

# Lebenszyklusanalyse von Niedertemperaturfernwärme- Systemen

# LowTEMP-Trainingspaket – Gliederung

## Einführung

Einführung in Klimaschutzstrategie(n) & -ziele

Einführung in Energieversorgungssysteme und Niedertemperaturfernwärme (NTFW)

Energieversorgungssysteme im Ostseeraum

## Energiestrategien und Pilotprojekte

Methodik zur Entwicklung von Pilot-Energie-Strategien

Pilot-Energiestrategien – Ziele und Rahmenbedingungen

Pilot-Energiestrategien – Beispiele

Pilot- bzw. Demonstrationsprojekte

Berechnung von THG-Emissionen

Lebenszyklusanalyse von NTFW

## Finanzielle Aspekte

Lebenszykluskosten von NT FW-Projekten

Wirtschaftlichkeit und unrentierliche Kosten

Vertrags- und Zahlungsmodelle

Geschäftsmodelle und innovative Förderstrukturen

## Technische Aspekte

Rohrleitungssysteme

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Großmaßstäbliche Solarthermie

Ab- & Überschusswärme

Großmaßstäbliche Wärmepumpensysteme

Power-2-Heat und Power-2-X

Thermische, solare Eis- und PCM-Speichertechniken

Wärmepumpen-Systeme

Niedrigtemperatur und Fußbodenheizung

Trinkwarmwasserproduktion

Lüftungssysteme

## Aus der Praxis

Innovative Praxisbeispiele

## Begriffe:

Lebenszyklusanalyse auch Ökobilanzierung oder Umweltbilanz stehen im Deutschen synonym für den gleichen Prozess der Untersuchung von Auswirkungen von Produktionsprozessen auf die Umwelt

Sie werden in diesem Dokument synonym verwendet.

1. Konzept der Lebenszyklusbetrachtung
2. Lebenszyklusbetrachtung / Ökobilanz: Was ist das und warum tun wir das?
3. Ökobilanz nach ISO14040-44
4. Niedertemperatur-Fernwärme-Systeme und deren Ökobilanz
5. Fallbeispiel

# 1. Konzept der Lebenszyklusbetrachtung

# Konzept der Lebenszyklusbetrachtung: Bedeutung

## Denkweise

- Übliche Denkweise der Industrie (linearer nicht geschlossener Kreislauf der Ressourcen)
- Im Gegensatz zum Konzept des Lebenszyklus (als geschlossenen Kreislauf der Ressourcen)

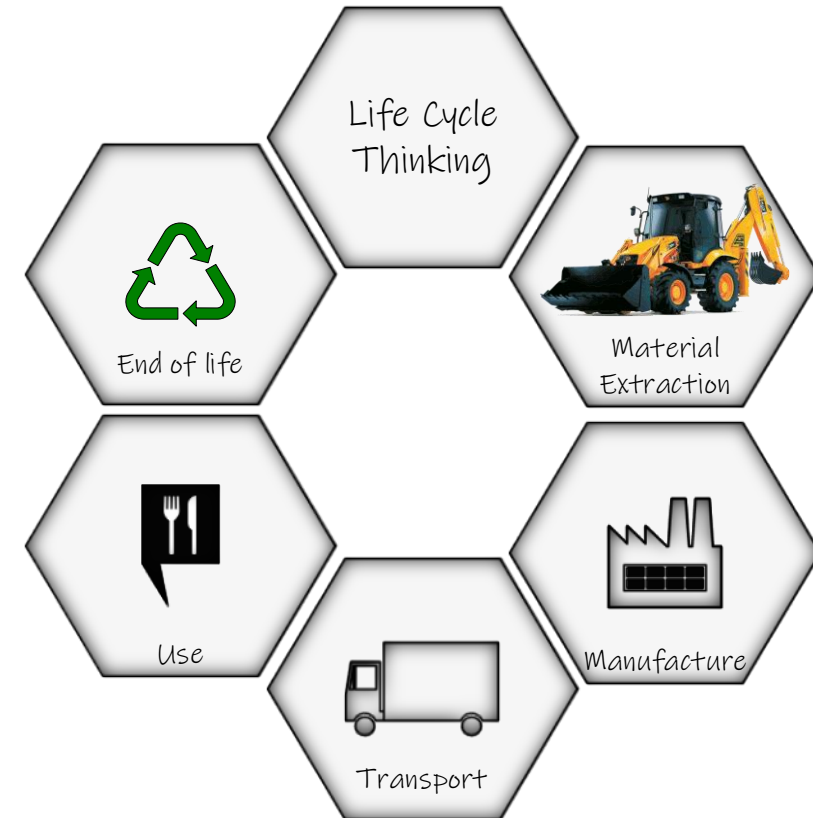


Abb. 1: Generelles Ablaufschema Lebenszyklus Produkt, Technischen Universität Riga, Institut für Energiesysteme und Umwelt

# Vorteile der Betrachtung des gesamten Lebenszykluses

- Hilft politischen Entscheidungsträgern bei der Entscheidungsfindung
- Verteilung der Last auf verschiedene Akteure
- Identifizierung sauberer Produktionsprozesse
- Leitet Verbraucher zu nachhaltigen Entwicklungen

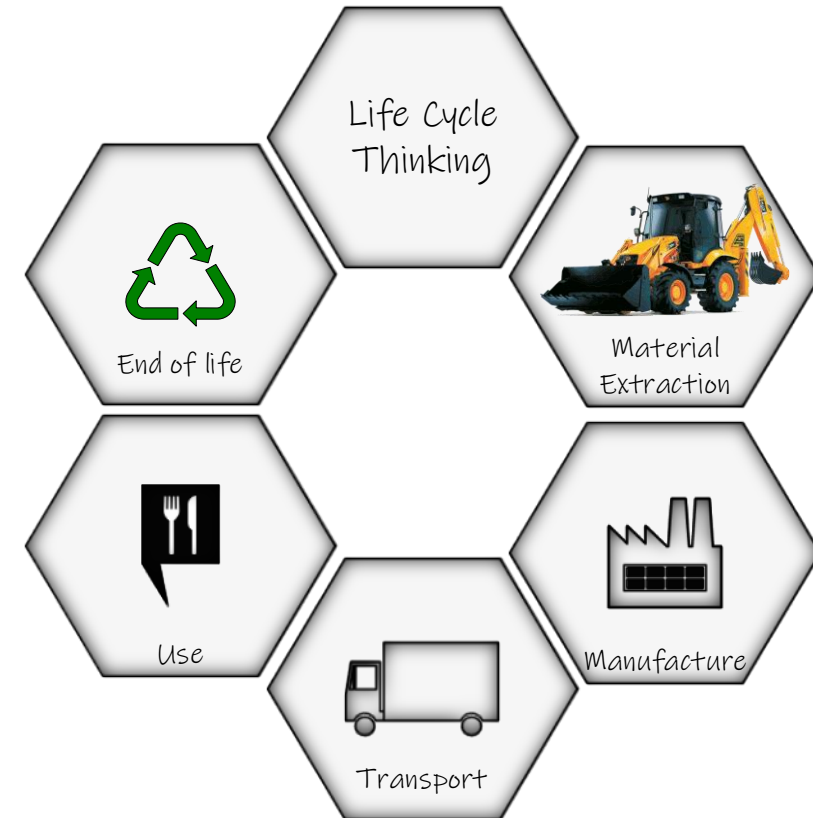


Abb. 1: Generelles Ablaufschema Lebenszyklus Produkt, Technischen Universität Riga, Institut für Energiesysteme und Umwelt

## 2. Lebenszyklusbetrachtung / Ökobilanz: Was ist das und warum tun wir das?



# Lebenszyklusbetrachtung / Ökobilanz

- Wissenschaftlicher Ansatz: basiert auf messbaren und berechenbaren Attributen
- Wirkungsorientiert: Was ist das Ergebnis für die Umwelt?
- Entlang des Lebenszyklus: Ein "cradle-to-grave"... oder "cradle-to-cradle" Ansatz\*<sub>1</sub>

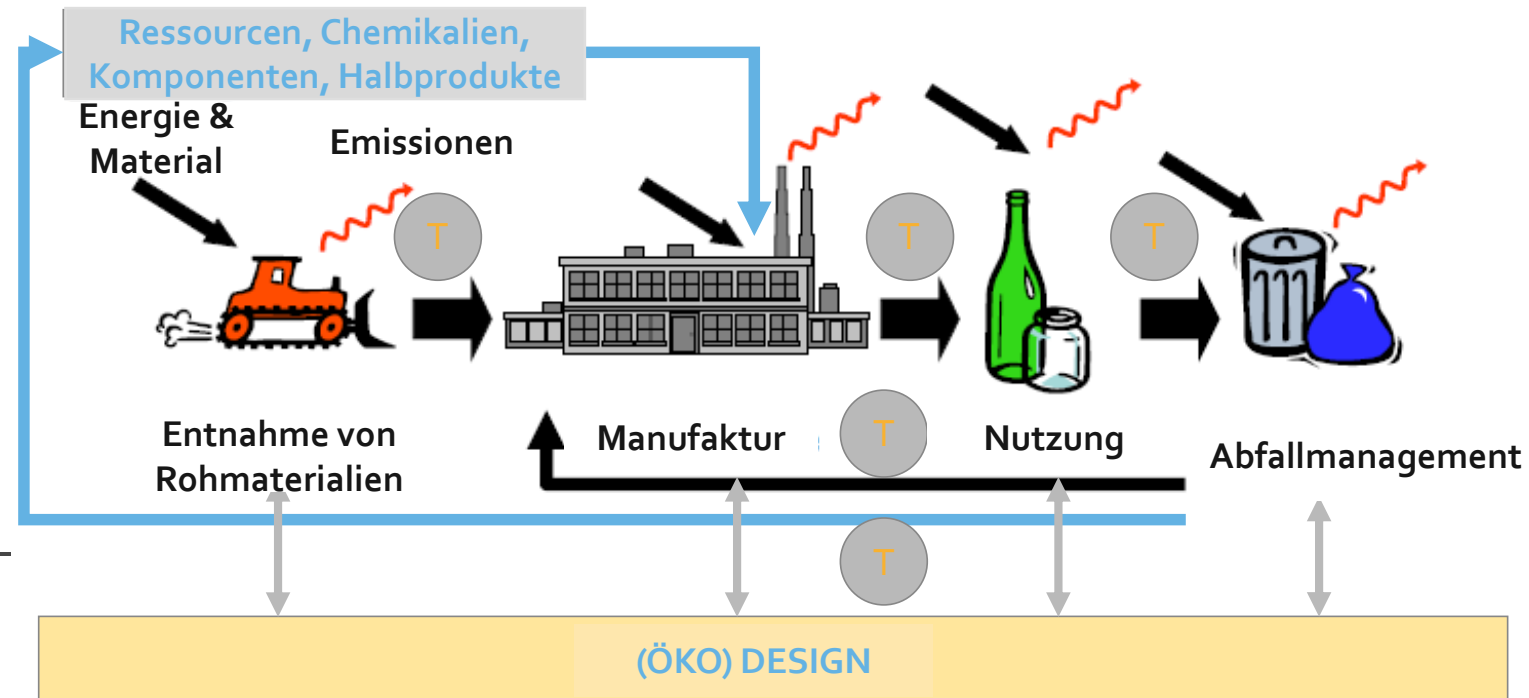


Abb. 2: Cradle-to-Grave Prozess, Quelle: Kurs für Ökodesign und Lebenszyklusanalyse - Technische Universität Riga, Institut für Energiesysteme und Umwelt

\*<sub>1</sub> "cradle-to-grave" – von der Wiege zur Bahre; "cradle-to-cradle" – von der Wiege zur Wiege

# Ökobilanz: Zielsetzung

- Definition des Zu- und Abflusses von Materialien und Energien für die Produktion eines Produktes
- Weitere Identifikation von umweltkritischen Punkten hinsichtlich ihrer Auswirkung: sog. «Hotspots»

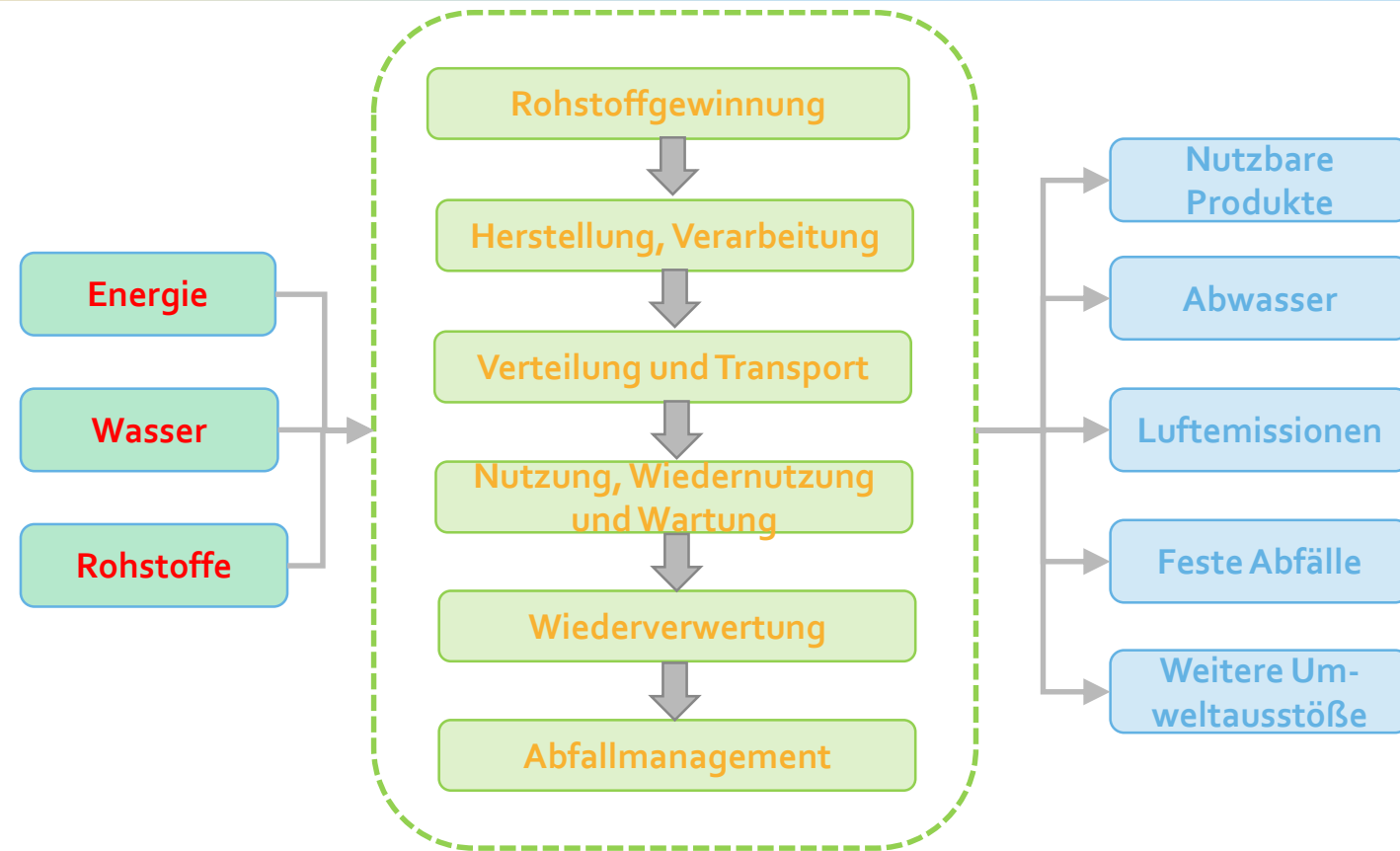


Abb. 3: Inputs und Outputs von Material und Energie in einen Produktionsprozess, eigene Quelle auf Basis von [0]

# Warum Ökobilanz?

- Werkzeug mit dem unterschiedlich Prozesse zur Beurteilung der Nachhaltigkeit sowie der Umweltverträglichkeit vergleichbar gemacht werden können
- Ganzheitlicher Ansatz zur Vermeidung der Verlagerungseffekten
- Ermöglicht die Berücksichtigung von Kompensationsmaßnahmen
- Fördert situationsbasierte Entscheidungen
- Ist eine Ranking-Methode

# 3. Ökobilanzierung nach ISO14040-44

# Methodik der Lebenszyklusanalyse / der Ökobilanzierung

## ISO 14044:2006

### Schritte der Lebenszyklus- analyse

Ziel und Umfang

Inventaranalyse

Beurteilung der  
Auswirkungen

Interpretation

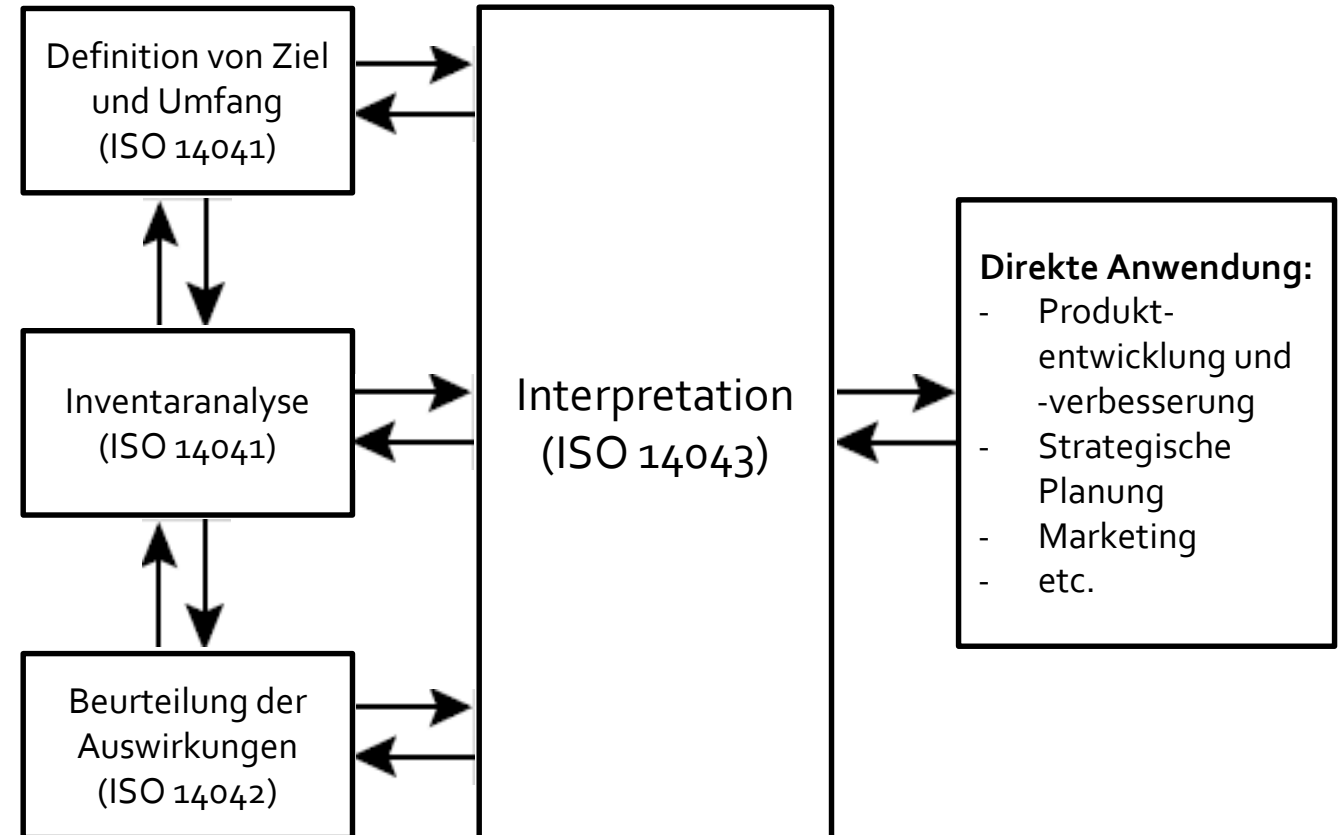


Abb. 4: EN ISO Standards 14044-2006 , eigene Darstellung auf Basis [4]

# Ziel und Umfang

## Ziel:

- Gründe für die Ausführung
- Gewünschte Anwendung/Entscheidung zur Unterstützung
- Zielgruppe
- Beurteilung, ob Ergebnisse in vergleichenden Annahmen öffentlich bekanntgegeben werden

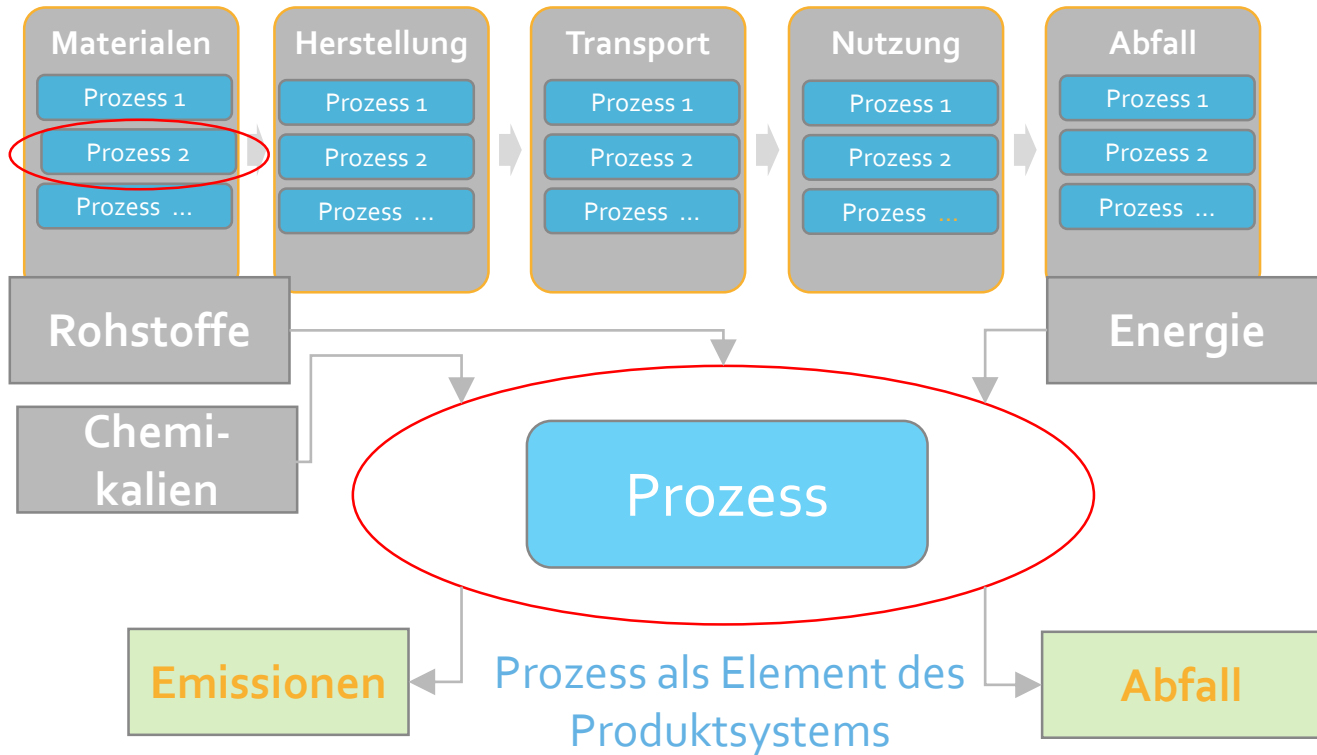
## Umfang:

- Definition von: untersuchtem Produkt, der funktionalen Einheit, Bilanzierungsgrenzen, Auswirkungen und Beurteilungskriterien, Anforderungen an Daten und Zuweisungsprozeduren.
- Für Fernwärmesysteme sollte der Umfang, die umweltbezogene Leistung in vordefinierten Grenzen inkl. der Energiequelle, des verwendeten Netzes sowie der endgültigen Nachfrage bewertet werden.

**Funktionale Einheit (FE):**

- gibt Referenz zum Bezug von Input und Output, um Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Öko-bilanzen auf einheitlicher Basis sicherzustellen
- ist die quantifizierte Leistung eines Systems

# Sachbilanz



Identifikation und Quantifizierung von Energie-, Wasser-, und Materialausstoß (z.B. Emissionen in die Luft, Abfallentsorgung, Abwasserableitung)

Quelle: Bilder aus MS Powerpoint database image's stock [3].



1. Flussdiagramm und Sammlung von Daten

2. Modell für Produktsystem

3. Bewerten und berichten der Ergebnisse

# Folgenabschätzung

Modellierung der Auswirkungen der Ergebnisse auf Schutzbereiche durch zahlreiche Möglichkeiten der Umwelteinwirkungen

- Bewertung der Relevanz potenzieller Umwelteinwirkungen durch Nutzung der Ergebnisse der Folgenabschätzung
- Daten und Emissionsberechnungen werden nach bestimmten Kategorien der Umwelteinwirkungen sortiert
- Mittels verschiedener Indikatoren je Kategorie werden die Umwelteinwirkungen quantifiziert

**Gesundheit für Menschen**  
**Umwelt**  
**Natürliche Ressourcen**



# Folgenabschätzung

## Verpflichtende Elemente

Auswahl der Kategorien, Indikatoren und eines charakterisierenden Modells



**Klassifikation:** Zuordnung der Ergebnisse der Lebenszyklus-Inventur



**Charakterisierung:** Berechnung der Ergebnisse der Indikatorenkategorien



**Ergebnisse:** Indikatoren, Folgenabschätzung



## Optionale Elemente

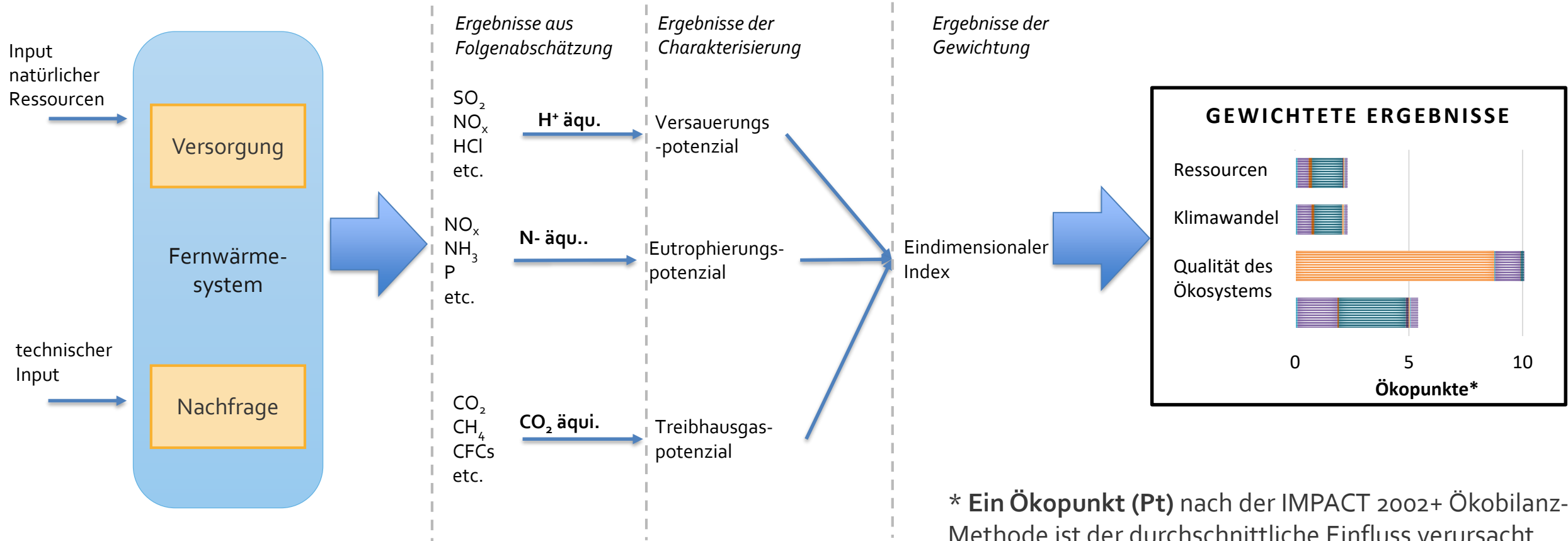
**Normalisierung:** Berechnung der Kategorieindikatoren zur Referenzierung der Informationen

Gruppierung  
Gewichtung

Ergebnisse	Klimawandel	Versauerung	Feinstaub
1000 g CO <sub>2</sub>	x 1 = 1000		
10 g SO <sub>2</sub>		x 1.31 = 13.1	x 0.061 = 0.61
5 g N <sub>2</sub> O	x 298 = 1490	x 0.74 = 3.7	x 0.0072 = 0.036
4 g PM <sub>2.5</sub>			x 1 = 4
<b>Charakterisierte Ergebnisse</b>	<b>2.49 kg CO<sub>2</sub>-eq.</b>	<b>0.0168 mol H<sup>+</sup>-eq.</b>	<b>0.0046 kg PM<sub>2.5</sub>-eq.</b>
<b>normalisierte Ergebnisse</b>	<b>0.000366 person*year</b>	<b>0.00034 person*year</b>	<b>0.00169 person*year</b>
<b>Gewichtungsfaktor</b>	<b>x 23</b>	<b>x 4.2</b>	<b>x 6.6</b>
<b>Gewichtete Ergebnisse</b>			<b>0.021 pt</b>

Abb. 6: Normalisierte Ergebnisse einer Lebenszyklusanalyse, Quelle: RTU [5]

Abb. 5: Umweltmanagement – Lebenszyklusanalyse – Prinzip und Rahmen nach: EN ISO 14040-2006 [4]

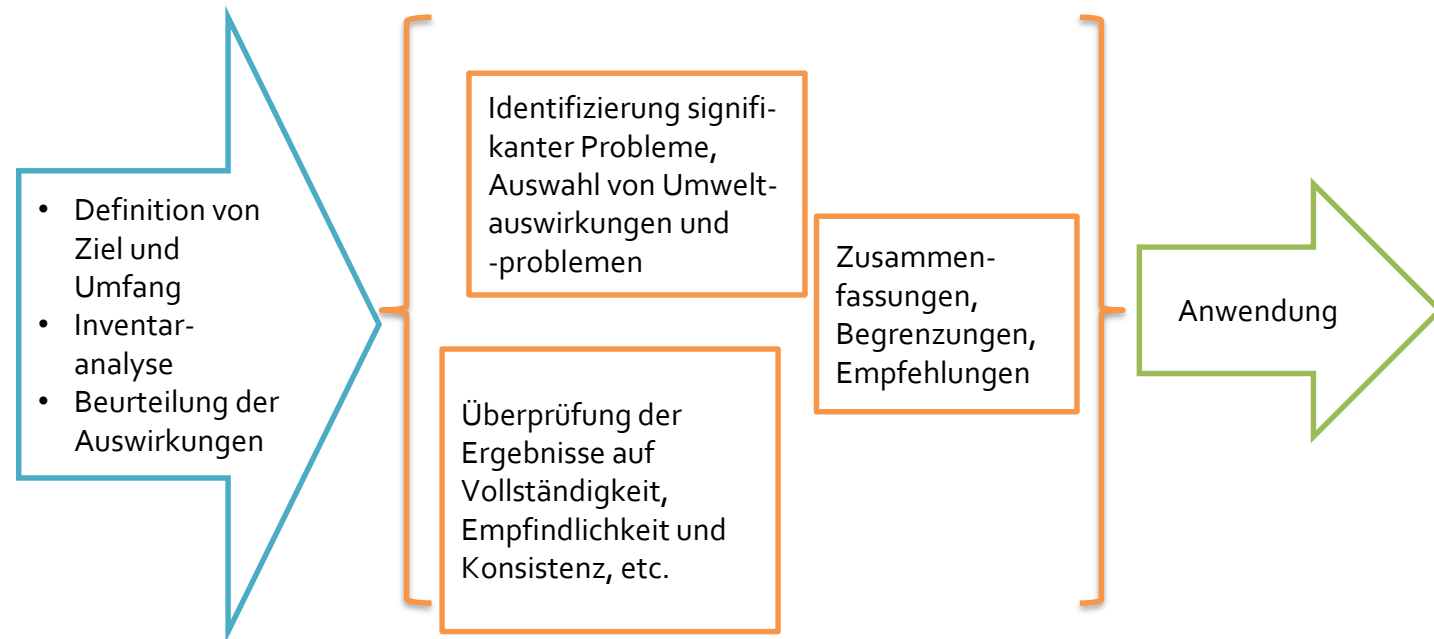


\* Ein Ökopunkt (Pt) nach der IMPACT 2002+ Ökobilanz-Methode ist der durchschnittliche Einfluss verursacht durch oder wirkend auf eine Person in einer Kategorie während eines Jahres in Europa.

Abb. 7: Einzelpunktzahl in der Lebenszyklus-Folgenabschätzung, Quelle: [5] auf Grundlage von [6]


# Interpretation des Lebenszyklus

Berücksichtigung verschiedener Bestandteile:  
 ergebnisbasiertes Identifizieren signifikanter Probleme,  
 Bewertung von Empfindlichkeits- und Konsistenzprüfungen,  
 Diskussion und Zusammenfassung, Beschränkungen und  
 Empfehlungen



# 4. NT FW und deren Lebenszyklusanalyse / Ökobilanz

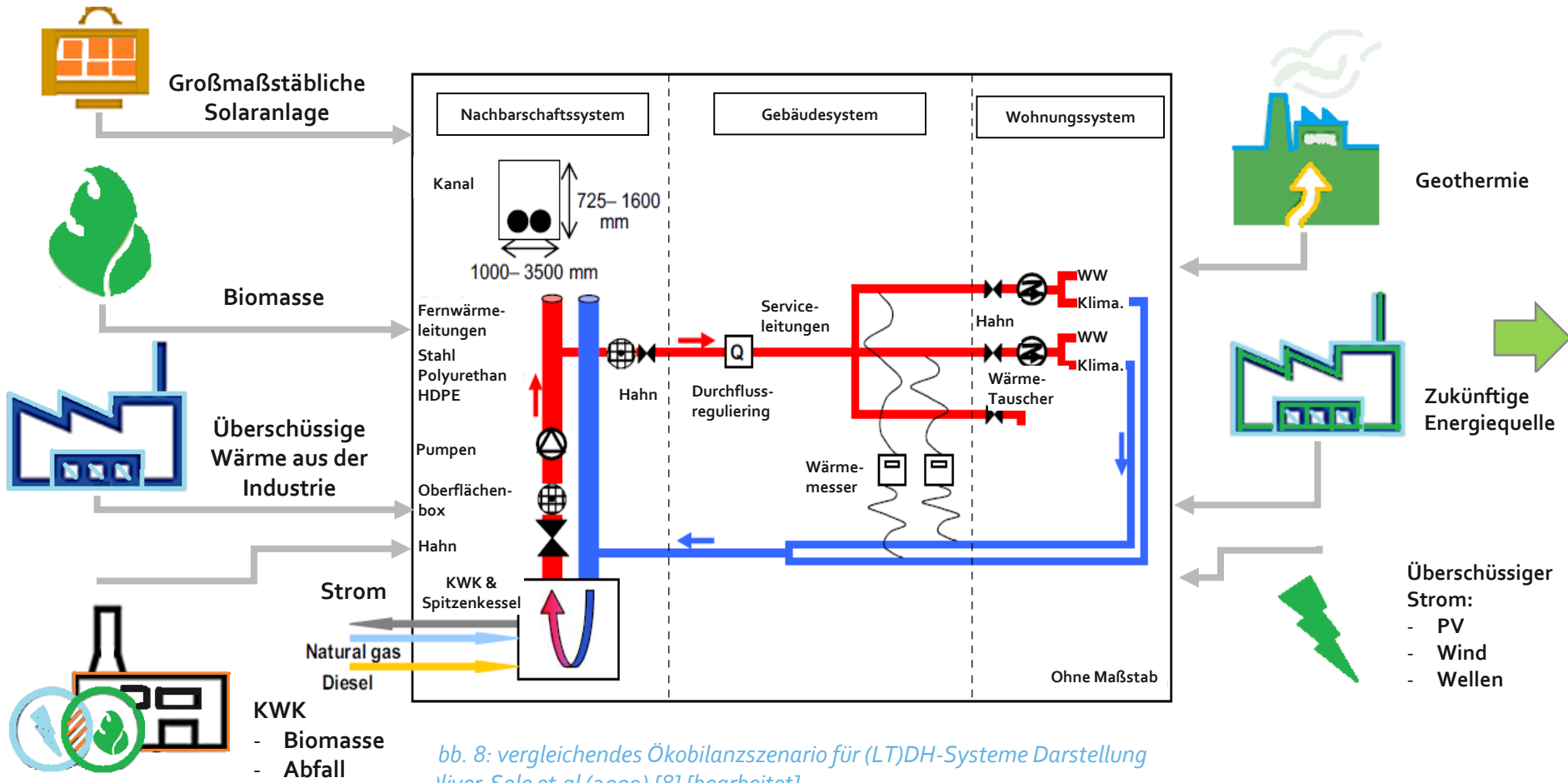
# Vorteile der Ökobilanzierung bei Fernwärmesystemen

- **Definition eines Datensatzes aller Fernwärme-undersysteme** als zukünftiger Maßstab / Benchmark
  - Klarstellung, **welche konkreten Untersysteme** und Teile eines Fernwärmesystems **die Umwelleistung der Infrastruktur beeinflussen**
  - **Bereitstellung von Alternativen basierend auf**
  - **Öko-Designperspektiven**, welche in **kommunale Energiestrategien** implementiert werden können
  - **Vergleich mit herkömmlichen Fernwärmesystemen**, bspw. Systemen die auf Erdgas basieren
- 
- Die Ergebnisse der Ökobilanzierung können für folgende Akteure relevant sein:
    - Energieplaner und -unternehmen
    - Ingenieure
    - Betreiber von Fernwärmenetzen
    - Öffentliche Verwaltungen
    - Entscheidungsträger
    - Forscher/Ökobilanzierer

# Ökobilanz von Fernwärmesystemen: Aktueller Stand

Autor, Jahr der Studie	Methodik	Untersuchungsgegenstand	Software
Oliver-Sola, 2009	LCA ISO 14044	Fernwärme-Infrastruktur auf einem 100 m langen Abschnitt einer Straße, 10 Blocks á 24 Wohnungen	Gabi 4
Nitkiewicz, 2014	LCA ISO 14044	Niedrigtemperatur-Heizkraftwerk mit elektrischer Wärmepumpe, Absorptionswärmepumpe und gasgefeuerten Heizkessel	SimaPro 7.3.2
Parajuli, 2014	LCA	Fernwärmeproduktion mittels strohgefeuerter KWK-Anlage	SimaPro 7.3.3
Ivner, 2015	LCA ISO 14044	Überschüssige Wärme aus der Industrie im Fernwärmesystem	SimaPro software und ENPAC tool
Sandvall, 2017	TIMES	Kleinstadt, mittleres und großes Fernwärmesystem mit spezifischen Eigenschaften hinsichtlich der Verteilung und des verwendeten Treibstoffes	TIMES_UH model
Bartolozzi, 2017	LCA ISO 14040 und 14044	Heizen und Kühlen eines Wohngebietes mit 1000 Einwohnern (Entspricht ca. 250 Wohneinheiten), Toskana, Italien	SimaPro 8.02
Havukainen, 2018	LCA ISO 14040 und 14044	Kleines, durch Holz angetriebenes KWK-Kraftwerk, in Saimaanharju, Taipalsaari, Finnland	GaBi 6.0
Pericault, 2018	LCA and LCC	Systemprozesse für 5 Alternativen für Wasserversorgung, Hygiene und Heizen in Wohngebiet in Gallivare, Schweden	Open LCA

# Aufbau einer Ökobilanz für NT FW-Systeme

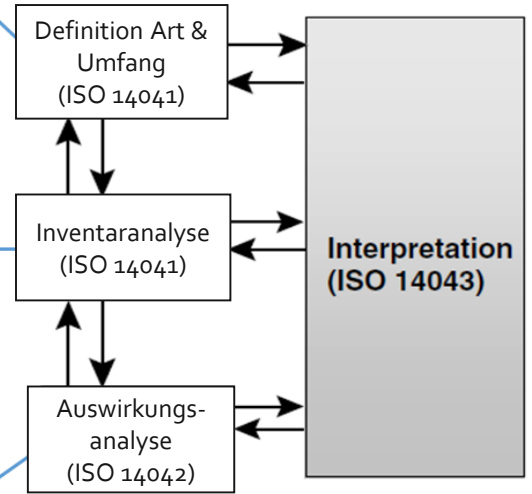
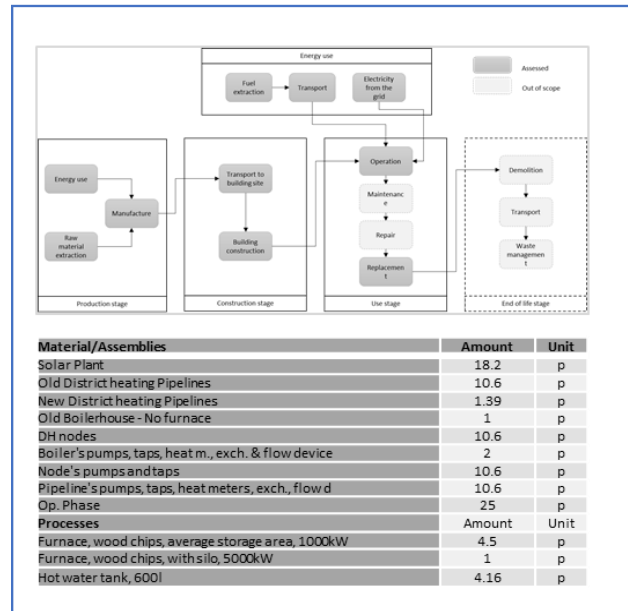


bb. 8: vergleichendes Ökobilanzszenario für (LT)DH-Systeme Darstellung J'liver-Sole et.al (2009) [8] [bearbeitet]

Transformation Szenario Identifikation
B-wie-U
Szenario 1
Szenario 2
Szenario 3
...
Szenario n

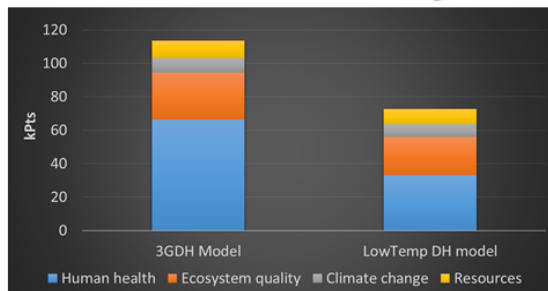
# Aufbau einer Ökobilanz für NT FW-Systeme

Bewertung der Gesamt-Umweltverträglichkeit eines FW-Systems über eine Lebensdauer von 25 Jahren, einschließlich Betriebs- und Wartungstätigkeiten



Ökodesign-Lösung

Zu implementierende SECAP FW-Strategie



Beispielhafte Auswertung einer LZA: LowTEMP Projekt. Lebenszyklusanalyse für die Pilot-Energiestrategie zur Einführung von NT FW-Systemen im Bezirk Gulbene [8]



# 5. Fallbeispiele für Ökobilanzierungen von NT FW-Systemen

Beispiele aus:

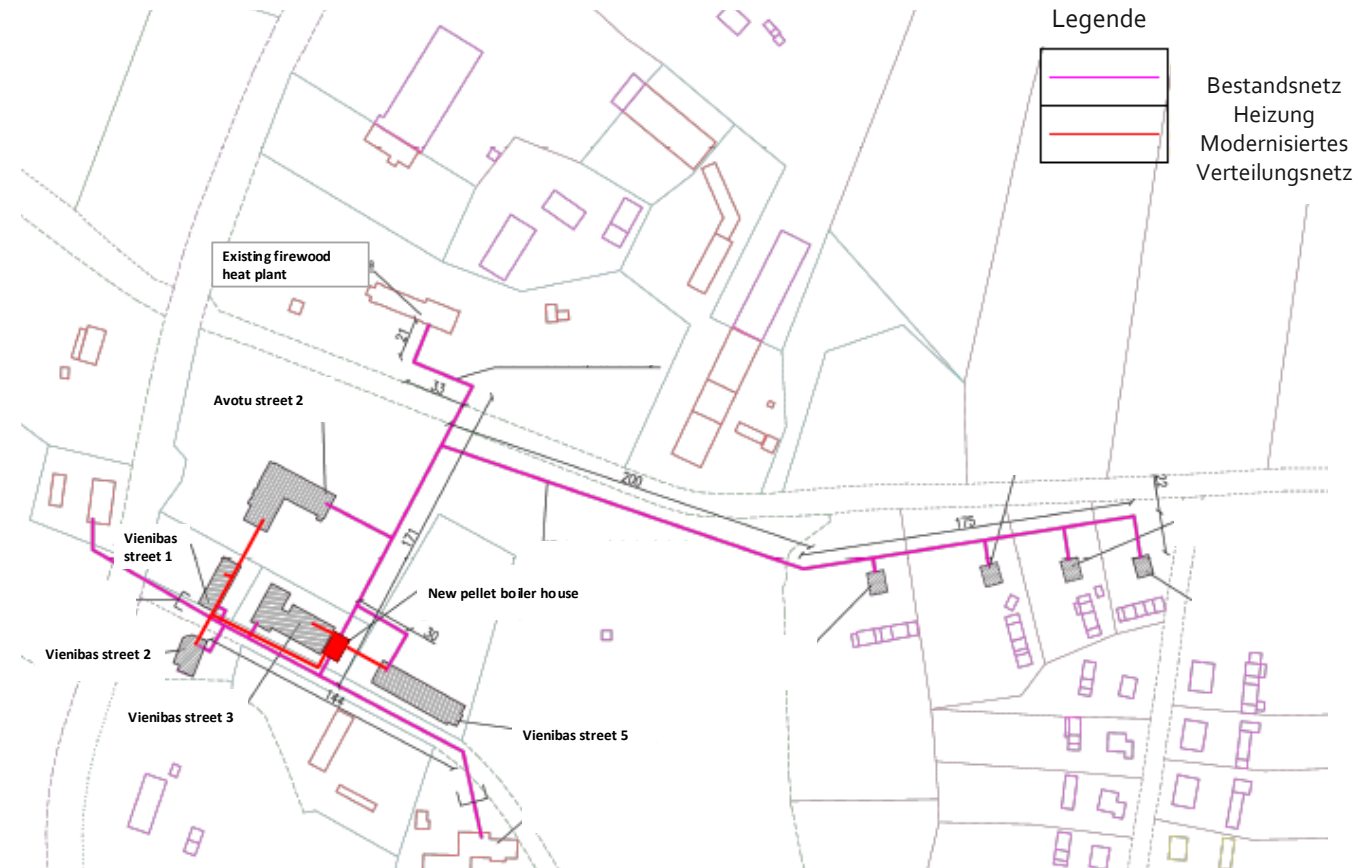
- Gemeinde Beļava im Bezirk Gulbene
- Pilot-Energiestrategie (Gemeinde Galgauska in Gulbene)

# GoA 4.2 –Ökobilanz for Gulbene, Gemeinde Beļava

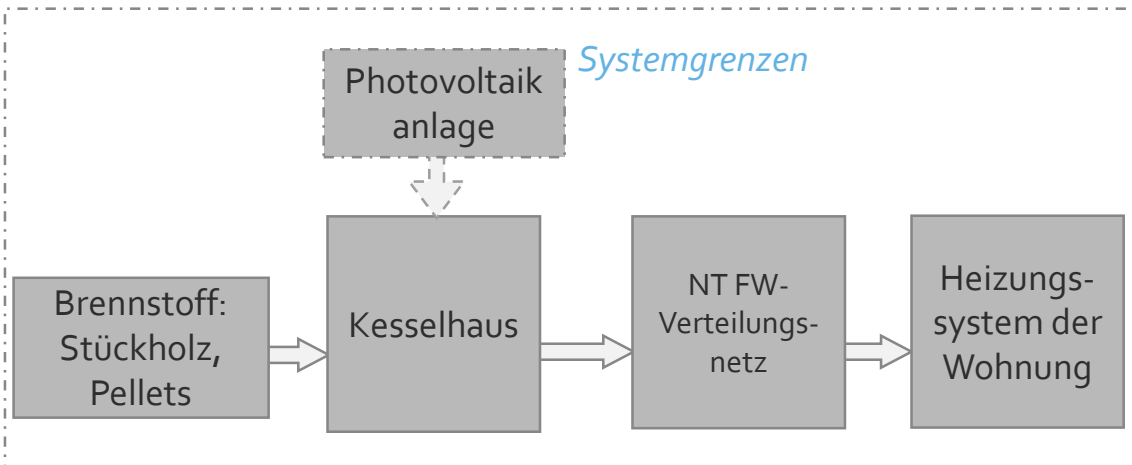
Abb. 9: Beļava parish 'NT FW Netz, Quelle: M. Feofilovs et al. [9].

**PILOTMAßNAHME GULBENE:** Umwandlung eines bestehenden Fernwärmesystems der 3. Generation in ein neuartiges NT FW-System

- **Altes System:** Kesselhaus mit Holzholzheizkessel, unsaniertes Verteilungsnetz
- **Neues System:** NT FW-System mit einem 0.2 MW Kesselhaus (Energieträger: Pellets), modernisiertes Verteilungsnetz mit modernem Regel- und Steuerunssystem



# GoA 4.2 – Ökobilanz for Gulbene, Gemeinde Beļava



Szenario	Merkmale
1	Neues Fernwärmesystem 90/60
2	Neues NT FW-System 60/35 mit Photovoltaikanlage
3	Neues NT FW-System 60/35
4	Altes Fernwärmesystem 90/60

## FUNKTIONALE EINHEIT

*Bereitstellung von Heizenergie mittels Fernwärme für einen beheizten Bereich über eine angenommene Lebensspanne*

# Lebenszyklus-Inventar

Part of DH	Materials / Assemblies / Processes	Amount	Unit		
New boiler house	Steel, low-alloyed	113.3	kg		
	Steel, chromium steel 18/8	390.1	kg		
	Concrete, sole plate and foundation	4.2	m <sup>3</sup>		
	Sand	14	kg		
New DH pipeline network	Chromium steel pipe	10639.4	kg		
	Polyurethane, rigid foam	816.8	kg		
	Polyethylene, low density, granulate	2038.7	kg		
	Concrete block	2901	kg		
	Sand	323.5	kg		
	Cast iron	283	kg		
	Copper	15	kg		
	Pitch	10	kg		
	Alkyd paint, white, without solvent, in 60 % solution state	7.2	kg		
	Gravel, crusher	DH nodes	Steel, low-alloyed	256.8	kg
	Mastic asphalt		Stone wool	1.2	kg
	Cable, three-core		Cast iron	132	kg
	Concrete, sole		Copper	9	kg
	Metal working, Extrusion, plastic		Brass	61.6	kg
Metal working, Metal working,		Stone wool	1805.1	kg	
Metal working, Metal working,		Alkyd paint, white, without water, in 60 % solution state	4.8	kg	
Extrusion, Welding, arc, s		Cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs	15	kg	
Excavation, hydraulic		Metal working, average for steel product manufacturing	256.8	kg	
		Metal working, average for metal product manufacturing	132	kg	

Ausschnitte aus dem Lebenszyklus-Inventar am Beispiel [9]

# Bewertung der Umweltschäden

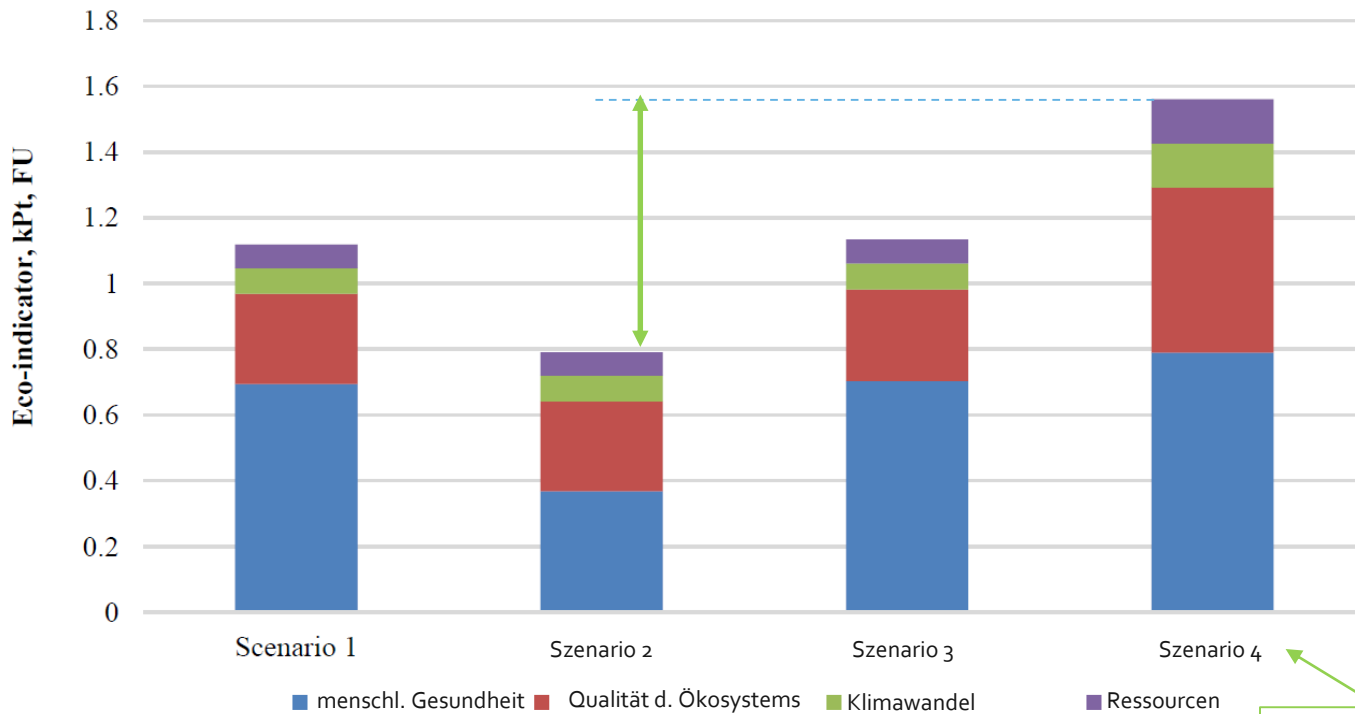


Abb. 11: Beispielhafte Darstellung der Umweltwirkungen am Beispiel [9]

Keine  
Änderung

- Verringerung der Umweltwirkungen um ca. 50%
- Höchster Anteil der Umweltwirkungen in der Betriebsphase
- Die geringfügigen Umweltwirkungen aus Herstellung und Betrieb der Anlagen
- Wichtige Reduktion der Wirkungen:
  - Treibhauspotenzial (62%)
  - Ökosystem (54%)

# Gemeinde Galgauska

## Pilot Testing Measures

Click on the pins to learn more about the activities in the different municipalities.



Abb. 12a: Belava (Gulbene Municipality) pilot testing measure, <http://www.lowtemp.eu/map/>, [10]

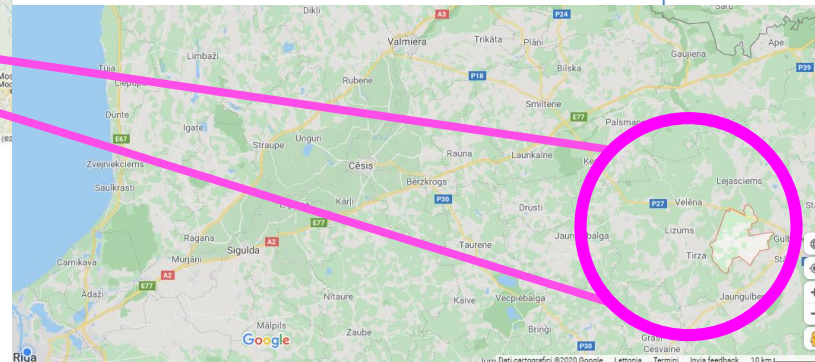


Abb. 12b: Belava (Gulbene Municipality) pilot testing measure, Source: <https://www.google.lv/maps> [11]

## Ziel & Umfang

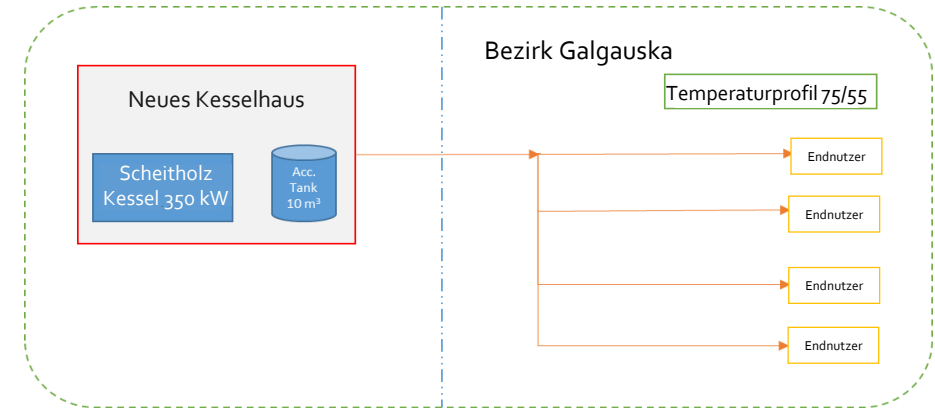
- ⑩ Bewertung der Umwelteinwirkungen des aktuellen Systems in der Gemeinde Galgauska.
- ⑩ Bewertung der Umwelteinwirkungen potenzieller NT FW-Systeme
- ⑩ Funktionale Einheit: Herstellung, Betrieb und Wartung des Fernwärmesystems über einen angenommenen Zeithorizont

Aktuell wird im Bezirk Gulbene und in seinen Gemeinden ein Fernwärmesystem der 3. Generation betrieben.

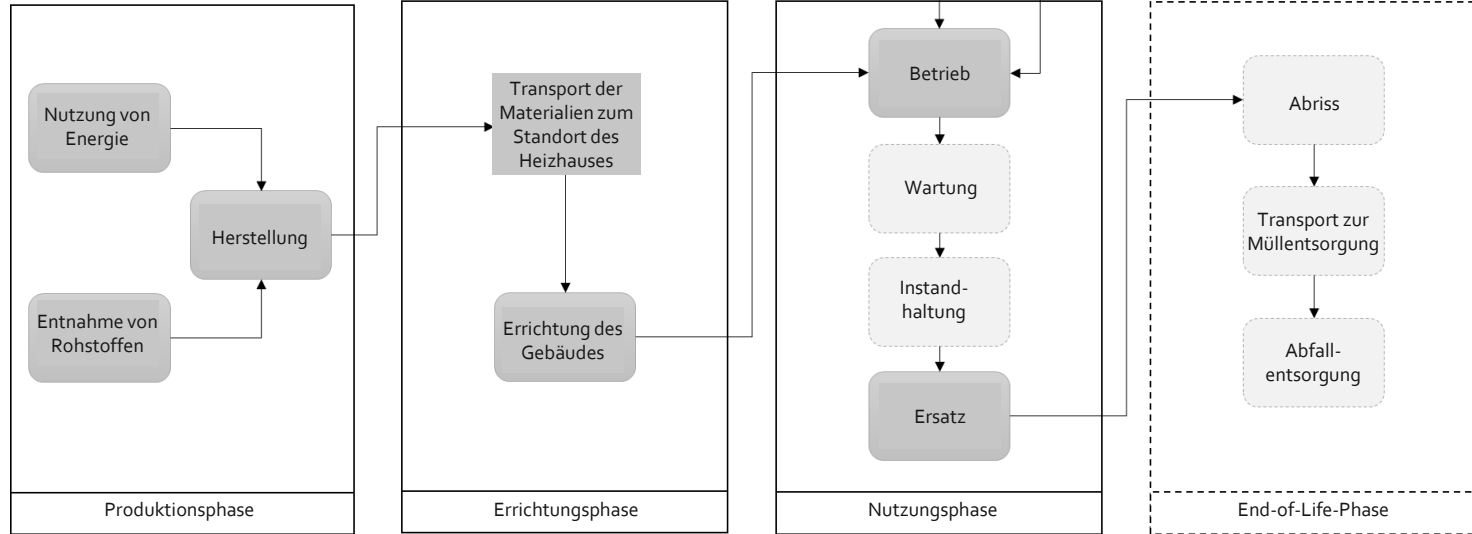
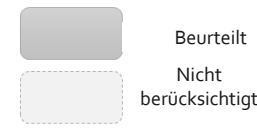
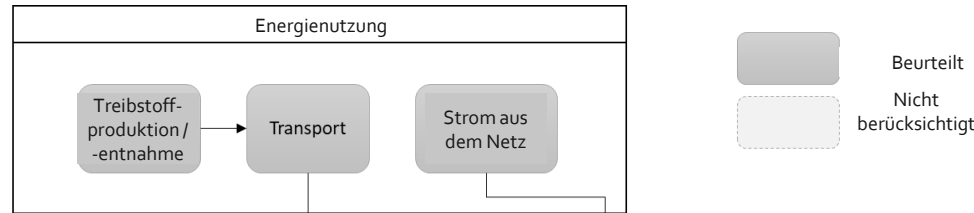
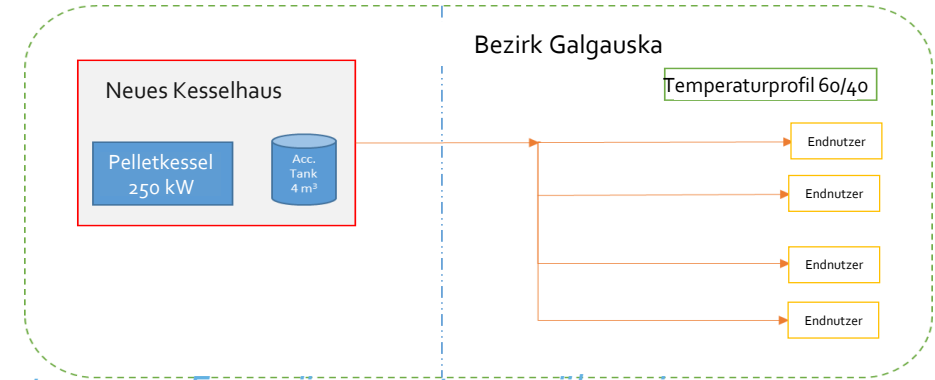
Ziel: Steigerung der Energieeffizienz durch die Entwicklung eines NT FW-Netzes

# Gulbene – Systemgrenzen

## Szenario 1



## Szenario 2



**FUNKTIONALE EINHEIT:** Die funktionale Einheit beschreibt den Betrieb und die Wartung von Fernwärmesystemen über einen angenommenen Zeithorizont für die Bereitstellung nachgefragter Heizwärme der verschiedenen Gemeinden von Gulbene.

Quelle: LowTEMP Projekt. Lebenszyklusanalyse für die Pilot-Energiestrategie zur Einführung von NT FW-Systemen im Bezirk Gulbene [8]

# Gulbene - Lebenszyklusinventar

Auszüge aus dem Lebenszyklusinventar Gulbene [8]

## NEW BOILER HOUSE

Material/Assemblies in SimaPro	Amount	Unit
Steel, low-alloyed {GLO}  market for   APOS, U	113,3	kg
Steel, chromium steel 18/8 {GLO}  market for   APOS, U		
Concrete, sole plate and foundation {CH}  market for   APOS, U		
Sand {GLO}  market for   APOS, U		
Polyurethane, rigid foam {GLO}  market for   APOS, U		
Cast iron {GLO}  market for   APOS, U		
Brass {CH}  market for brass   APOS, U		
Stone wool {GLO}  market for stone wool   APOS, U		

## New DH Pipelines

Material/Assemblies in SimaPro	Amount	Unit
Steel, low-alloyed {GLO}  market for   APOS, U	10639,4	kg
Polyurethane, rigid foam {RoW}  market for polyurethane, rigid foam   APOS, U	816,8	kg
Polyethylene, low density, granulate {GLO}  market for   APOS, U	2038,7	kg
Concrete block {GLO}  market for   APOS, U	2901	kg

## OPERATIONAL PHASE - Galgauska Scenario 1

Material/Assemblies in SimaPro	Amount	Unit
Polystyrene, extruded {GLO}  market for   APOS, U		
Adhesive mortar {GLO}  market for   APOS, U		
Gypsum plasterboard {GLO}  market for   APOS, U		
Glazing, double, U<1.1 W/m <sup>2</sup> K, laminated safety glass {GLO}		
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {R}		
Stone wool {GLO}  market for stone wool   APOS, U		
Epoxy resin, liquid {RER}  market for epoxy resin, liq		
Glass fibre {GLO}  market for   APOS, U		
Glued laminated timber, for indoor use {RER}  produ		
Orthophthalic acid based unsaturated polyester resin		
Steel, chromium steel 18/8 {RER}  steel production, c		
Soil for construction		
Sand {GLO}  market for   APOS, U		
Polystyrene foam slab for perimeter insulation {GLO}		
Concrete, normal {RoW}  market for   APOS, U		
Acrylic filler {RER}  market for acrylic filler   APOS, U		
Ceramic tile {GLO}  market for   APOS, U		
Roundwood, from sustainable forest management, under bark {GLO}  market for   APOS, U	950	m <sup>3</sup>
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}  heat production, hardwood chips from forest, at furnace 300kW	926	MWh
Electricity, medium voltage {LV}  market for   APOS, U	13,9	MWh

## OPERATIONAL PHASE - Galgauska Greenest Scenario

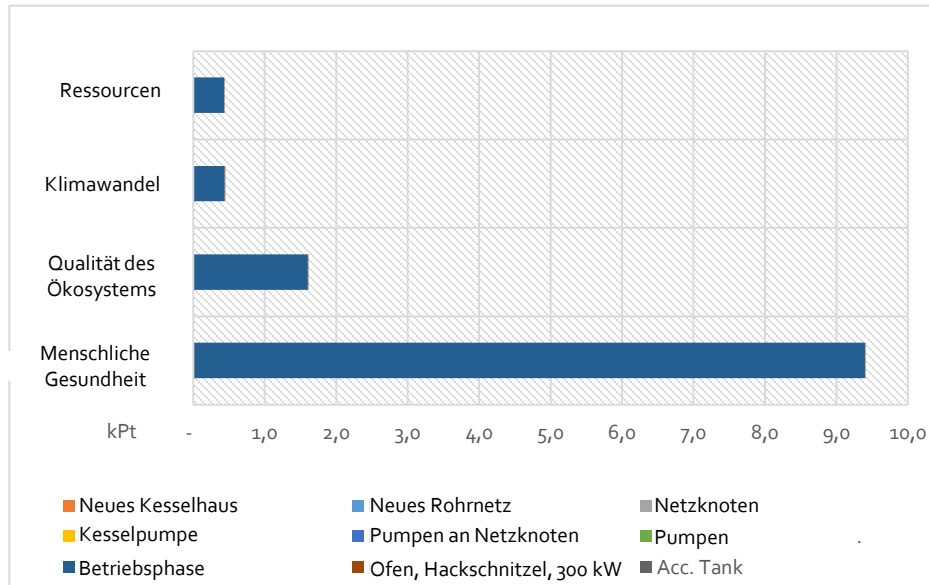
Material/Assemblies in SimaPro	Amount	Unit
Wood pellet, measured as dry mass {RER}  market for wood pellet   APOS, U	188	ton
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}  heat production, softwood chips from forest, at furnace 300kW   A	728	MWh
Electricity, medium voltage {LV}  market for   APOS, U	10,9	MWh



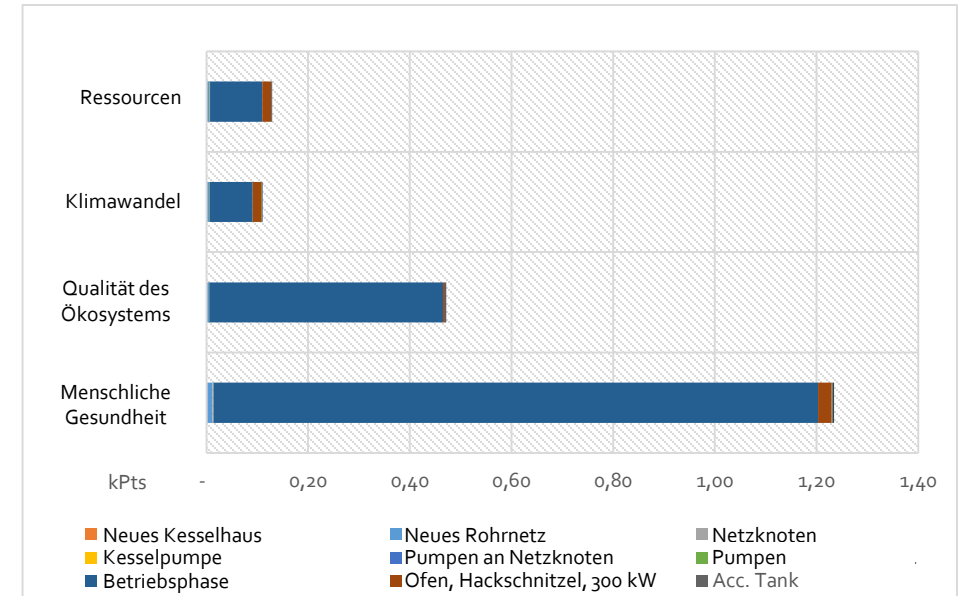
# Gulbene – Folgenabschätzung über den Lebenszyklus

## Folgenabschätzung

### Szenario 1



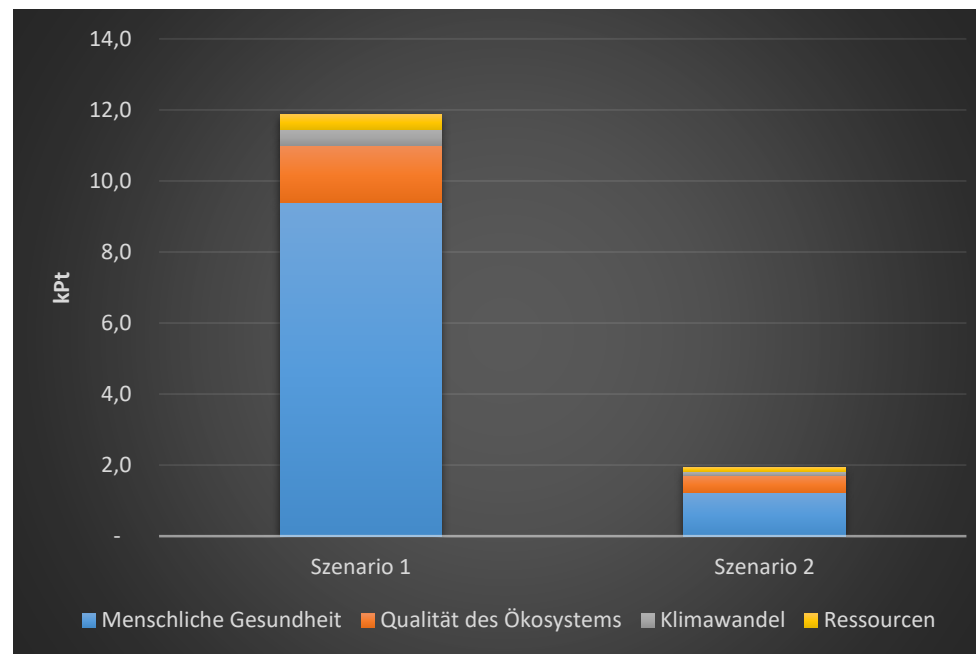
### Szenario 2



Auszüge aus dem Lebenszyklusinventar Gulbene [8]

# Gulbene – Folgenabschätzung über den Lebenszyklus

## Interpretation



- Die Umweltauswirkungen können durch die Umstellung des FW-Systems 3. Generation auf ein NT FW-System (4. Generation) maßgeblich reduziert werden.
- Die Umweltbelastung wird in allen Kategorien im Verlauf des Lebenszyklus reduziert.
- Im Bereich der menschlichen Gesundheit wird mit 86% die größte Reduktion der Wirkungen erreicht.

Auszüge aus Folgenabschätzung Pilotprojekt Belava, Gulbene [8]

- [0] <https://www.slideshare.net/majidaliakbarian/lca-of-the-persian-carpet-by-majid-aliakbarian>
- [1] Lin C, Shei S. Heavy metal effects on fermentative hydrogen production using natural mixed microflora. Int J Hydrog Energy 2008;33:587–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.09.030>.
- [2] <https://www.slideshare.net/majidaliakbarian/lca-of-the-persian-carpet-by-majid-aliakbarian>.
- [3] MS Powerpoint database image's stock.
- [4] ISO, "ISO 14044:2006," Environ. Manag. - Life cycle assesement - Requir. Guidel. ISO 14044, Int. Organ. Stand., 2006.
- [5] Ecodesign and LCA course, Riga Technical University, Institute of Energy Systems and Environment from "Advanced modelling in SimaPro- course material, Pre-consultants, May 2013".
- [6] Henrikke Baumann, Anne-Marie Tillman. The Hitch Hiker's Guide to LCA : an orientation in life cycle assessment methodology and application, Professional Publishing House, 2004, 453 pages.

- [7] Oliver-Solà, J., Gabarrell, X., Rieradevall, J., 2009a. Environmental impacts of the infrastructure for district heating in urban neighbourhoods. *Energy Policy*, 37, pp.4711–4719
- [8] LCA study of the Pilot Energy Strategy for low temperature district heating system implementation in Gulbene municipality [Online]. Available at <http://www.lowtemp.eu/wp-content/uploads/2020/12/LCA-report-pilot-measure-Belava.pdf>
- [9] M. Feofilovs et al., Life Cycle Assessment of Different Low-Temperature District Heating Development Scenarios: A Case Study of Municipality in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 272–290
- [10] Pilot Testing Measures [Online]. Available at <http://www.lowtemp.eu/map/>
- [11] Google maps, Available at <https://www.google.lv/maps>

## Technische Universität Riga

Prof. Dr.sc.ing. Francesco Romagnoli  
Fabian Diaz, M.sc., PhD student

Azenes iela 12/1-609  
1048 Riga  
Latvia

E-mail: [francesco.romagnoli@rtu.lv](mailto:francesco.romagnoli@rtu.lv)  
Tel: +371 67089943  
[www.rtu.lv](http://www.rtu.lv)

[www.lowtemp.eu](http://www.lowtemp.eu)

## Übersetzung: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Prof. Dr.-Ing. Matthias Koziol  
Cornelia Siebke

Konrad-Wachsmann-Alee 4  
03046 Cottbus  
Deutschland

E-Mail: [siebke@b-tu.de](mailto:siebke@b-tu.de)  
Telefon: +49 355 69 27 37  
[www.stadttechnik.de](http://www.stadttechnik.de)

[www.lowtemp.eu](http://www.lowtemp.eu)