G	F
<b>selbst modelliert</b>	Altpapiersortieranlage - LVP	1	1	1	1	1	3	3	1	1	2
	Stoffaufbereitung	1	1	1	1	1	2	2	3	1	2
<b>modifiziert</b>	Modifizierter Strommarkt	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2
	Modifizierter Wärmeenergiemarkt	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
<b>Datenbankprozesse mit größtem Beitrag</b>	Klimawandel (GWP)	2	2	4	1	1	2	2	4	1	1
	Behandlung von Kunststoffabfällen	1	1	4	1	1	1	1	4	1	1
	Transportmarkt, Fracht, LKW	2	2	5	1	1	2	2	5	1	1
	Abfallsammlung	2	1	5	1	1	2	1	5	1	1

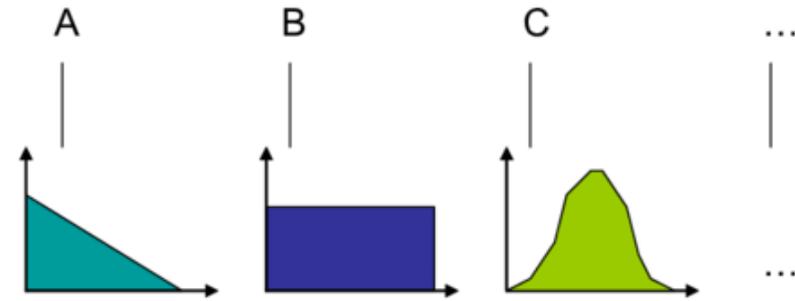
R: Sicherheit, C: Vollständigkeit, T: zeitliche Korrelation, G: geografische Korrelation, F: weitere Korrelation

# Unsicherheitsanalyse

## » Monte Carlo

*Inputdaten &  
Parameter*

*Angenommene  
Verteilung*



(Henderson & Bui, 2005)

# Unsicherheitsanalyse

## » Monte Carlo

ca. 5.000 Iterationen auf Grundlage der bekannten Datenunsicherheit

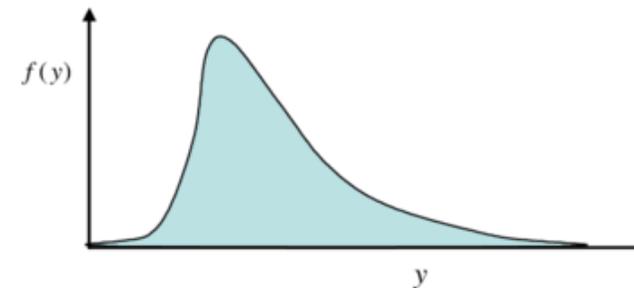
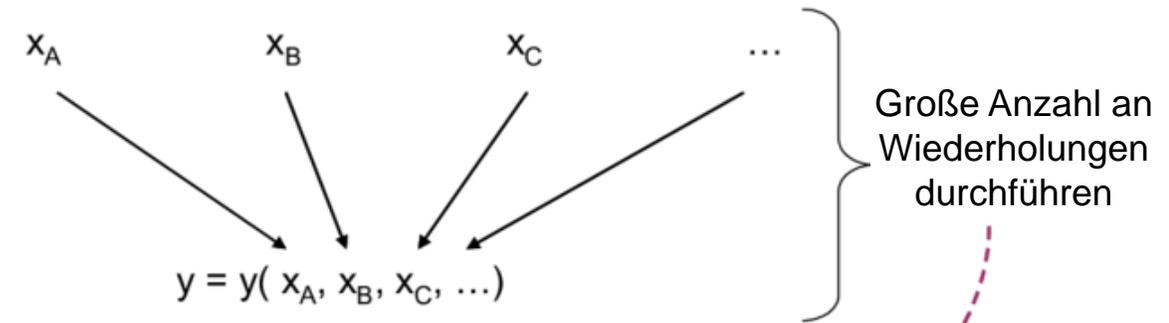
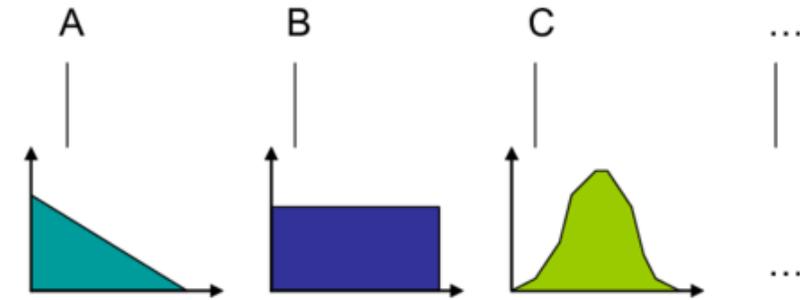
*Inputdaten & Parameter*

*Angenommene Verteilung*

*Zufällige Stichprobe annehmen*

*Modelloutput erhalten*

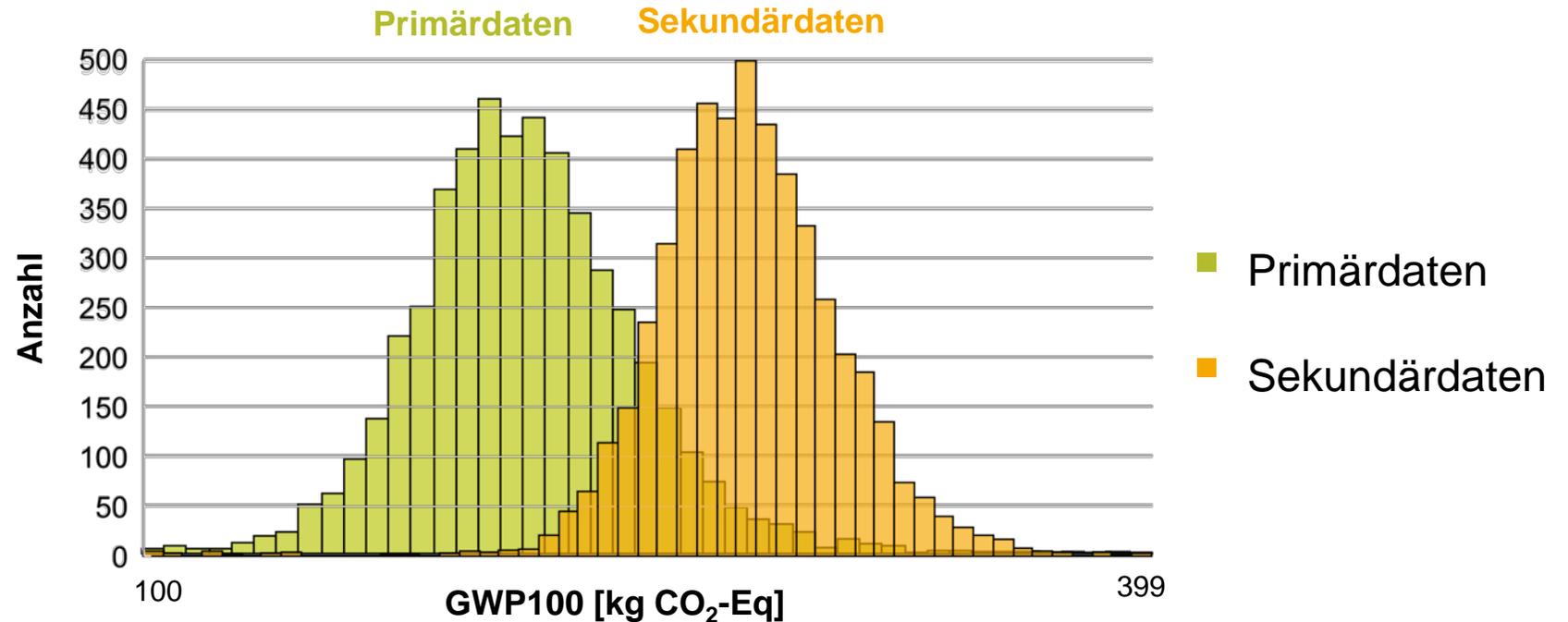
*Prozess sehr häufig wiederholen, um eine Outputverteilung zu erhalten*



(Henderson & Bui, 2005)

# Unsicherheitsanalyse

## » Monte Carlo – Ergebnisse

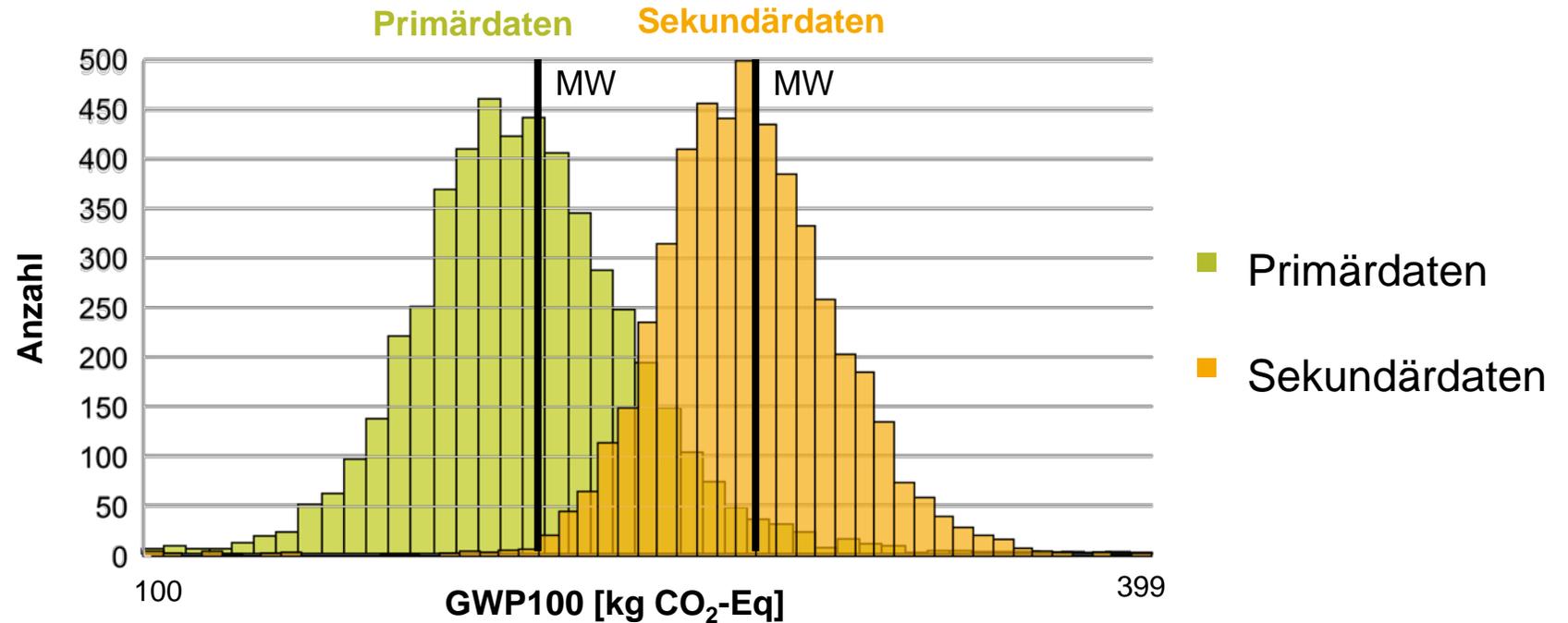


$n_{\text{iterations}}$ :	5.000
Mittelwert:	190 kg CO <sub>2</sub> -Eq
Standardabweichung:	31,4 kg CO <sub>2</sub> -Eq
5% Perzentil:	142 kg CO <sub>2</sub> -Eq
95% Perzentil:	241 kg CO <sub>2</sub> -Eq

$n_{\text{iterations}}$ :	5.000
Mittelwert:	280 kg CO <sub>2</sub> -Eq
Standardabweichung:	25,9 kg CO <sub>2</sub> -Eq
5% Perzentil:	241 kg CO <sub>2</sub> -Eq
95% Perzentil :	325 kg CO <sub>2</sub> -Eq

# Unsicherheitsanalyse

## » Monte Carlo – Ergebnisse

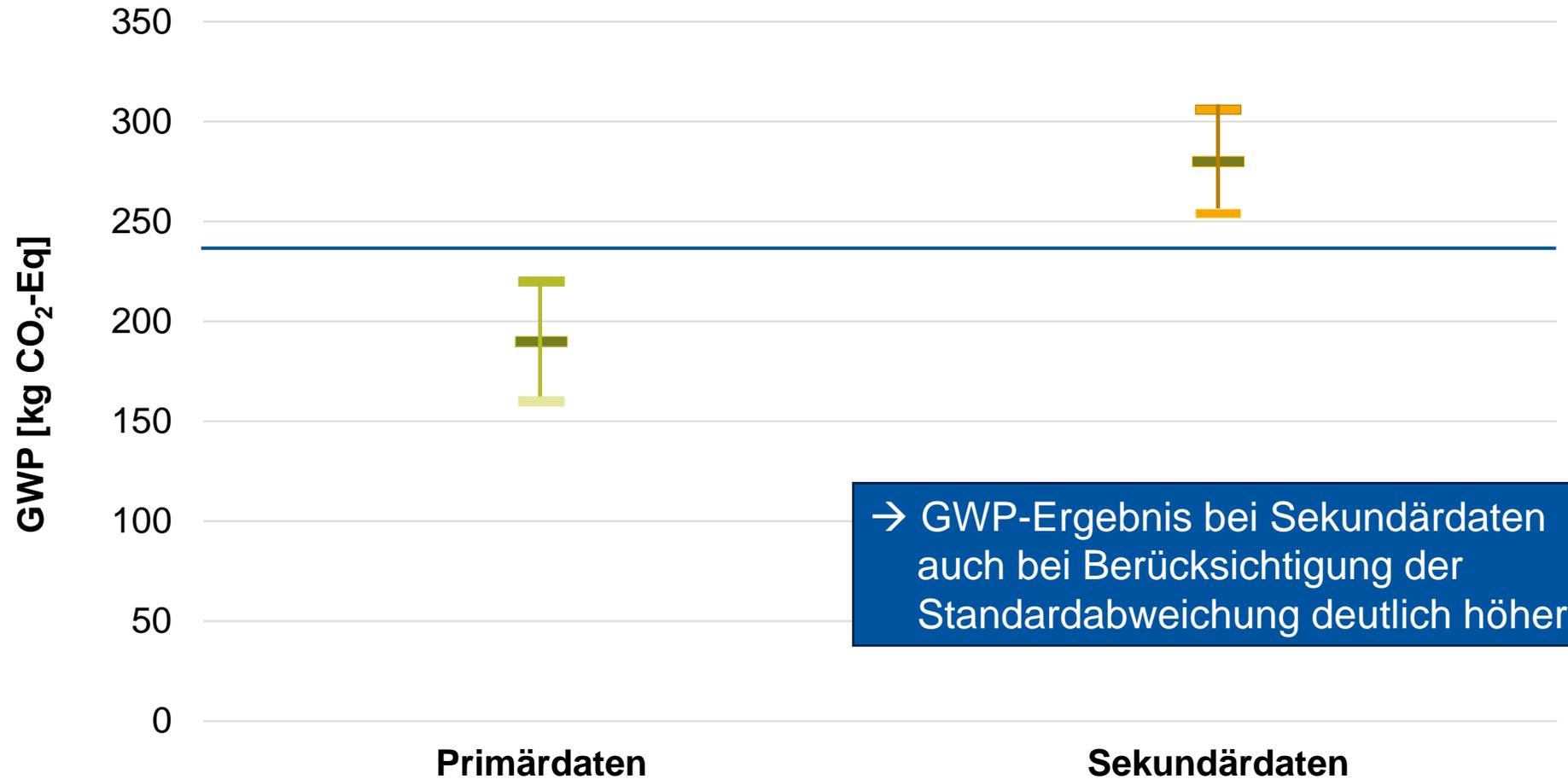


GWP nach Modell: 190 kg  
GWP nach Iteration: 190 kg

GWP nach Modell: 260 kg  
GWP nach Iteration: 280 kg

# Unsicherheitsanalyse

## » Bedeutung der Ergebnisse



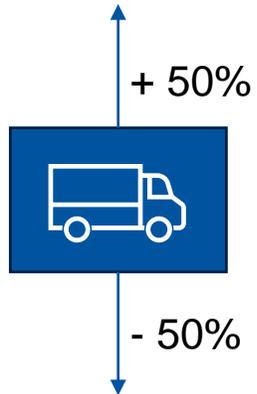
→ GWP-Ergebnis bei Sekundärdaten auch bei Berücksichtigung der Standardabweichung deutlich höher

# Sensitivitätsanalyse

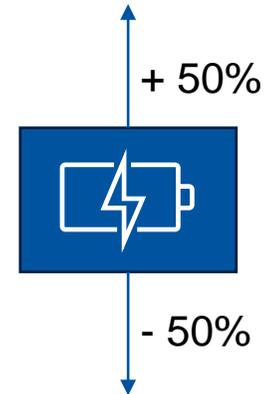
## » Vorgehen

- ▶ Einsatz, wenn Datensicherheit unbekannt
- ▶ Ermittlung, welchen Einfluss eine unsichere Größe auf das Gesamtergebnis hat
- ▶ Gezielte Variation der Inputdaten

Transportdistanz

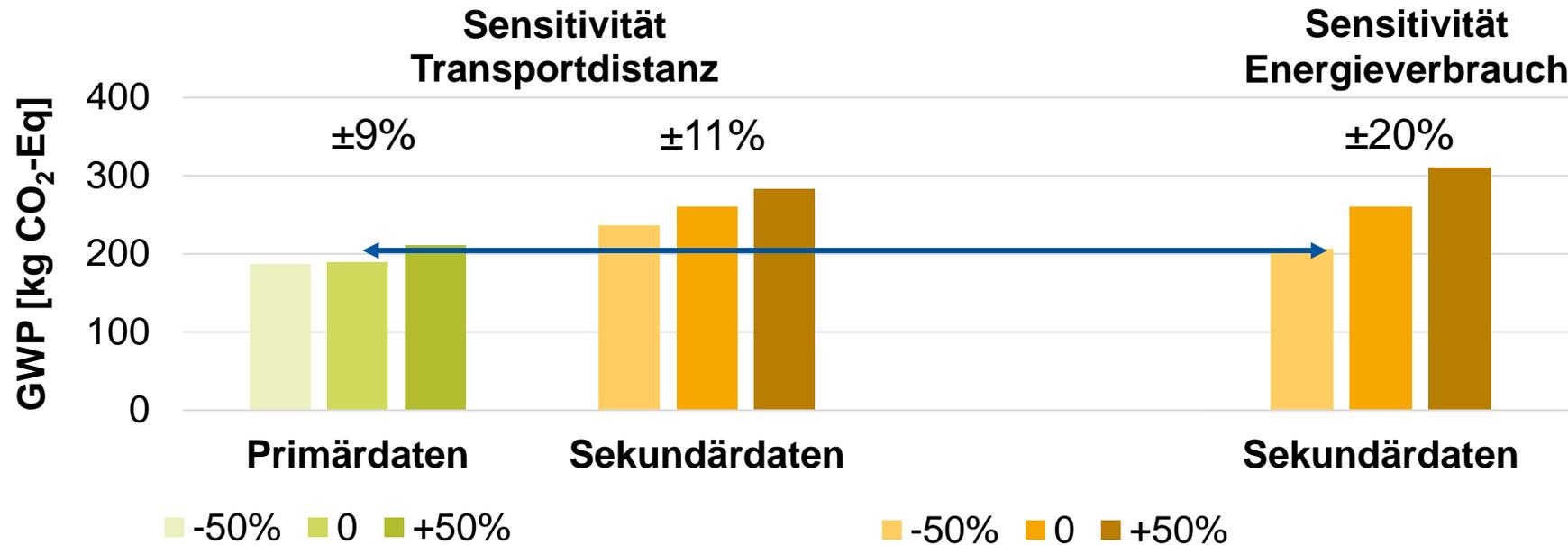


Energieverbrauch (nur Sekundärdaten)



# Sensitivitätsanalyse

## » Ergebnisse



# Zusammenfassung

## » Kernergebnisse



Modell basierend auf Sekundärdaten weist **deutlich höhere Umweltwirkungen** auf als bei Primärdaten



Vor allem **Energieverbräuche** beeinflussen Ergebnisse, große Schwankungsbreiten in Literatur



Datenunsicherheit in Datenbank hauptsächlich auf **veraltete Datengrundlage** zurückzuführen



**Standardabweichungen** für Primär- und Sekundärdaten **vergleichbar**

Bei **Sekundärdaten** Abweichung zwischen Ergebnissen Modell und Monte Carlo Simulation



Primärdaten beschreiben Prozesse in der Anlage **akkurat**

Zur Bewertung der Datenqualität ist jedoch der **Bilanzrahmen und die Ebene** entscheidend

# Ausblick

## » Forschungsbedarf

### ► Bilanzrahmen und Ebene entscheidend

- Für **Makro-Systeme** können Durchschnittswerte verschiedener Anlagen passender sein, aber oft veraltet
- Erhebung von Primärdaten für verschiedene Anlagen **vorteilhaft, aber aufwendig**

### ► Katalog für Datenanforderungen entwickeln

- Welchen **Einfluss** haben Sekundärdaten auf Produktvergleiche?
- Bewertung **neuentwickelter Prozesse**
- Best Practice Datenerhebung
- **Break Even** Aufwand Datenerhebung – Genauigkeit Modellergebnisse

### ► Weiterer Forschungsbedarf

- Untersuchung der Datenunsicherheit durch **globale Sensitivitätsanalyse**
- Analysen auf **Meso- und Makro-Ebene** wiederholen



**Hannah Köhler, M. Sc.**

Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe (ANTS)

RWTH Aachen University

Wüllnerstr. 2, D-52062 Aachen

Tel.: +49 241 80-92331

Mail: [hannah.koehler@ants.rwth-aachen.de](mailto:hannah.koehler@ants.rwth-aachen.de)

Web: [www.ants.rwth-aachen.de](http://www.ants.rwth-aachen.de)



**Research Gate**



**LinkedIn**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das dieser Präsentation zugrundeliegende Forschungsprojekt EnEWA wird finanziell mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EN2073B gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Präsentation liegt bei den Autoren.