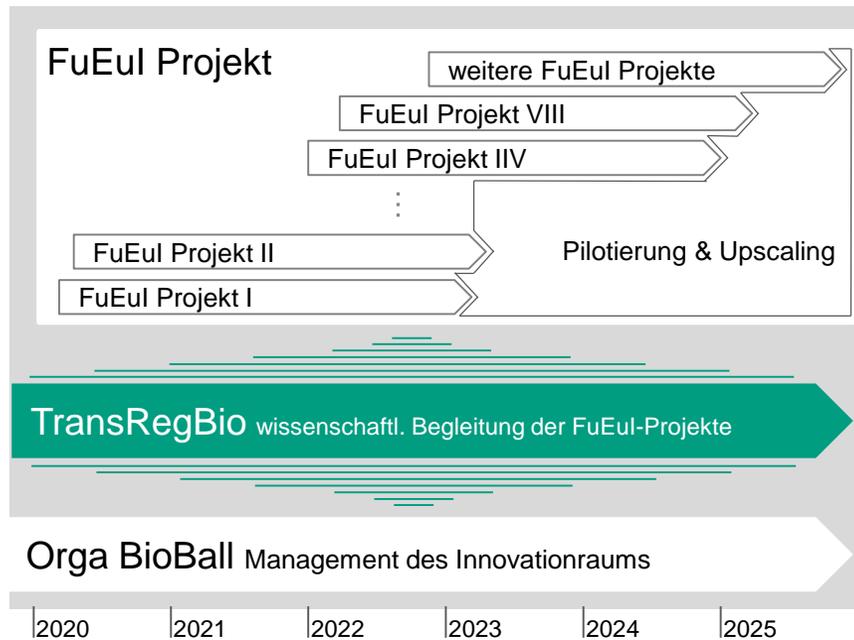


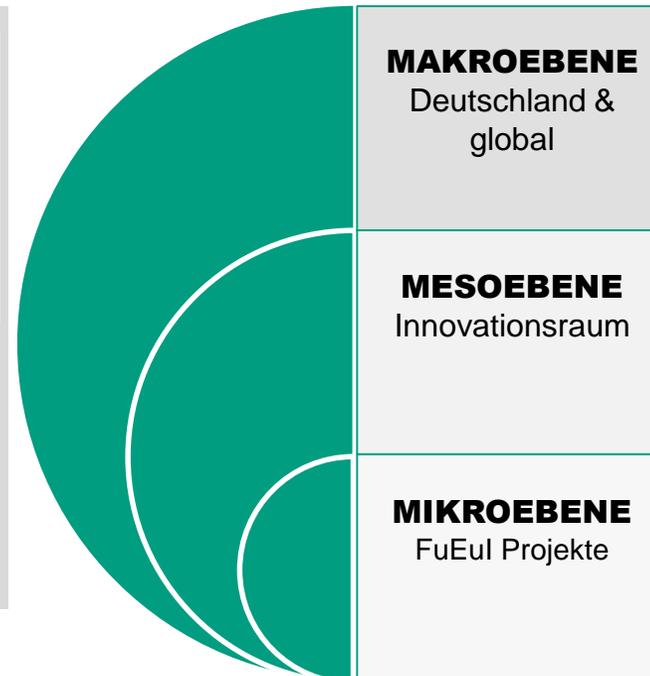
# Methodenvernetzung zur Bewertung einer nachhaltigen regionalen Bioökonomie am Beispiel Apfeltrester

# 1 TransRegBio ÜBERBLICK

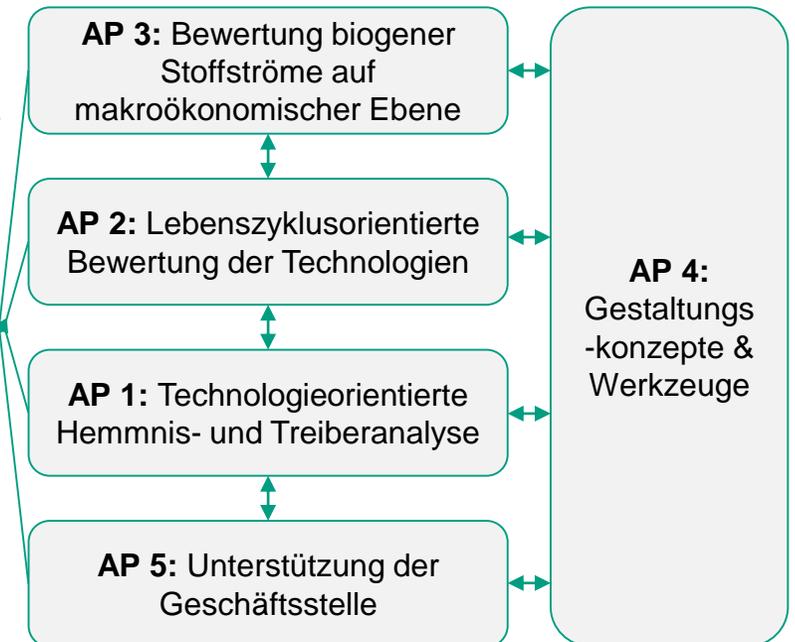
## Einbettung im Innovationsraum BioBall



## Bewertungsebenen



## Arbeitspakete



# 2 TransRegBio

## METHODENVERNETZUNG

*Wie kann eine  
regionale  
reststoffbasierte  
Bioökonomie  
nachhaltig gestaltet  
werden?*

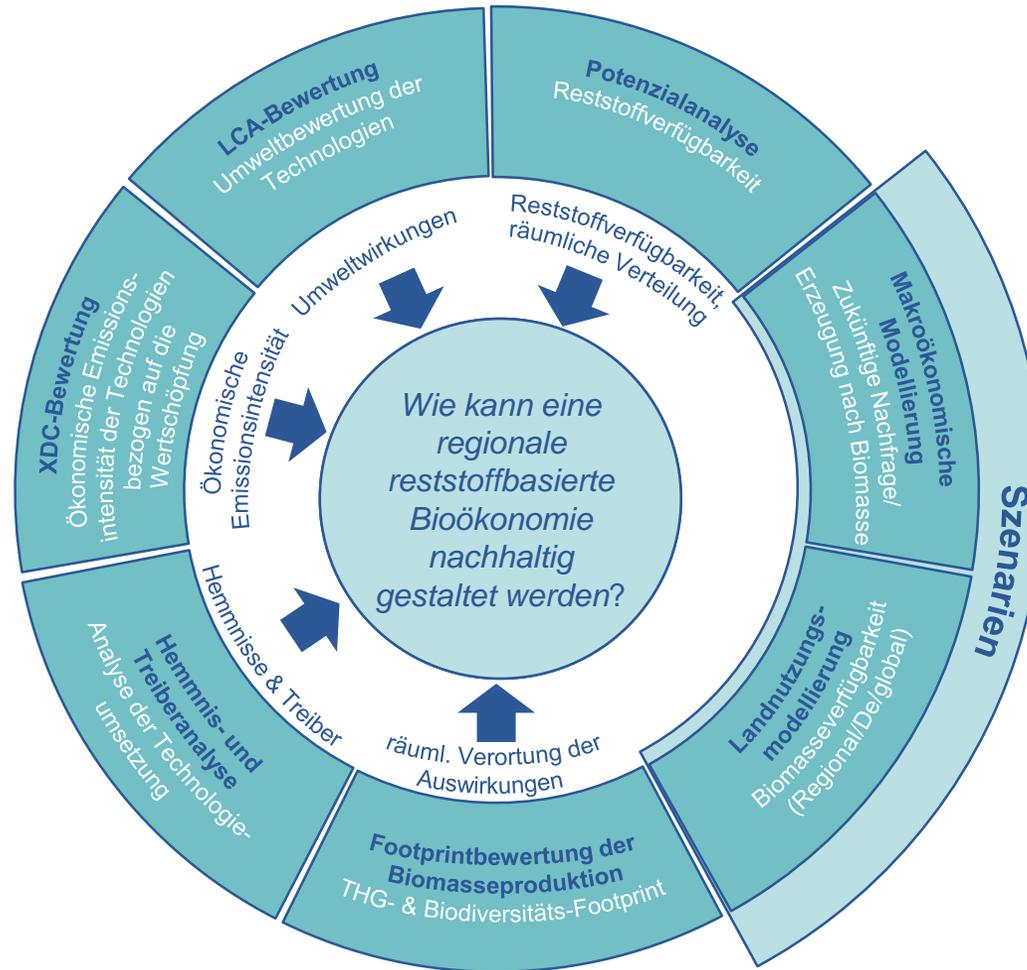
# 2 TransRegBio

## METHODENVERNETZUNG



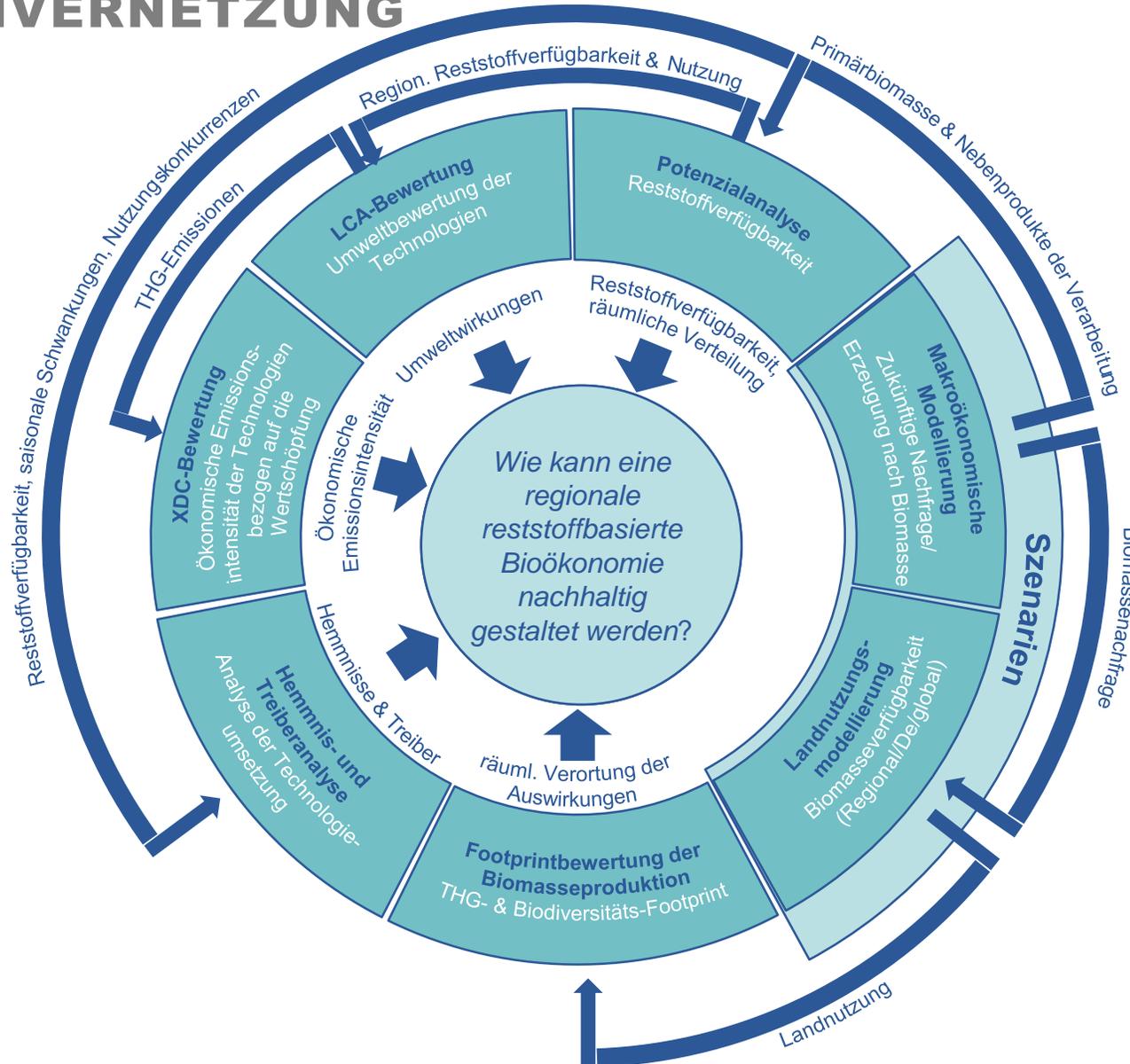
# 2 TransRegBio

## METHODENVERNETZUNG



# 2 TransRegBio

## METHODENVERNETZUNG

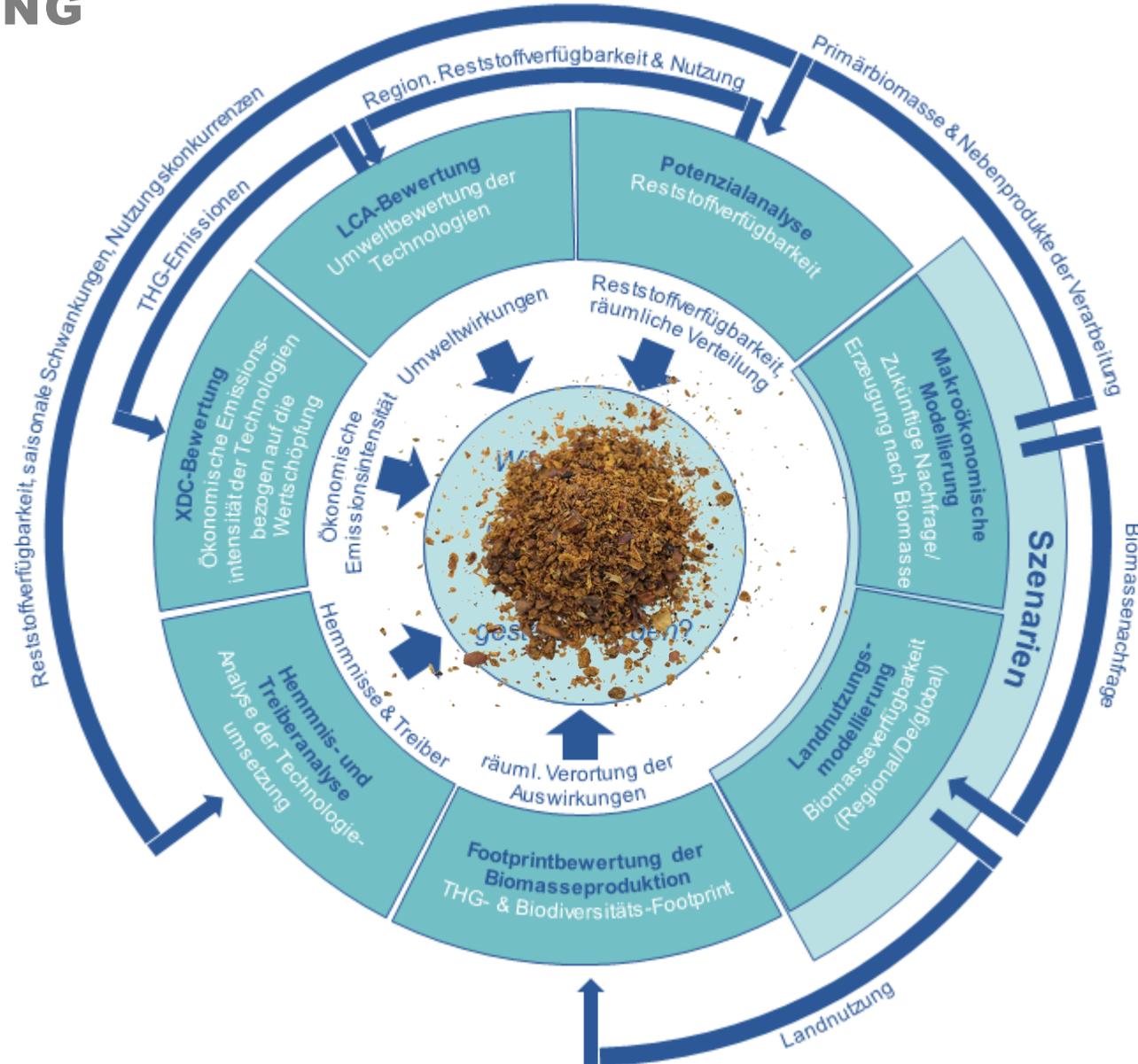


# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## VERNETZUNG



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## EINFÜHRUNG

### Apfeltrester

- Apfeltrester ist ein **Nebenprodukt** der Apfelsaft- und Apfelweinindustrie. Es entsteht als **Presskuchen** während des Pressens des Apfelsaftes.
- Weltweit fallen jährlich rund **4 Millionen Tonnen Apfeltrester** an (Kausler et al., 2024)



Bild: <https://circularstore.de/>

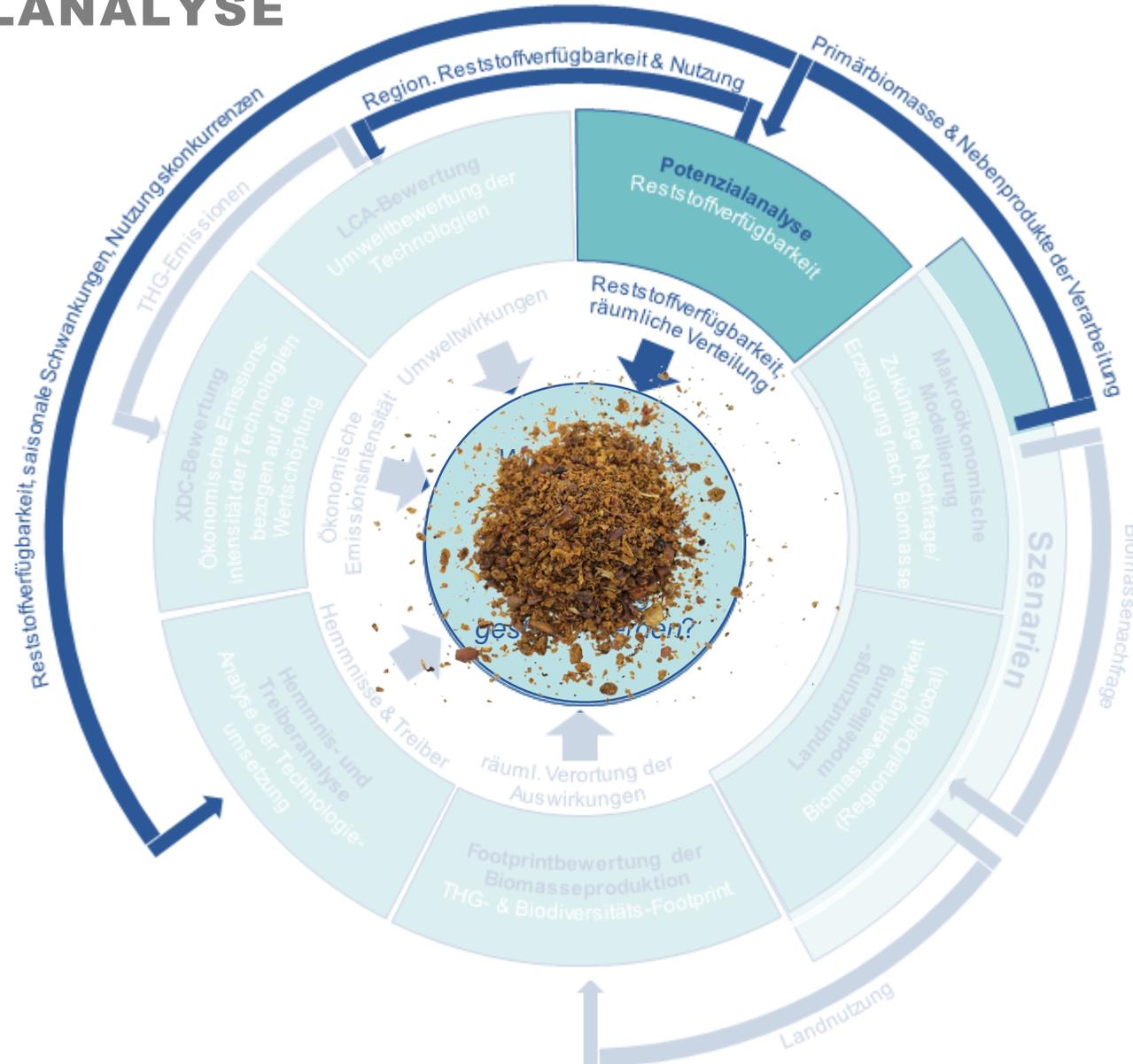
### Apfeltrester in BioBall

In mehreren BioBall-Projekten wurde Apfeltrester als ein potenzieller Rohstoff untersucht

PROJECT	CONVERSION	PRODUCTS
<b>InFeed   InA</b>	[ insect fattening ] → [ shrimp fattening ]	white leg shrimp
<b>AMPFood</b>	[ insect fattening ] → [ extraction ]	AMP preservative
<b>GlyChem   GlyPac</b>	[ catalytic grinding ] → [ extraction ]	glycanes → paints, coatings

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

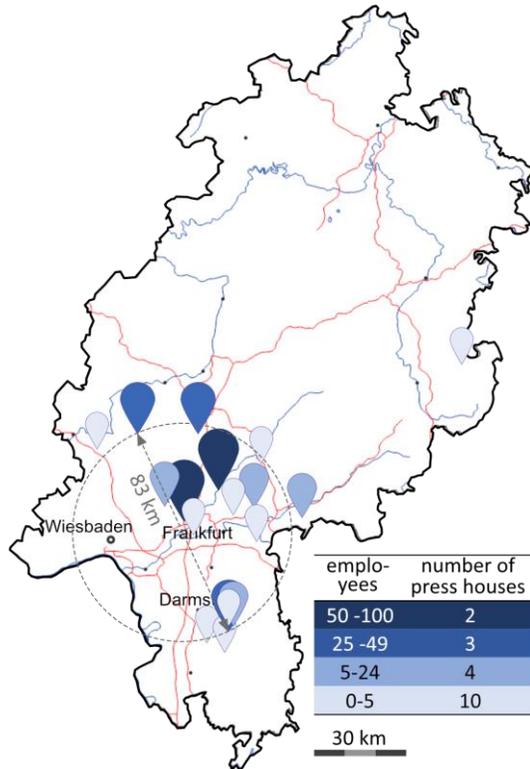
## POTENZIALANALYSE



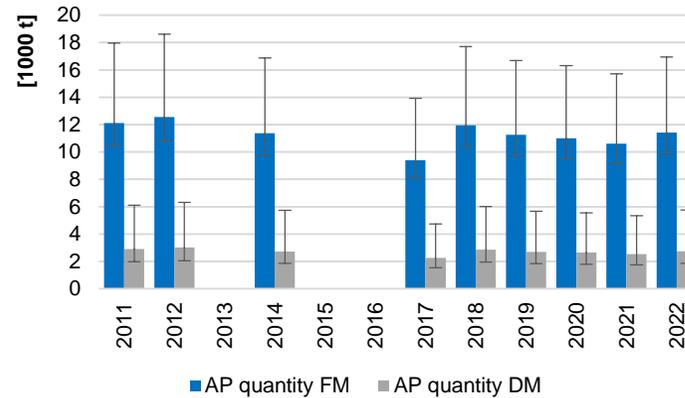
# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## POTENZIALANALYSE - AKTUELLE VERFÜGBARKEIT

### Standorte Hessischer Apfelkellereien

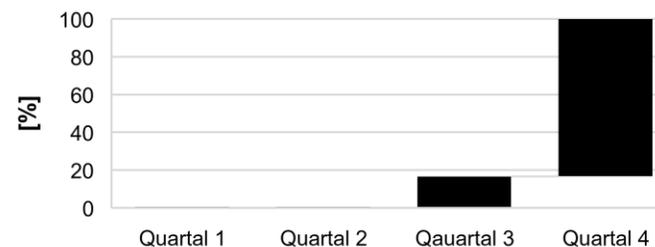


### Apfeltrester-Erzeugung in Hessen



Apfeltrestererzeugung der Kellereien mit  $\geq 20$  Mitarbeitern (5-6 im entsprechenden Zeitraum in Hessen)

### Saisonalität von Apfeltrester in Hessen



### Methodik

$$RG_{AP,HE} = RF_{AP} \left[ \frac{kg[FM]}{l} \right] \times PV_{AJW,HE} [l] \times DM_{AP} \left[ \frac{kg(DM)}{kg(FM)} \right]$$

$RG_{AP,HE}$ : Erzeugung Apfeltrester in Hessen (HE)

$RF_{AP}$ : prozessbasierter Reststofffaktor

- aus Industriebefragung: min: 0.25, max: 0.43

$PV_{AJW,HE}$ : Produktionsvolumen Apfelsaft & -wein in HE  
(Email statistisches Landesamt Hessen)

$DM_{AP}$ : Trockenmassekoeffizient

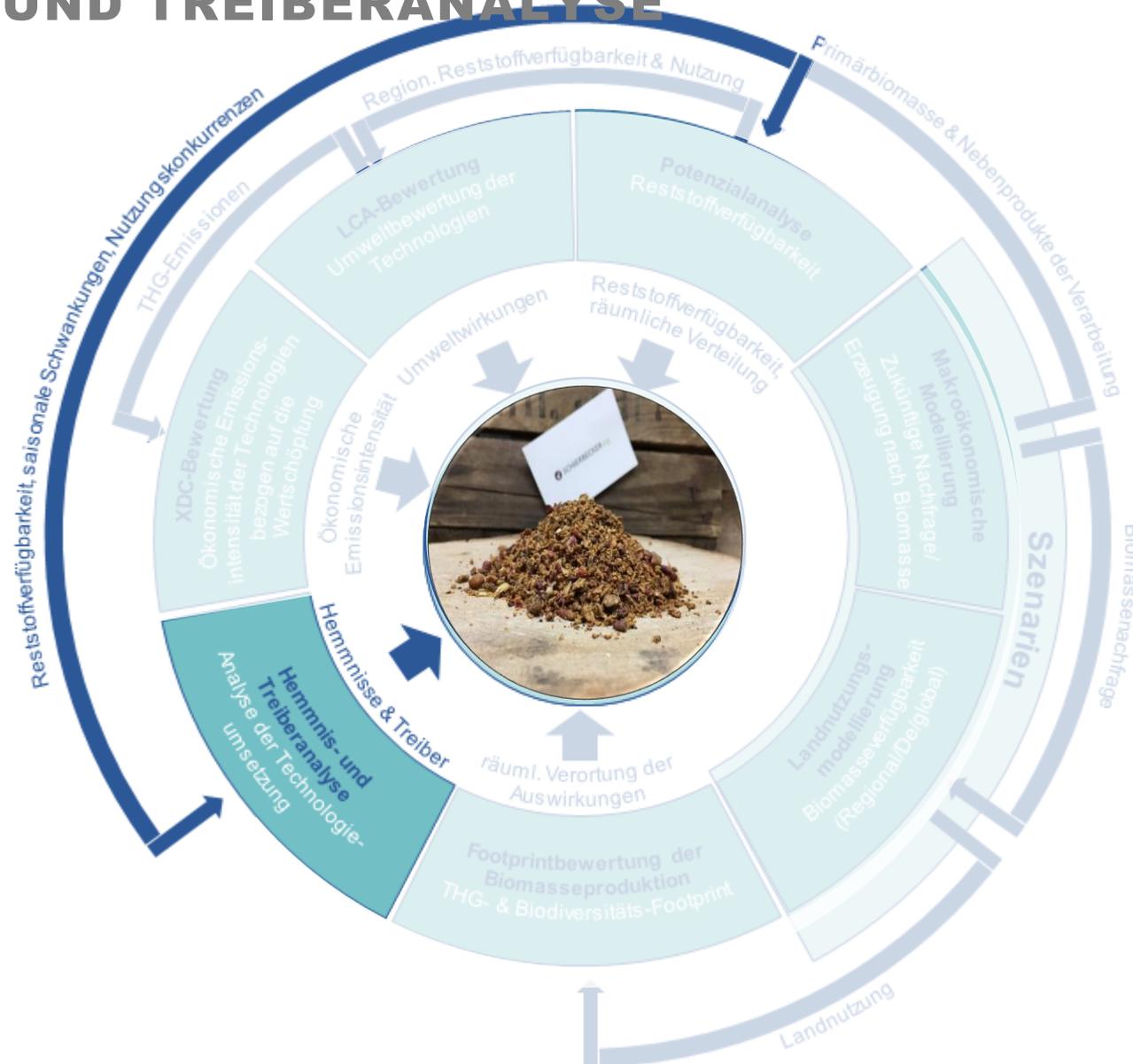
- aus Literaturrecherche: min: 0.19, max: 0.34

### Erkenntnisse

- durchschnittlich **11300 t/a** (FM)
- jährliche Schwankungen – 17% bis + 11% vom jährlichen Durchschnitt, aber kein Trend
- Saisonale Erzeugung von Apfeltrester vor allem im vierten Quartal
- hohe Dichte an Apfelkellereien im Süden Hessens

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANALYSE



# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANAYLSE

Hemmnisse und Treiber der stofflichen Apfeltresternutzung in innovativen Verfahren

Treiber	Hemmnisse
Regulatorik	
Verfügbarkeit	
Rohstoffeigenschaften	
Nutzungssituation	
Reststoff-Technologie-Kombination	

### Methodik

- Erfassung der relevanten **rechtlichen, strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen** und Einordnung ihrer Bedeutung für die in den BioBall-Projekten eingesetzten Rohstoffe, Technologien und Produkte.
- Aktuelle Rahmenbedingungen aus EU-Direktiven, Regularien, Gesetzen und Verordnungen
- Zukünftige Entwicklung aus Berichten, Strategien und Aktionsplänen

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANAYLSE

### Hemmnisse und Treiber der stofflichen Apfeltresternutzung in innovativen Verfahren

Treiber	Hemmnisse
<b>Regulatorik</b>	
Viele politische Strategien und Regularien fordern zwar die stärkere Nutzung von (biogenen) Rest- und Abfallstoffen...	...jedoch ist die energetische Nutzung durch das EEG bevorzugt.
<b>Verfügbarkeit</b>	
<b>Rohstoffeigenschaften</b>	
<b>Nutzungssituation</b>	
<b>Reststoff-Technologie-Kombination</b>	

### Methodik

- Erfassung der relevanten **rechtlichen, strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen** und Einordnung ihrer Bedeutung für die in den BioBall-Projekten eingesetzten Rohstoffe, Technologien und Produkte.
- Aktuelle Rahmenbedingungen aus EU-Direktiven, Regularien, Gesetzen und Verordnungen
- Zukünftige Entwicklung aus Berichten, Strategien und Aktionsplänen

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANAYLSE

### Hemmnisse und Treiber der stofflichen Apfeltresternutzung in innovativen Verfahren

Treiber	Hemmnisse
<b>Regulatorik</b>	
Viele politische Strategien und Regularien fordern zwar die stärkere Nutzung von (biogenen) Rest- und Abfallstoffen...	...jedoch ist die energetische Nutzung durch das EEG bevorzugt.
<b>Verfügbarkeit</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist (regional) in relevanten Mengen verfügbar und folgt einem stabilen Trend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltresterverfügbarkeit schwankt ertragsbedingt</li> <li>- Frischer Apfeltrester ist nur saisonal verfügbar</li> </ul>
<b>Rohstoffeigenschaften</b>	
<b>Nutzungssituation</b>	
<b>Reststoff-Technologie-Kombination</b>	

### Methodik

- Erfassung der relevanten **rechtlichen, strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen** und Einordnung ihrer Bedeutung für die in den BioBall-Projekten eingesetzten Rohstoffe, Technologien und Produkte.
- Aktuelle Rahmenbedingungen aus EU-Direktiven, Regularien, Gesetzen und Verordnungen
- Zukünftige Entwicklung aus Berichten, Strategien und Aktionsplänen

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANAYLSE

### Hemmnisse und Treiber der stofflichen Apfeltresternutzung in innovativen Verfahren

Treiber	Hemmnisse
<b>Regulatorik</b>	
Viele politische Strategien und Regularien fordern zwar die stärkere Nutzung von (biogenen) Rest- und Abfallstoffen...	...jedoch ist die energetische Nutzung durch das EEG bevorzugt.
<b>Verfügbarkeit</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist (regional) in relevanten Mengen verfügbar und folgt einem stabilen Trend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltresterverfügbarkeit schwankt ertragsbedingt</li> <li>- Frischer Apfeltrester ist nur saisonal verfügbar</li> </ul>
<b>Rohstoffeigenschaften</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist reich an wertvollen Komponenten, einschließlich Sacchariden, Proteinen, Mineralien, Pektinen, Polyphenolen, organischen Säuren und Vitaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frischer Apfeltrester unterliegt einem raschen mikrobiellen Abbau. Deshalb muss er unmittelbar verwertet oder konserviert werden.</li> <li>- geringe Transportwürdigkeit -&gt; regionale Nutzung</li> </ul>
<b>Nutzungssituation</b>	
<b>Reststoff-Technologie-Kombination</b>	

### Methodik

- Erfassung der relevanten **rechtlichen, strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen** und Einordnung ihrer Bedeutung für die in den BioBall-Projekten eingesetzten Rohstoffe, Technologien und Produkte.
- Aktuelle Rahmenbedingungen aus EU-Direktiven, Regularien, Gesetzen und Verordnungen
- Zukünftige Entwicklung aus Berichten, Strategien und Aktionsplänen

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANAYLSE

### Hemmnisse und Treiber der stofflichen Apfeltresternutzung in innovativen Verfahren

Treiber	Hemmnisse
<b>Regulatorik</b>	
Viele politische Strategien und Regularien fordern zwar die stärkere Nutzung von (biogenen) Rest- und Abfallstoffen...	...jedoch ist die energetische Nutzung durch das EEG bevorzugt.
<b>Verfügbarkeit</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist (regional) in relevanten Mengen verfügbar und folgt einem stabilen Trend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltresterverfügbarkeit schwankt ertragsbedingt</li> <li>- Frischer Apfeltrester ist nur saisonal verfügbar</li> </ul>
<b>Rohstoffeigenschaften</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist reich an wertvollen Komponenten, einschließlich Sacchariden, Proteinen, Mineralien, Pektinen, Polyphenolen, organischen Säuren und Vitaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frischer Apfeltrester unterliegt einem raschen mikrobiellen Abbau. Deshalb muss er unmittelbar verwertet oder konserviert werden.</li> <li>- geringe Transportwürdigkeit -&gt; regionale Nutzung</li> </ul>
<b>Nutzungssituation</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringe Wertschöpfung bei Nutzung als Tierfutter</li> <li>- der Tierfuttermarkt ist rückläufig</li> <li>-&gt; für die stoffliche Verwertung zu hochpreisigen Produkten ist Apfeltrester (regional) mobilisierbar</li> </ul>	<p>Apfeltrester ist aktuell in Nutzung: Nutzungskonkurrenz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- als Tierfutter (Mischfutterrohstoffe)</li> <li>- als Biogassubstrat</li> </ul>
<b>Reststoff-Technologie-Kombination</b>	

### Methodik

- Erfassung der relevanten **rechtlichen, strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen** und Einordnung ihrer Bedeutung für die in den BioBall-Projekten eingesetzten Rohstoffe, Technologien und Produkte.
- Aktuelle Rahmenbedingungen aus EU-Direktiven, Regularien, Gesetzen und Verordnungen
- Zukünftige Entwicklung aus Berichten, Strategien und Aktionsplänen

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## HEMMNIS- UND TREIBERANAYLSE

### Hemmnisse und Treiber der stofflichen Apfeltresternutzung in innovativen Verfahren

Treiber	Hemmnisse
<b>Regulatorik</b>	
Viele politische Strategien und Regularien fordern zwar die stärkere Nutzung von (biogenen) Rest- und Abfallstoffen...	...jedoch ist die energetische Nutzung durch das EEG bevorzugt.
<b>Verfügbarkeit</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist (regional) in relevanten Mengen verfügbar und folgt einem stabilen Trend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltresterverfügbarkeit schwankt ertragsbedingt</li> <li>- Frischer Apfeltrester ist nur saisonal verfügbar</li> </ul>
<b>Rohstoffeigenschaften</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester ist reich an wertvollen Komponenten, einschließlich Sacchariden, Proteinen, Mineralien, Pektinen, Polyphenolen, organischen Säuren und Vitaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frischer Apfeltrester unterliegt einem raschen mikrobiellen Abbau. Deshalb muss er unmittelbar verwertet oder konserviert werden.</li> <li>- geringe Transportwürdigkeit -&gt; regionale Nutzung</li> </ul>
<b>Nutzungssituation</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringe Wertschöpfung bei Nutzung als Tierfutter</li> <li>- der Tierfuttermarkt ist rückläufig</li> <li>-&gt; für die stoffliche Verwertung zu hochpreisigen Produkten ist Apfeltrester (regional) mobilisierbar</li> </ul>	<p>Apfeltrester ist aktuell in Nutzung: Nutzungskonkurrenz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- als Tierfutter (Mischfutterrohstoffe)</li> <li>- als Biogassubstrat</li> </ul>
<b>Reststoff-Technologie-Kombination</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apfeltrester fehlt als Rohstoff für die untersuchten Technologien ein Alleinstellungsmerkmal -&gt; es kann leicht durch andere Reststoffe ersetzt werden</li> </ul>

### Methodik

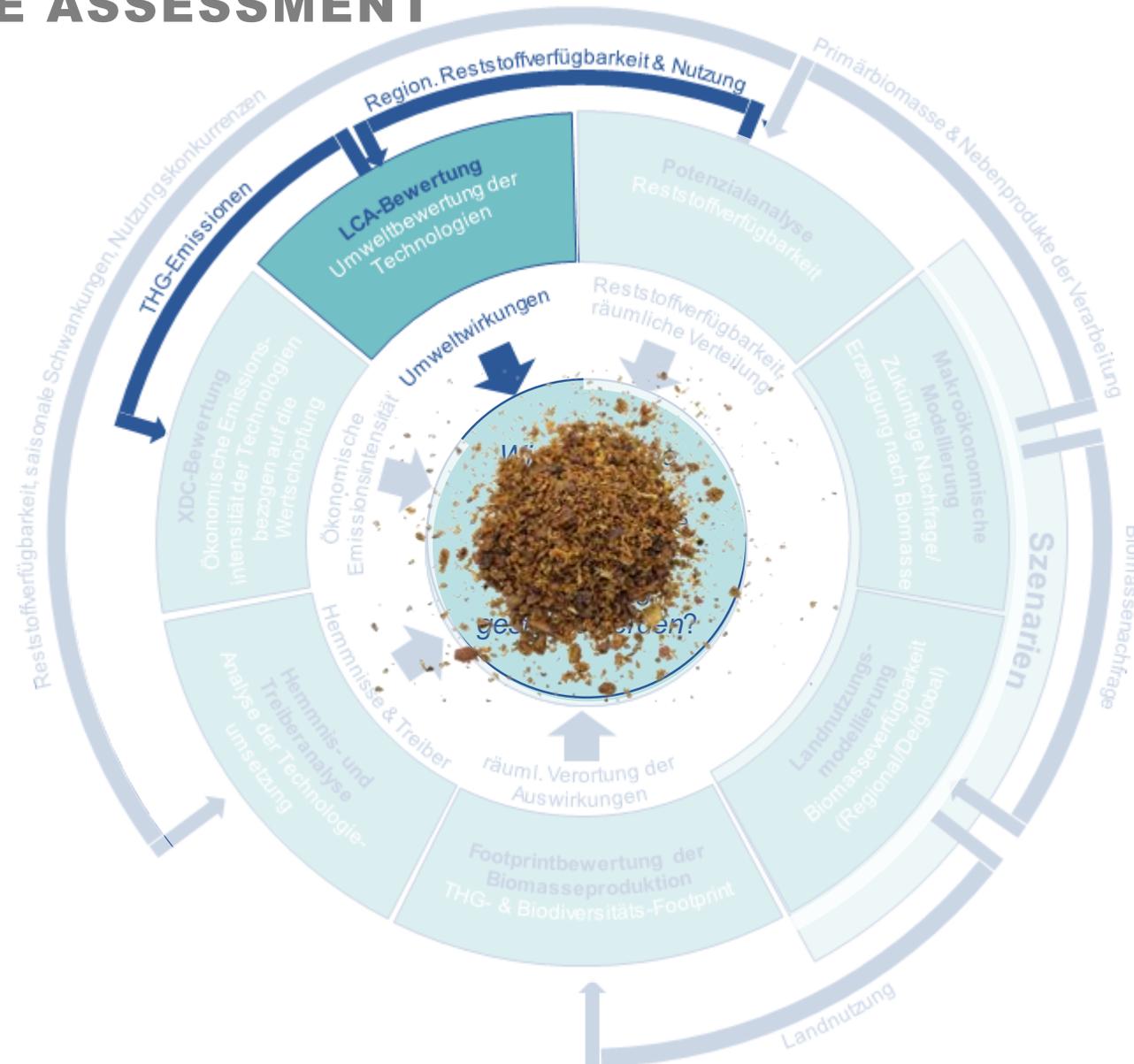
- Erfassung der relevanten **rechtlichen, strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen** und Einordnung ihrer Bedeutung für die in den BioBall-Projekten eingesetzten Rohstoffe, Technologien und Produkte.
- Aktuelle Rahmenbedingungen aus EU-Direktiven, Regularien, Gesetzen und Verordnungen
- Zukünftige Entwicklung aus Berichten, Strategien und Aktionsplänen

### Erkenntnisse

- Apfeltrester ist als Rohstoff für neue Wertschöpfungsketten **leicht mobilisierbar**.
- Aufgrund der niedrigen Transportwürdigkeit stehen **lokale/regionale Verwertungen** im Vordergrund

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## LIFE CYCLE ASSESSMENT





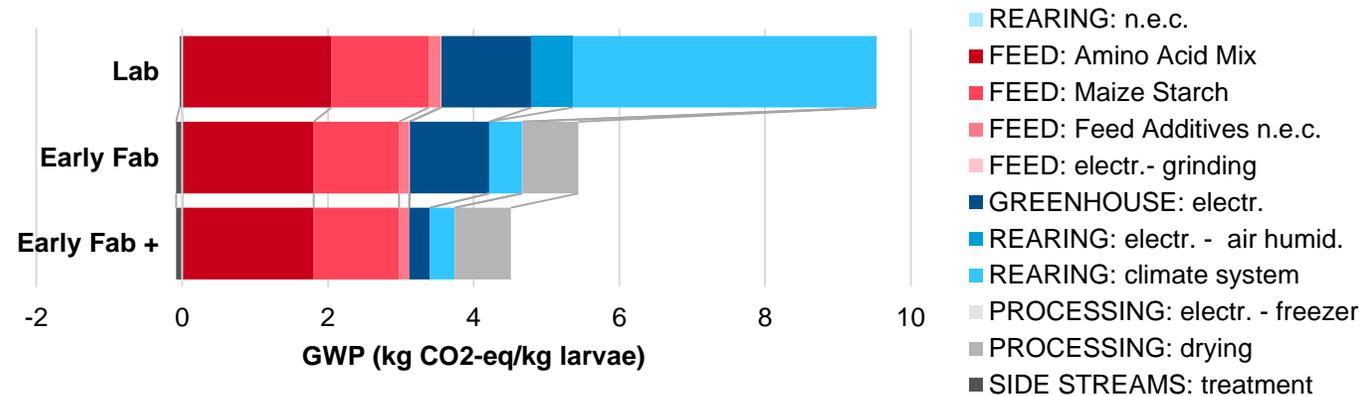
# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## LCA – ENTWICKLUNGSPOTENZIAL

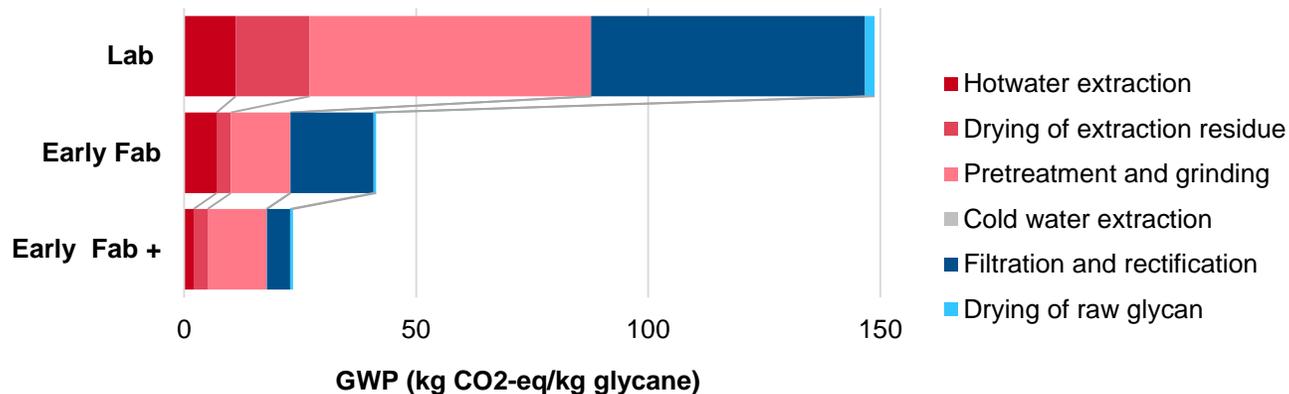
### Entwicklung des Treibhausgaspotenzials

durch technologisches Entwicklungspotenzial und Einsatz von erneuerbarem Strom

InA – Produktion von Larven der schwarzen Soldatenfliege



GlyChem – Produktion von Glykanen



### Methodik

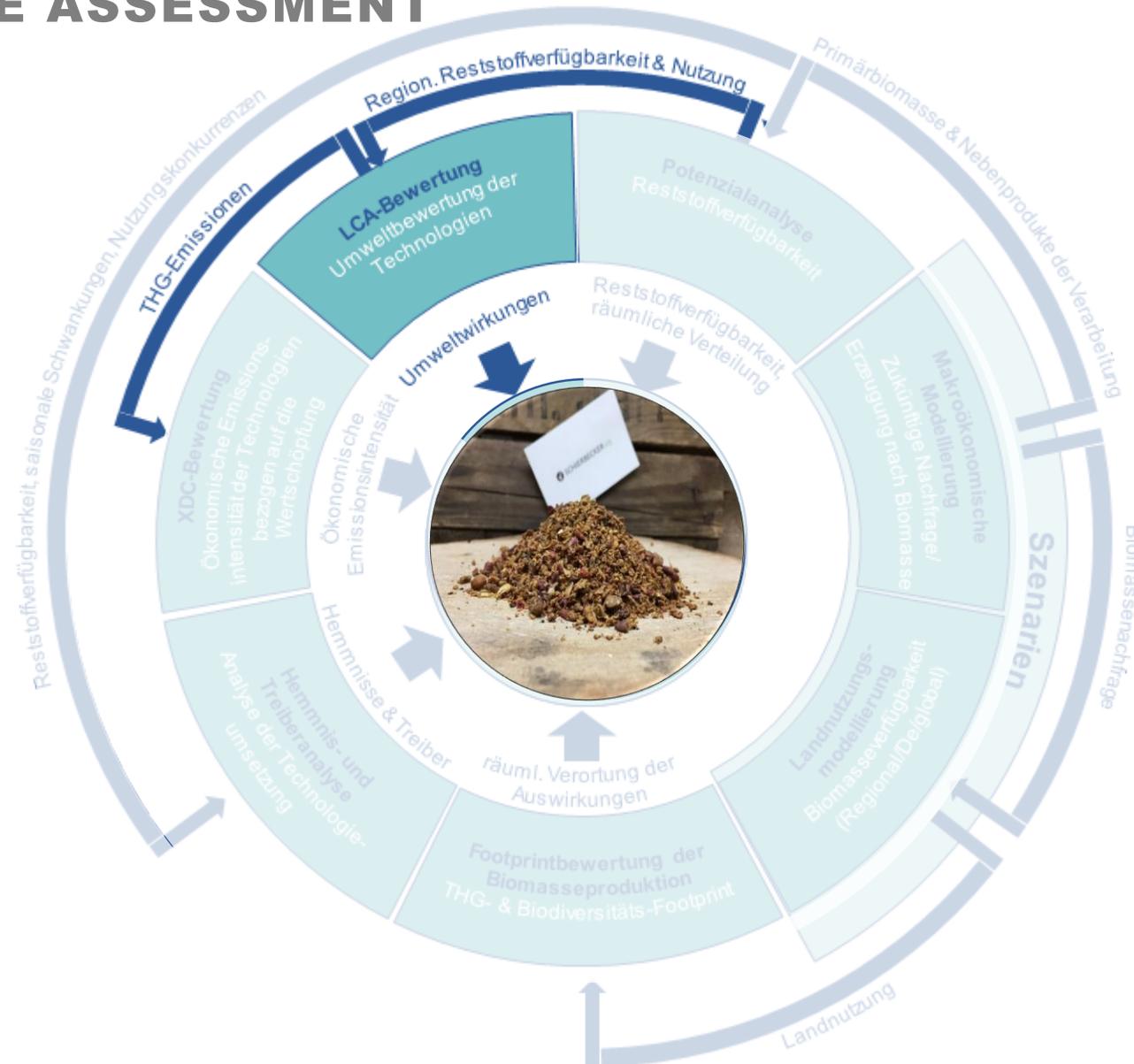
Szenarien		
	<b>Szenario A</b> Lab	Aktueller Entwicklungsstand (Labor- oder Pilotmaßstab)
		☞ Marginaler Strommix DE (78% EE)
	<b>Szenario B</b> Early Fab	Zukünftiger Entwicklungsstand (frühindustrieller Maßstab 2035)
		☞ Marginaler Strommix DE (78% EE)
	<b>Szenario C</b> Early Fab +	Zukünftiger Entwicklungsstand (frühindustrieller Maßstab 2035)
		☞ Marginaler erneuerbarer Strommix DE (100% EE)

### Erkenntnisse

- Treiber des THG-Potenzials sind Futtermittelzusätze und Energiebedarf der Klimakammer (InA) bzw. Vorbehandlung und Downstreaming Prozesse (GlyChem)
- Reduktion des THG-Potenzials durch **technologische Entwicklung** um 44% (InA) und 72% (GlyChem)
- Reduktion des THG-Potenzials durch technologische Entwicklung und **Einsatz von erneuerbarem Strom** um 53% (InA) und 84% (GlyChem)

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## LIFE CYCLE ASSESSMENT

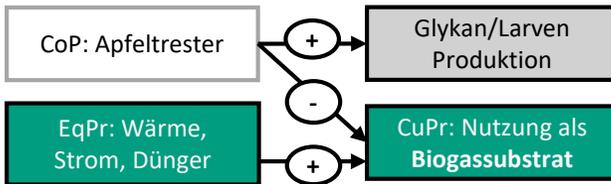


# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

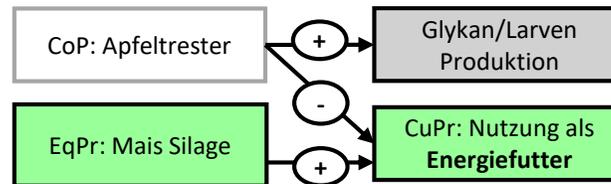
## LCA – NUTZUNG APFELTRESTER

### Anteil des Apfeltresters an den gesamten Umweltwirkungen der Prozesskette

#### Methodik

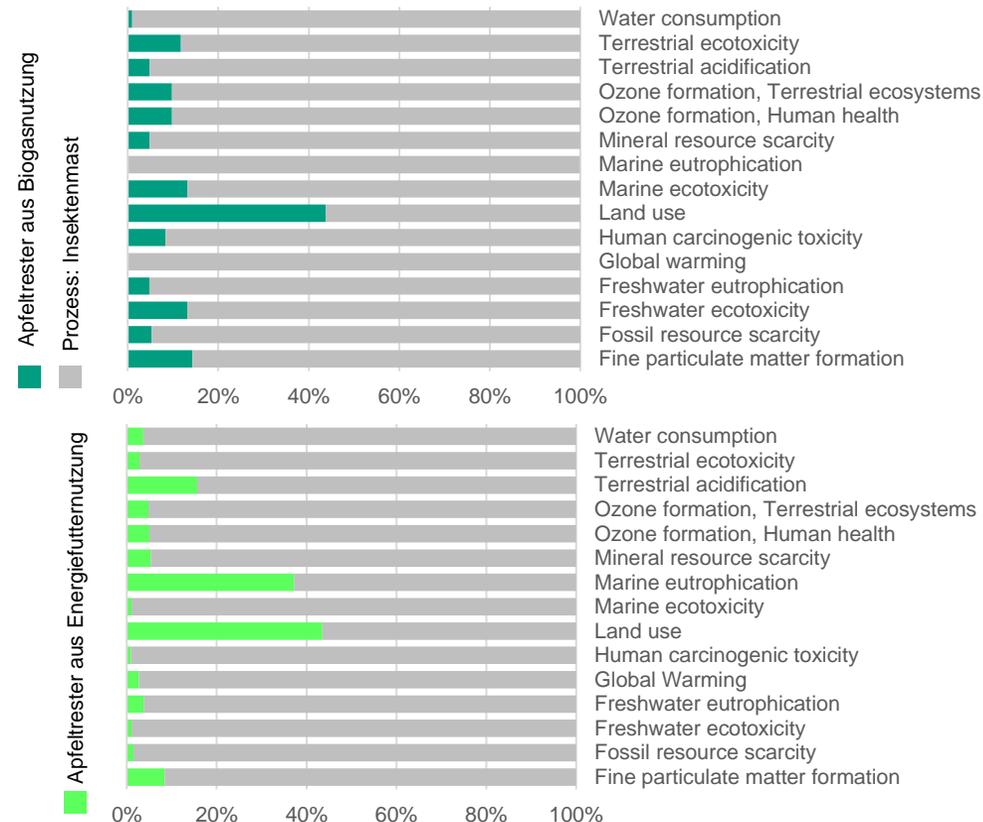


**Option A** – Aktuelle Nutzung von AT als Biogassubstrat



**Option B** – Aktuelle Nutzung von AT als Energiefutter

#### InA – Produktion von Larven der schwarzen Soldatenfliege (Early Fab)

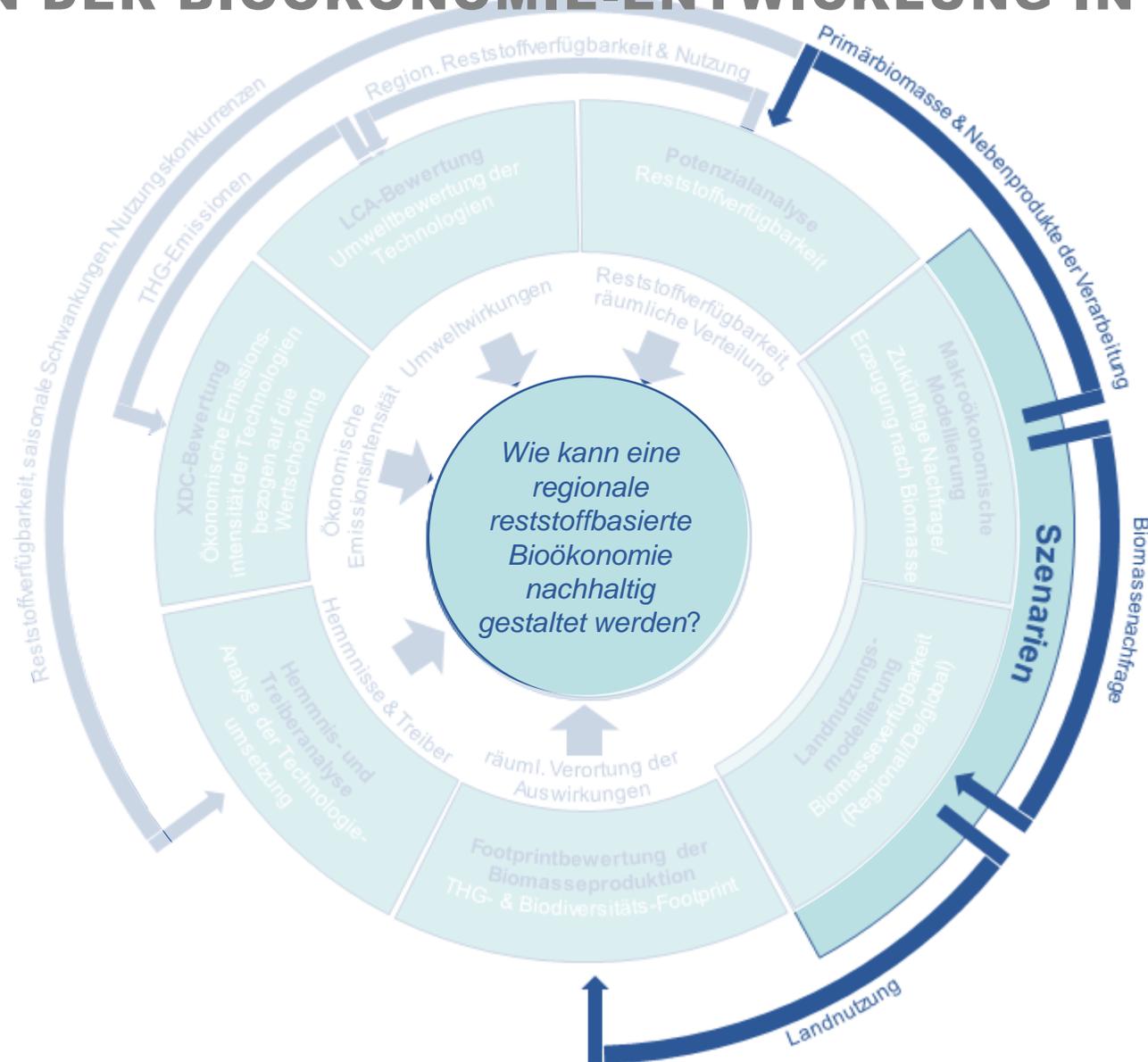


#### Erkenntnisse

- Nutzung von AT führt zu Kompensationseffekten in den Märkten seiner bisherigen Nutzung, die mit **Umweltwirkungen** verbunden sind
- Ø 10% für AT aus Biogas- und Ø 9% aus Futternutzung
- Einfluss des Kompensationseffektes auf **Klimabilanz eher gering**, dafür können Umweltwirkungen wie Eutrophierung, Landnutzung hoch ausfallen
- -> vorrangig **Nutzung von Apfeltrester aus der Energiefüttererzeugung**

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## SZENARIEN DER BIOÖKONOMIE-ENTWICKLUNG IN DE



# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## SZENARIEN DER BIOÖKONOMIE-ENTWICKLUNG IN DE

### Baseline-Szenario

- **Ökonomische Entwicklung** im wesentlichen bestimmt durch die regional unterschiedlichen Trends der Entwicklung des **Volkseinkommens und des Bevölkerungswachstums**
- Entwicklung der **landwirtschaftlichen Erträge** und der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche entsprechend historischer Trends
- Prognosezeitraum: **2020–2050**, abgebildet in 5-Jahres-Intervallen

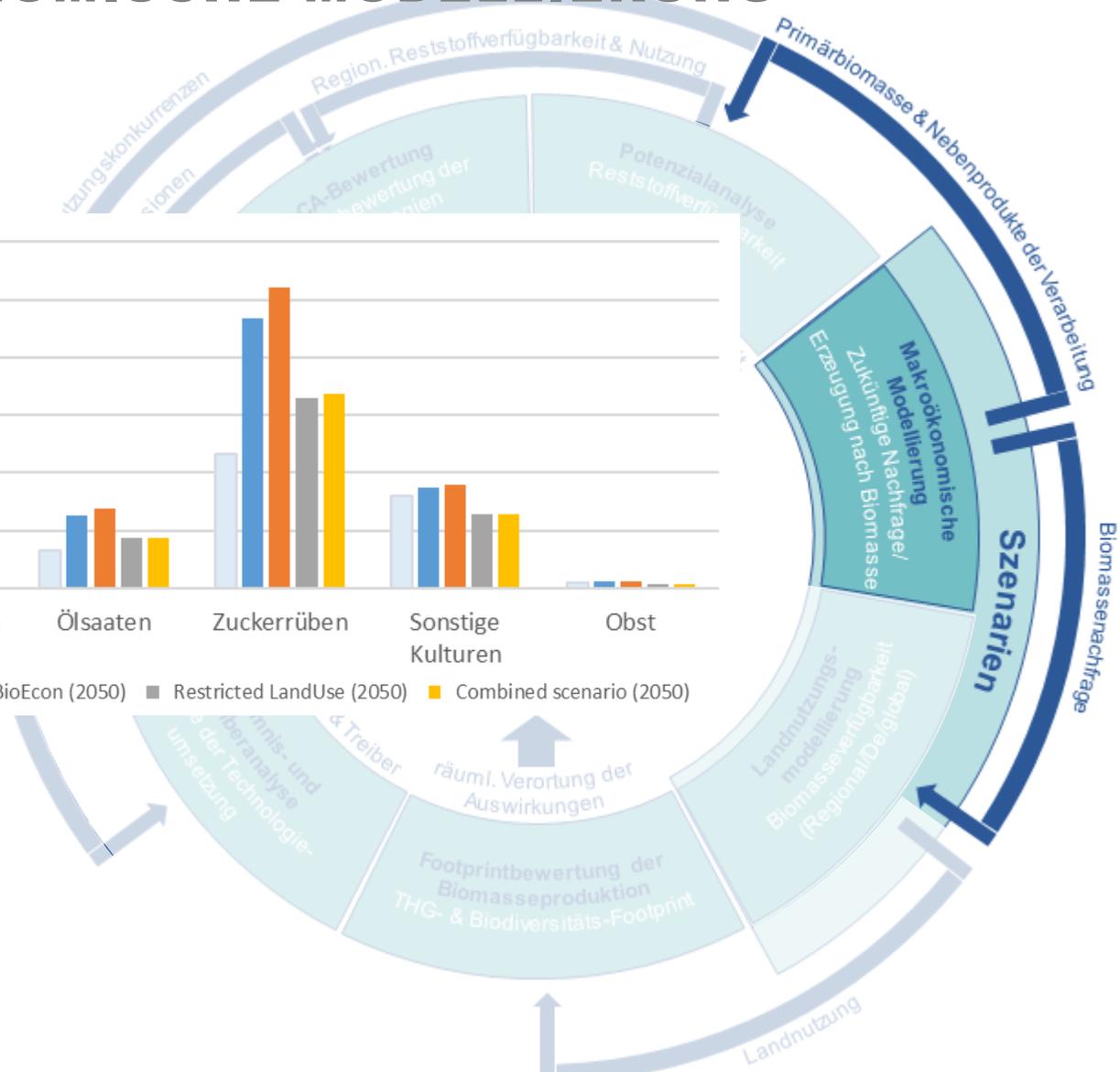
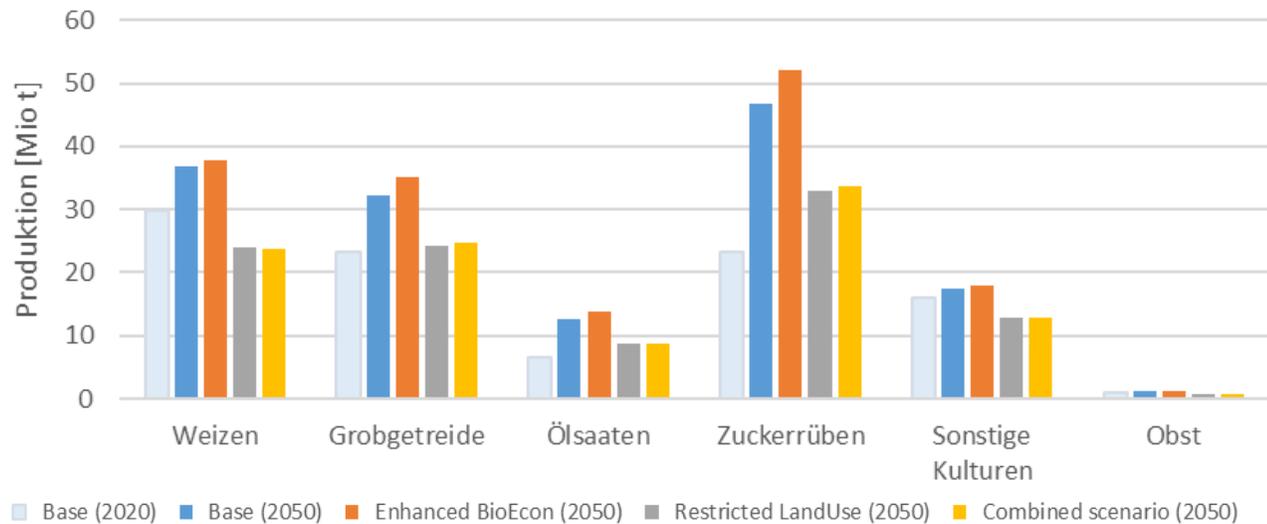
### Bioökonomie- Szenarien

- **Enhanced BioEcon:**
  - Verstärkte Nutzung von Biomasse (wachsende Bioökonomie)
  - 50% höhere Beimischungsraten im Bereich der **energetischen und stofflichen Nutzung von agrarischer Biomasse** gegenüber Baseline
- **Restricted LandUse:**
  - Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung
  - Jährliche Minderung der landwirtschaftlichen Nutzfläche: -1%
- **Combined:** Annahmen aus beiden Szenarien in einem Szenario

# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## MAKROÖKONOMISCHE MODELLIERUNG

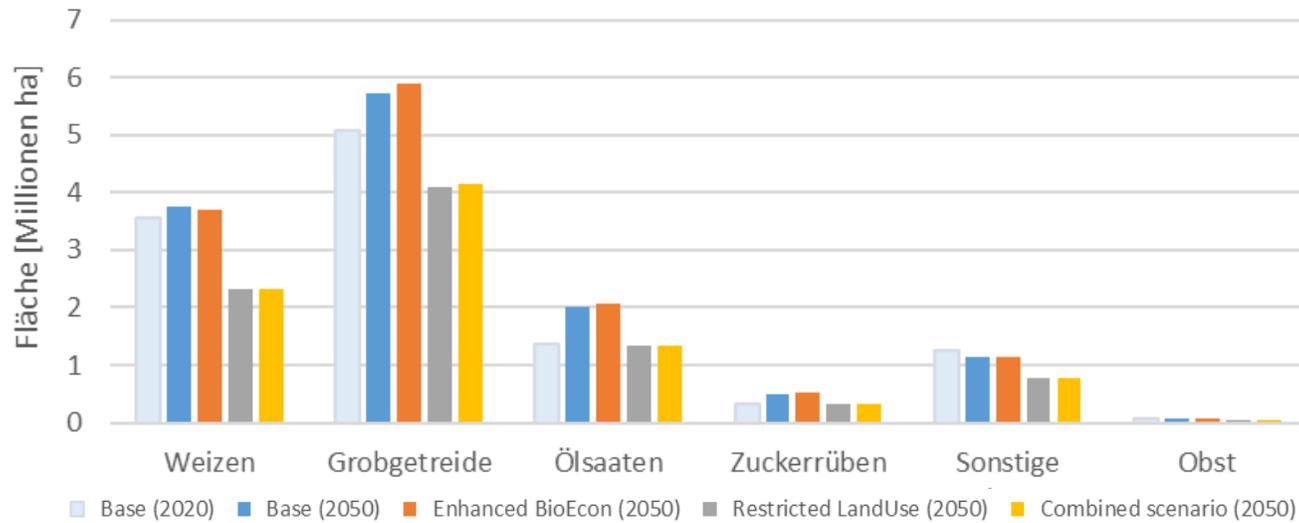
### Produktion



# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## LANDNUTZUNGSMODELLIERUNG

Flächenentwicklungen De

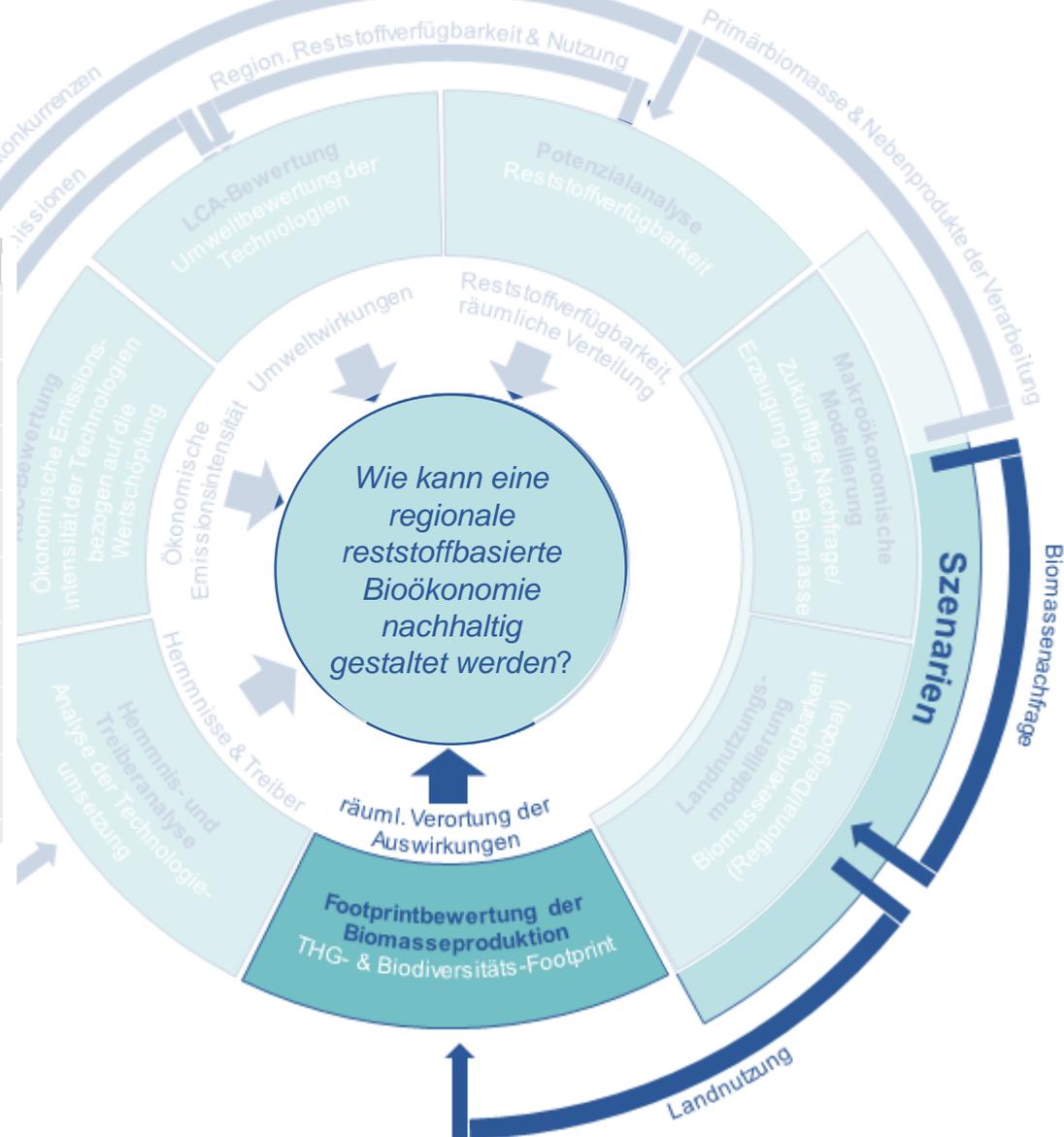
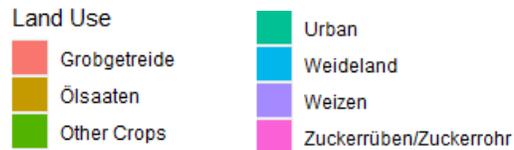
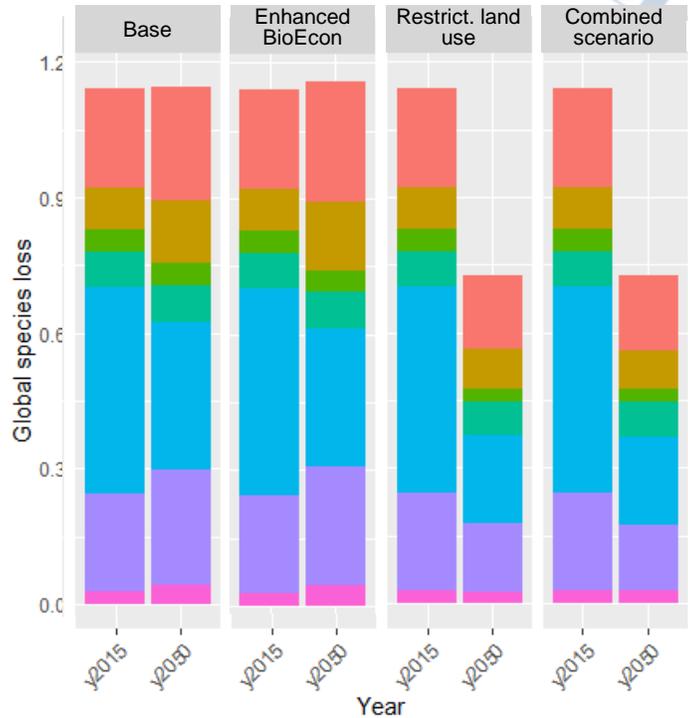


# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## FOOTPRINTBEWERTUNG - BIODIVERSITÄT

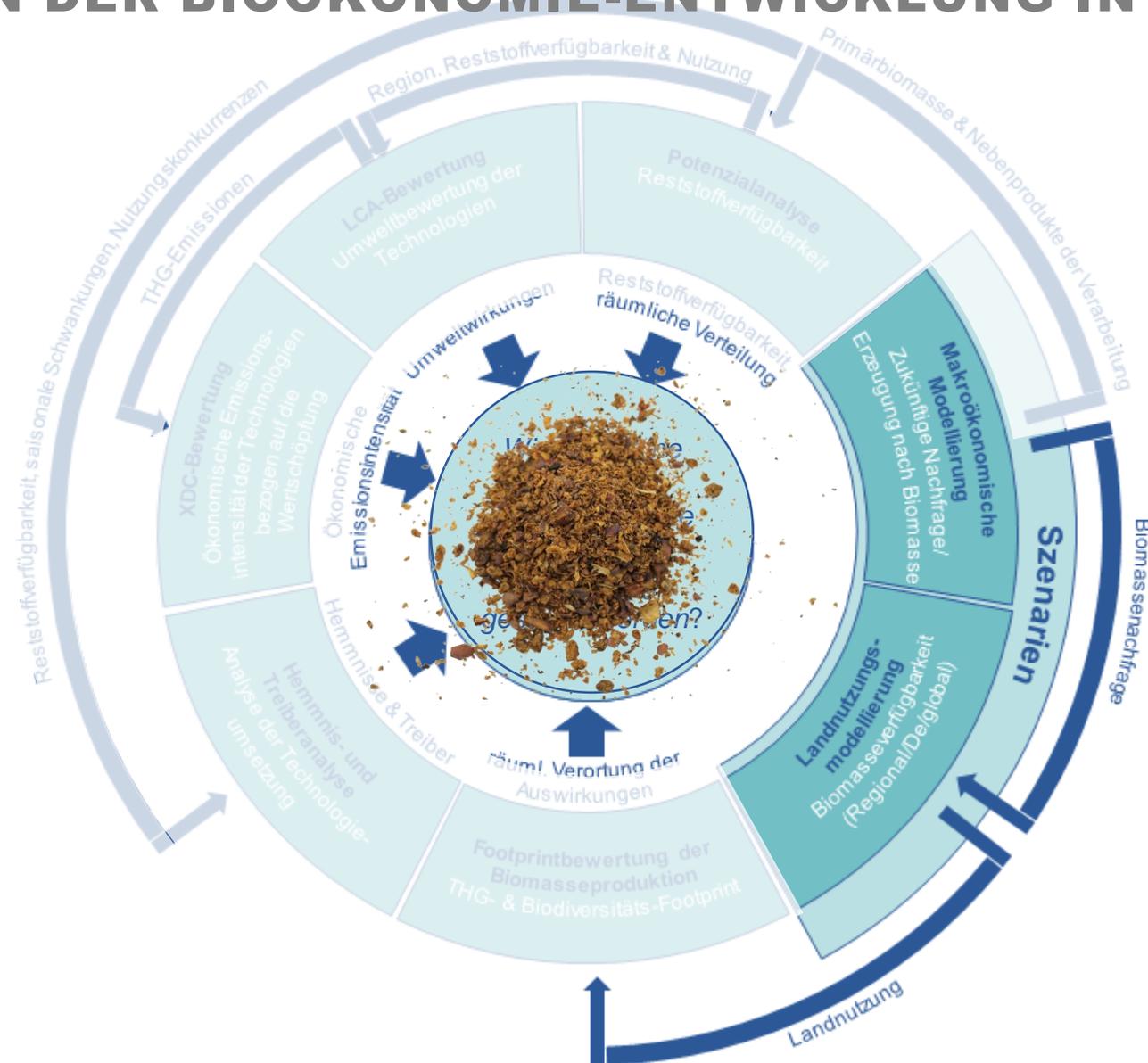
### Artenverlust

durch Landnutzung in Deutschland  
- gewichtet nach Verbreitungsgebieten -



# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

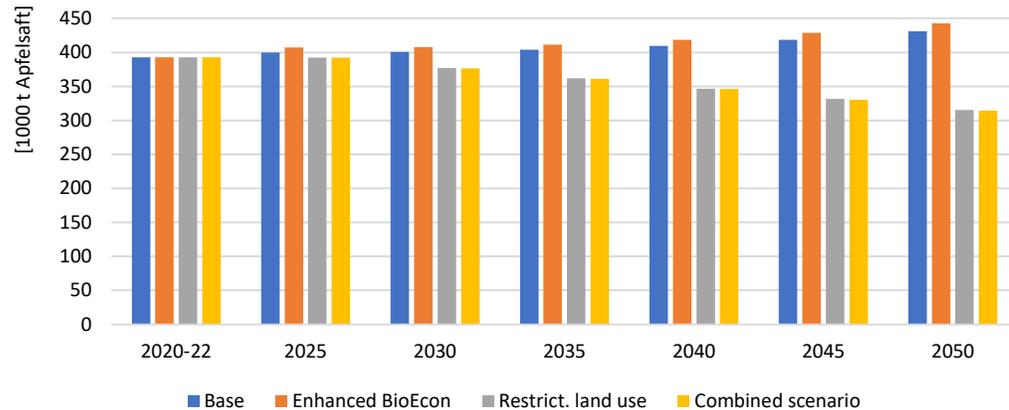
## SZENARIEN DER BIOÖKONOMIE-ENTWICKLUNG IN DE



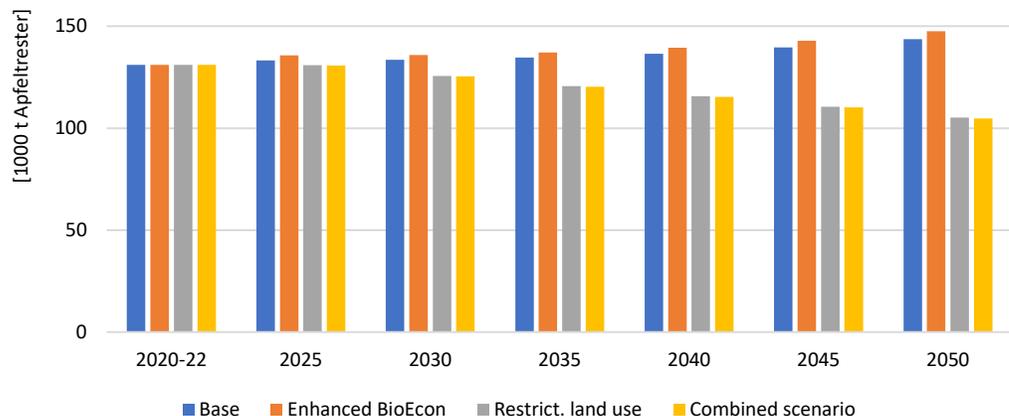
# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## MAKROÖKONOMISCHE MODELLIERUNG

### Apfelsaftproduktion in Deutschland und mögliche Entwicklungspfade



### Apfeltresterentstehung in Deutschland und mögliche Entwicklungspfade



### Methodik

- Ausgangspunkt: durchschnittliche Apfelsaftproduktion aus den Jahren 2020-2022
- Anwendung der Trends aus der Obstproduktion auf die Apfelsaftproduktion & Anwendung Reststofffaktor

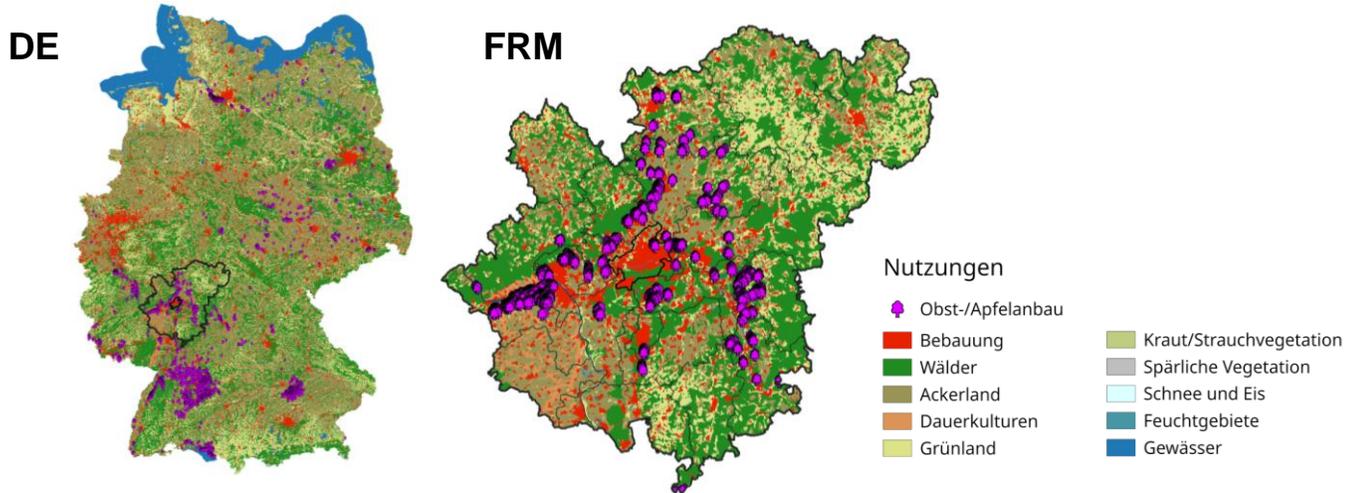
### Erkenntnisse

- Die Apfeltrester-Verfügbarkeit folgt direkt der Entwicklung der Apfelsaftproduktion
- Bevölkerungs- und wirtschaftliche Entwicklung führen im Baseline- und Bioeconomy-Szenario zu einer **Zunahme der Apfelsaft- und Apfeltrester-Produktion um 10 bzw. 13%**
- Restriktionen in der Flächennutzung führen im Restricted und Combined Szenario zu einer Abnahme der Apfelsaft- und Apfeltrester-Produktion um jeweils 20%

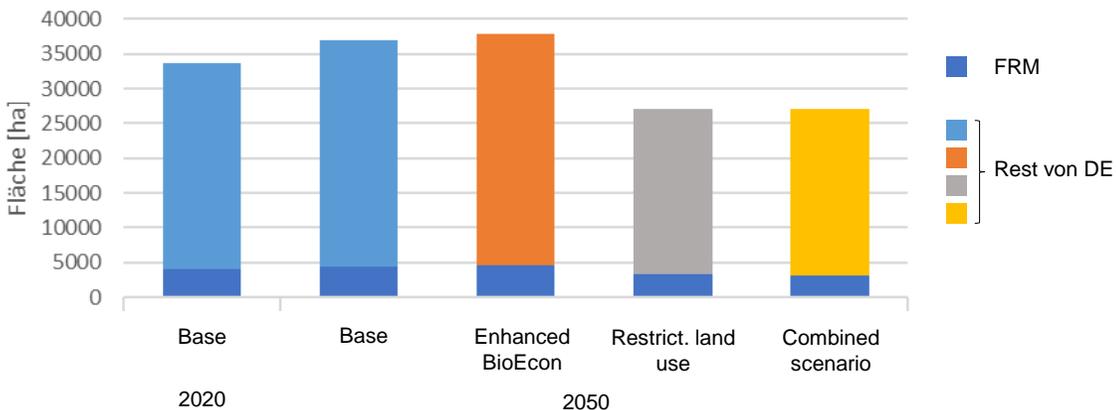
# 3 Fallbeispiel Apfeltrester

## LANDNUTZUNGSMODELLIERUNG

### Obst-/Apfelanbauflächen in DE und der Metropolregion FRM in 2018 (Corine)



### Entwicklung der Apfelanbauflächen in DE und der Metropolregion FRM 2020 vs. 2050



### Methodik

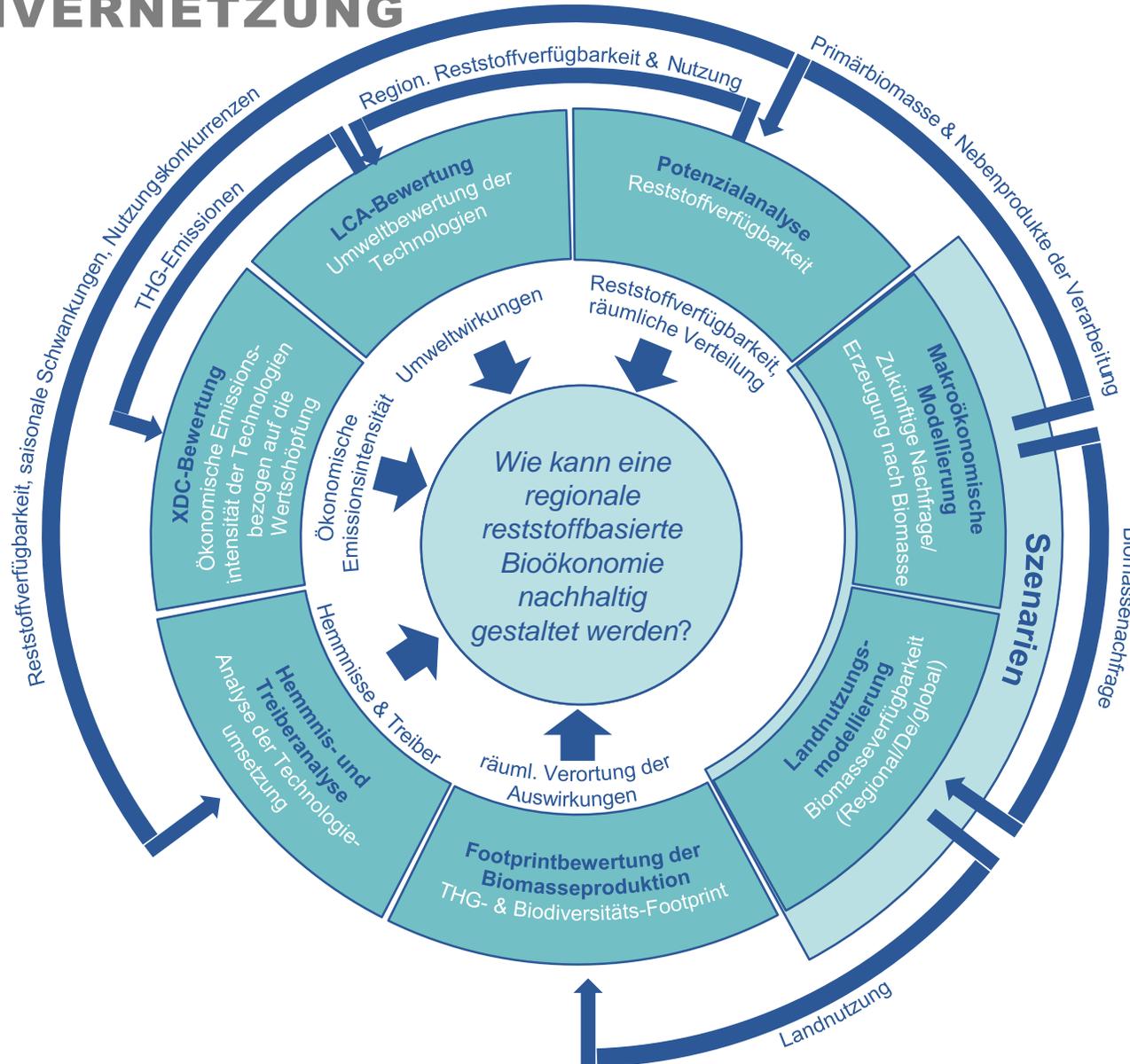
- Flächenentwicklung 1:1 aus Produktionsentwicklungen der Szenarien aus der makroökonomischen Modellierung (**Obst**) abgeleitet
- Ausgangspunkt: **Anbaufläche für Äpfel in Deutschland in 2024: ca. 33.000 ha**, davon überwiegend Plantagenanbau (BMEL-Statistik, Landwirtschaft.de)

### Erkenntnisse

- In der Metropolregion FRM liegt ein relevanter Teil der deutschen **Obst-/Apfelanbauflächen Deutschlands: ~8% der Obstanbauflächen**
- Im Baseline- und Bioeconomy Szenario nehmen die Obst-/ Apfelanbauflächen analog zur **Entwicklung der Apfelsaftproduktion um 10 bzw. 13% zu**.
- Im Restricted und Combined Szenario nehmen die Obst-/ Apfelanbauflächen analog zur Entwicklung der Apfelsaftproduktion um jeweils 20% ab.
- Apfelanbau in Deutschland ist hoch technisiert und effizient → geringes Potential für Ertragssteigerungen → **leichte Flächenzunahme in Szenarien mit Produktionszunahmen**

# 2 TransRegBio

## METHODENVERNETZUNG



# 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Durch die Mobilisierung von Reststoffen, die heute und zukünftig in **relevanten u. stabilen Mengen** anfallen

- Durch die **lokale Verwertung** räumlich kumuliert anfallender Reststoffe (AT in Südhessen)

- Durch Nutzung von Reststoffen aus **Nutzungspfaden mit geringen Umweltwirkungen** u. abnehmenden Nutzungskonkurrenzen (AT aus Tierfuttermarkt)

*Wie kann eine regionale reststoffbasierte Bioökonomie nachhaltig gestaltet werden?*

- Durch Umsetzung der identifizierten **Ecodesignmaßnahmen** und weiterer Prozessoptimierung während der Entwicklungs- und Implementierungsphase

- Durch den **Abbau von Hemmnissen**, damit bspw. auch Bioabfälle genutzt werden können



# DANKE



Tel.: +49 6151 / 16 20734  
Franziska-Braun-Str. 7, 64287 Darmstadt  
Gebäude L| 501 Raum 329  
[a.gueldemund@iwar.tu-darmstadt.de](mailto:a.gueldemund@iwar.tu-darmstadt.de)  
[v.zeller@iwar.tu-darmstadt.de](mailto:v.zeller@iwar.tu-darmstadt.de)

