



# THG-Reduktionspotential im Kanton Luzern durch Substitution von Mineraldüngern mit Hof- und Recyclingdüngern

05.11.2025, 5. Forschungstag der Schweizer Gaswirtschaft

Michael Studer *et al.*

# Zielsetzung des Projekts

- ▶ Untersuchung des **Einsparpotentials von Treibhausgasemissionen** im Kanton Luzern durch die anaerobe Vergärung von Hofdüngern
  - ▶ in grossen (Szenario 2)
  - ▶ bzw. kleinen, dezentralen Biogasanlagen (Szenario 3)
- ▶ Ermittlung der Standorte potenzieller Biogasanlagen unter Berücksichtigung der
  - ▶ örtlichen Verteilung des Substrats
  - ▶ Mindestmengen an Substrat
  - ▶ Maximalen Transportdistanzen
- ▶ Evaluation der **Substitution von Mineraldünger**
  - ▶ Abbildung der heutigen Situation bzgl. Nährstoffbedarf (Szenario 1)
  - ▶ Berücksichtigung der höheren Pflanzenverfügbarkeit von Stickstoff in Gärgülle

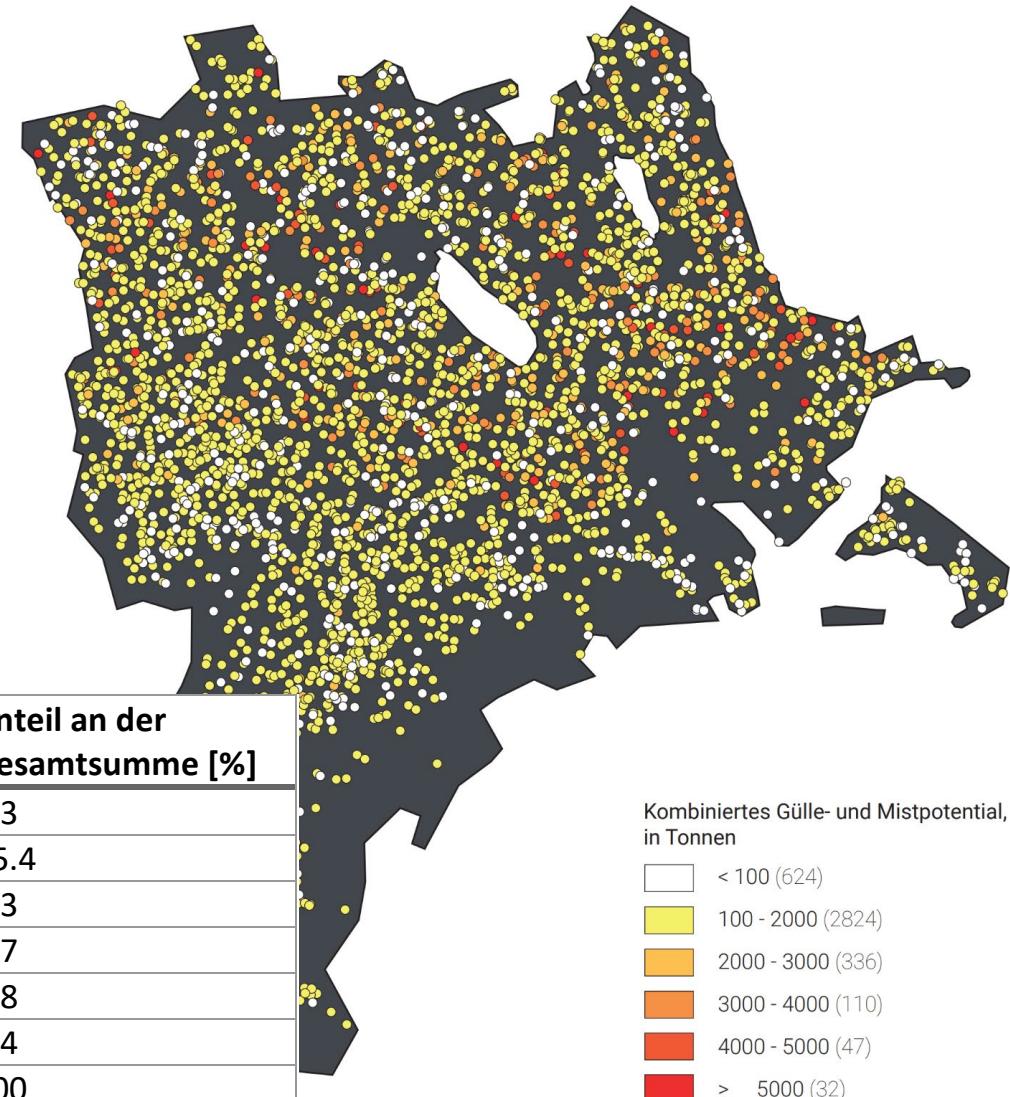
# Hofdüngeranfall und Anzahl potenzieller Biogasanlagen

# Hofdüngeranfall im Kanton Luzern

- ▶ 4'005 Betriebe im Kt LU
- ▶ 4.5 Mio. t Gülle und Mist
- ▶ Die meisten Betriebe haben weniger als 2'000 t Hofdünger pro Jahr

Kombiniertes Gülle- und Mistpotential

Pro Betrieb im Kanton Luzern



# Nährstoffanfall im Kanton Luzern

## ► Aufsummierung des:

- + Hofdüngerpotential \* Nährstoffgehalte
- + HODUFLU-Daten

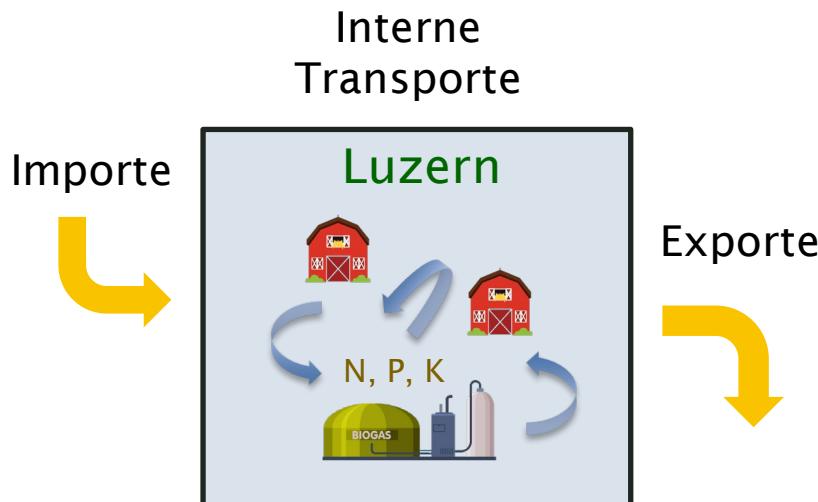
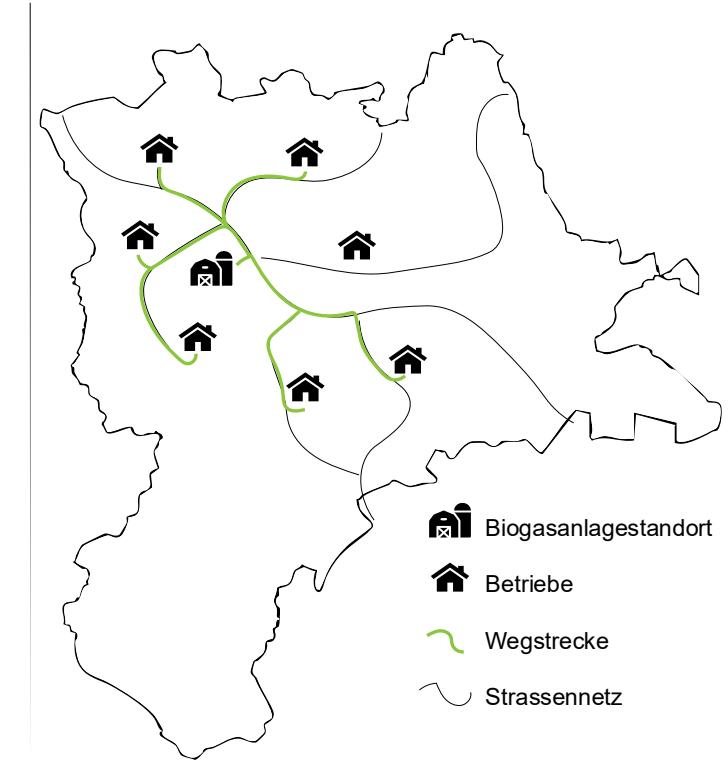


Tabelle 6 | Richtwerte der Gehalte an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS) und Nährstoffen von Hofdüngern verschiedener Nutztierarten bei Stallhaltung.

Tierart/Hofdüngerart	Gehalte (kg/m <sup>3</sup> unverdünnte Gülle bzw. kg/t Mist)										
	TS	OS	N <sub>tot</sub> <sup>3</sup>	N <sub>lös</sub> <sup>3</sup>	N <sub>verf</sub> <sup>3</sup>	P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	K <sub>2</sub> O	Mg	Ca
<b>Kühe/Rindviehaufzucht</b>											
Vollgülle <sup>1</sup>	90	70	3,9	2,1	2,0–2,7	0,74	1,7	6,2	7,5	0,61	1,5
Gülle, kotarm <sup>1</sup>	75	40	4,5	2,9	2,9–3,8	0,47	1,1	9,0	11	0,58	1,0
Stapelmist <sup>2</sup>	190	150	4,5	0,7	0,9–1,8	1,3	3,0	5,1	6,1	0,93	3,0
Laufstallmist <sup>2</sup>	210	175	4,9	1,2	1,2–2,5	0,94	2,2	8,4	10	0,82	2,2
<b>Rindviehmast</b>											
Vollgülle <sup>1</sup>	90	65	4,0	2,1	2,0–2,8	0,55	1,3	3,7	4,5	0,37	1,2
Laufstallmist <sup>2</sup>	210	155	4,1	1,0	1,0–1,8	0,57	1,3	4,4	5,3	0,42	1,5
<b>Kälber</b>											
Kälbermist <sup>2</sup>	200	150	5,0	1,9	1,3–2,5	1,1	2,5	4,7	5,7	0,89	1,7
<b>Pferde</b>											
Pferdemist, frisch <sup>2</sup>	350	300	4,4	1,2	0,3–0,8	1,1	2,5	8,1	9,8	0,6	2,5
Pferdemist <sup>2</sup>	350	240	6,8	0,7	0,7–1,8	2,2	5,0	16,2	19	1,3	5,0
<b>Schafe/Ziegen</b>											
Schaf-/Ziegenmist <sup>2</sup>	270	200	8,2	2,4	3,3–4,9	1,6	3,7	14	17	1,3	4,9
<b>Schweine</b>											
Schweinegülle Mast <sup>1,4</sup>	50	36	6,5	4,6	3,3–4,6	1,4	3,2	3,0	3,6	0,88	2,1
Schweinegülle Zucht <sup>1,5</sup>	50	33	4,7	3,3	2,4–3,4	1,2	2,7	2,5	3,0	0,56	1,5
Schweinemist <sup>2</sup>	270	230	8,8	2,6	3,5–5,3	2,9	6,6	6,0	7,3	1,5	5,0

# Abschätzung der Anzahl Biogasanlagen für die verschiedenen Szenarien

- ▶ Entwicklung eines Skripts zur Verteilung der Hofdünger auf die Biogasanlagen
- ▶ Vorgehen:
  - ▶ Beginnend bei den grössten Höfen
  - ▶ Mit Hofdünger der ‘kleineren Höfen’ auffüllen, beginnend bei dem nächstgelegenen Betrieb [km] bis minimale Grösse [t/a] erreicht ist
  - ▶ Minimierung der Transportdistanz
- ▶ -> *Anzahl Biogasanlagen*
- ▶ -> *Menge an Hofdünger pro Biogasanlage*
- ▶ -> *Menge an N und P pro Biogasanlage*



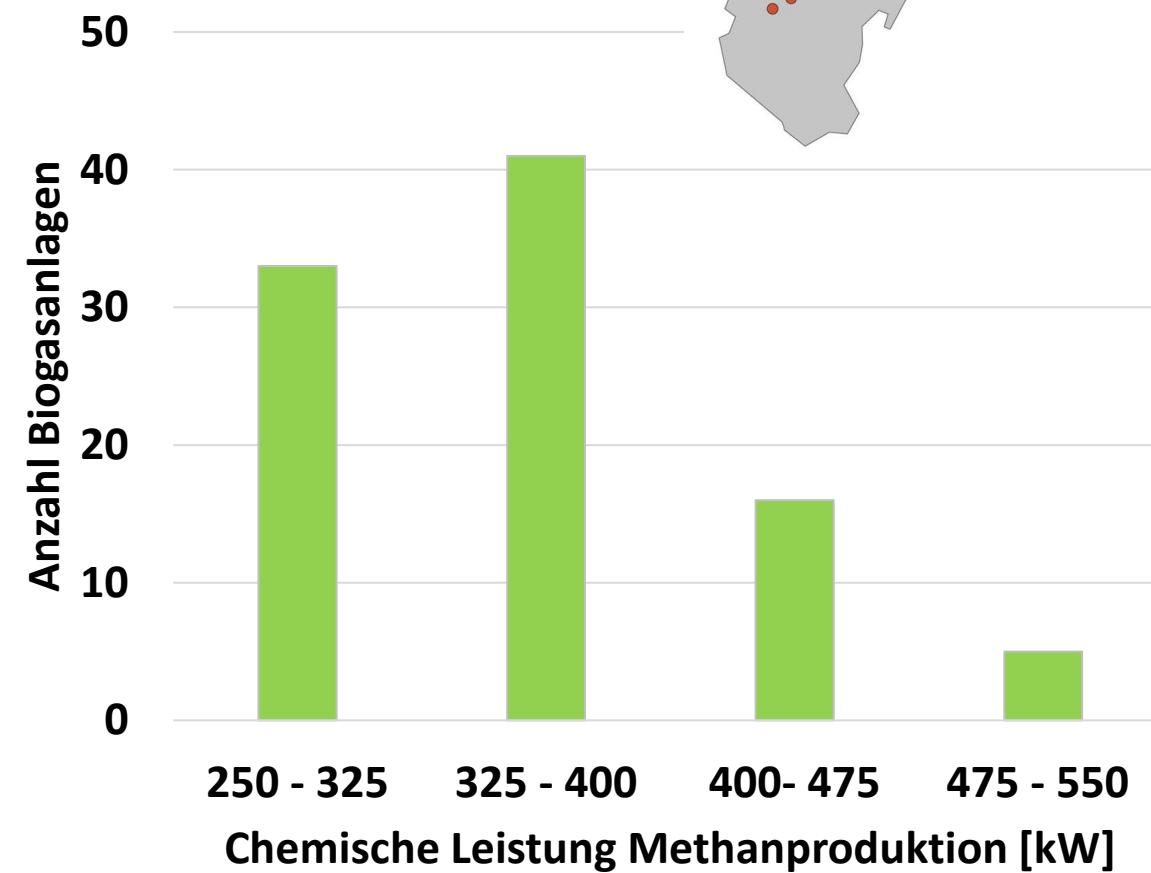
# Parameter zur Modellierung

Parameter	Szenario 2 – grosse Anlagen	Szenario 3 – kleine Anlagen
Zielmenge an Hofdünger für eine Biogasanlage	40'000 – 45'000 t	2'000 – 5'000 t
Minimale Menge an eigenem Hofdünger für Standort Biogasanlage	500 t Mist oder 1'000 m <sup>3</sup> Gülle	200 t Mist oder 500 m <sup>3</sup> Gülle
Maximal erlaubte Strassendistanz zwischen Betrieb und Biogasanlage	15 km	5 km
Masse pro Transport	20 t Mist oder 25 m <sup>3</sup> Gülle	20 t Mist oder 25 m <sup>3</sup> Gülle
Minimale Anzahl Transporte pro Jahr	6	6



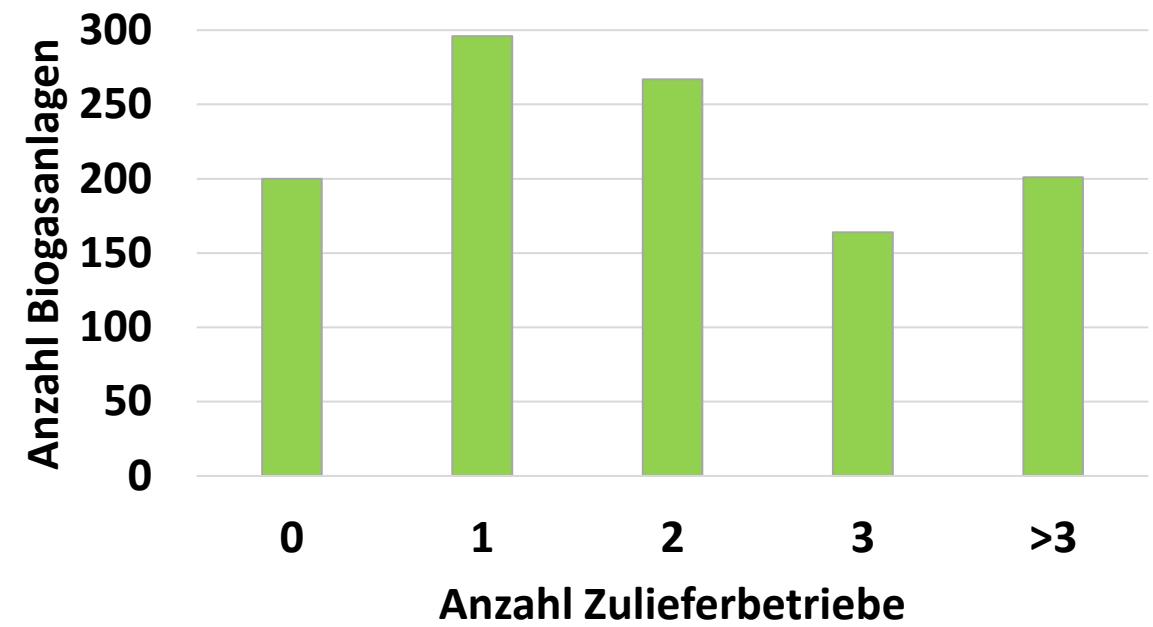
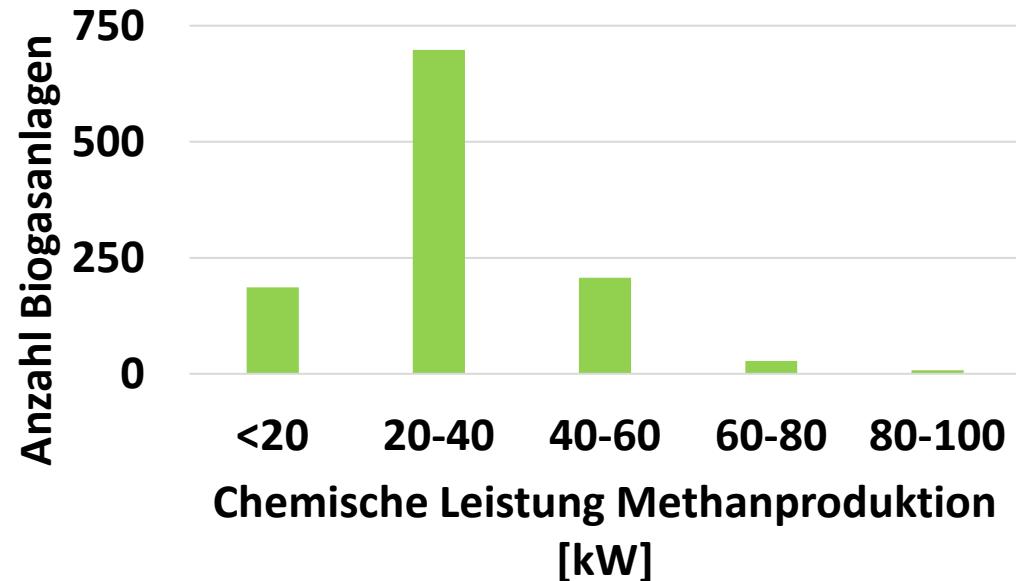
## Szenario 2

- ▶ **95 Biogasanlagen**
  - ▶ 95% der Hofdünger werden vergoren
  - ▶ 30 Mio. Nm<sup>3</sup> (1'178 TJ = 327 GWh) Methan pro Jahr
- ▶ Durchschnittliche Anlagenparameter:
  - ▶ 44'667 t/a Hofdünger
  - ▶ 36 Zuliefererbetriebe (18 – 83)
  - ▶ 395 kW chemische Leistung



# Szenario 3

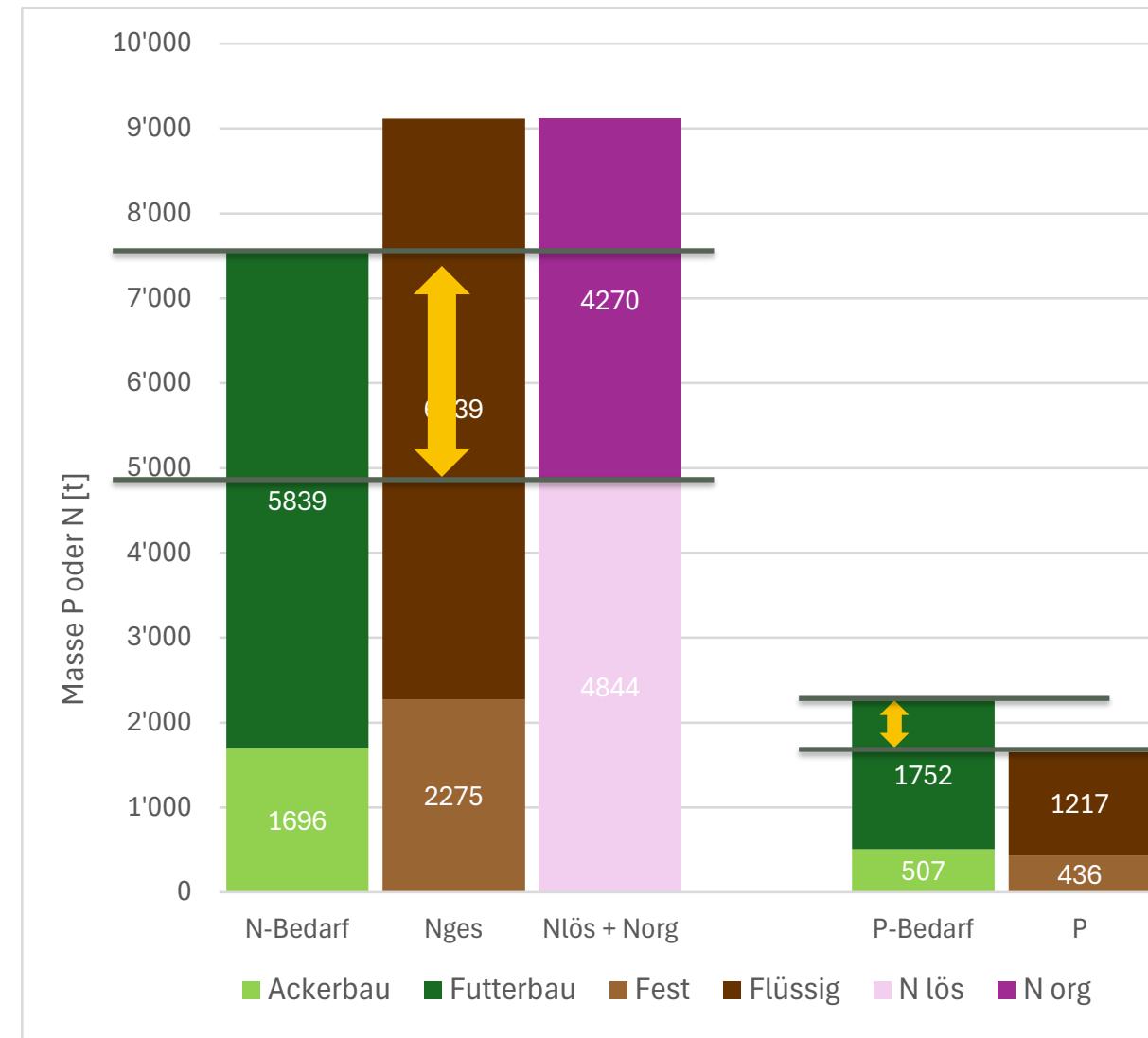
- ▶ **1'128 Biogasanlagen**
  - ▶ 98% der Hofdünger werden vergoren
- ▶ Durchschnittliche Anlagenparameter:
  - ▶ 3'820 t/a Hofdünger
  - ▶ 35 kW chemische Leistung



# Nährstoffdeckung und potenzielle Substitution von Mineraldünger

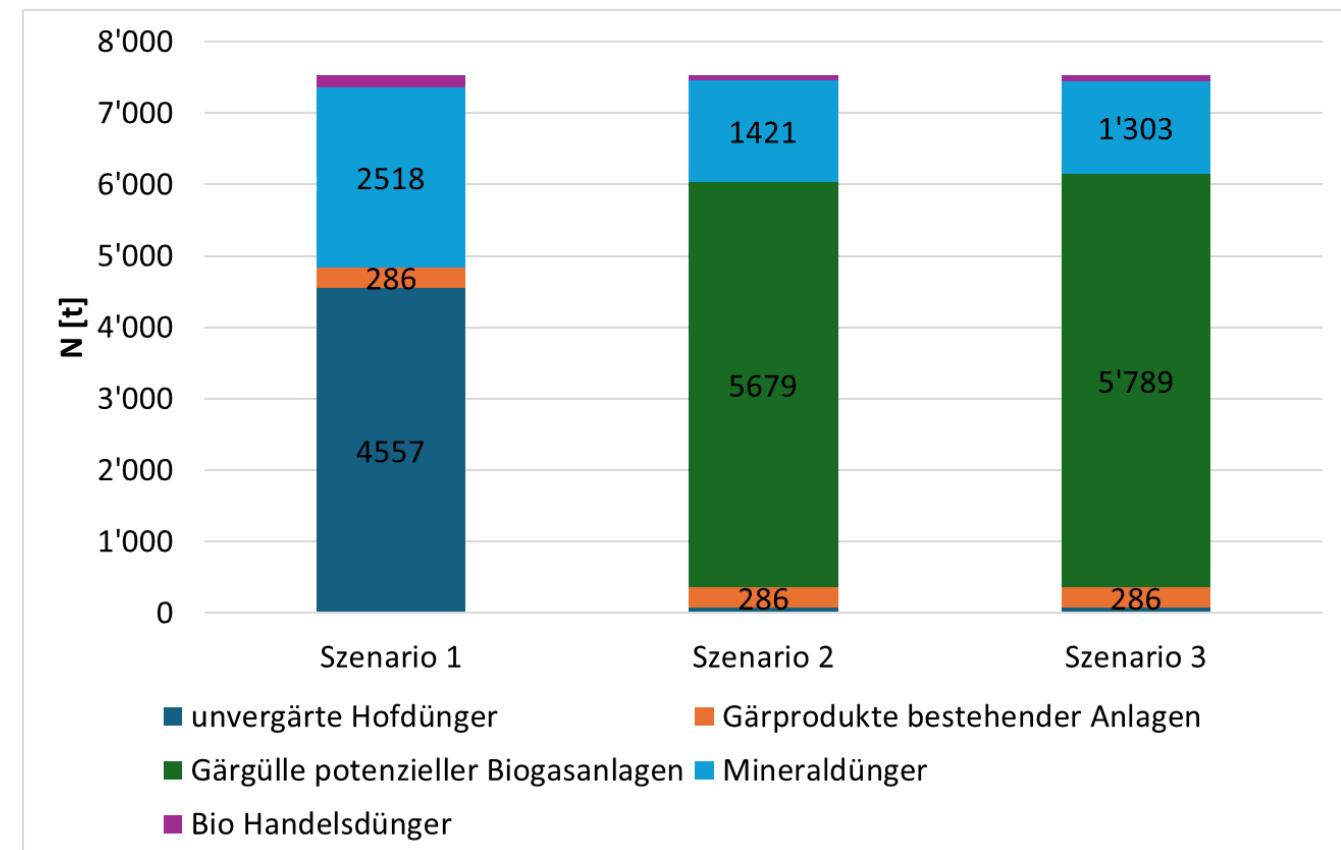
# Heutige Nährstoffdeckung der Kulturen (Szenario 1)

- Der Stickstoffbedarf der Kulturen wird in der verwendeten Düneplanung nur über  $N_{lös}$  gedeckt!
- Sowohl für N als auch für P ein Bedarf für weitere Düngemittel



# Stickstoffdeckung der Kulturen in Szenario 2 und 3

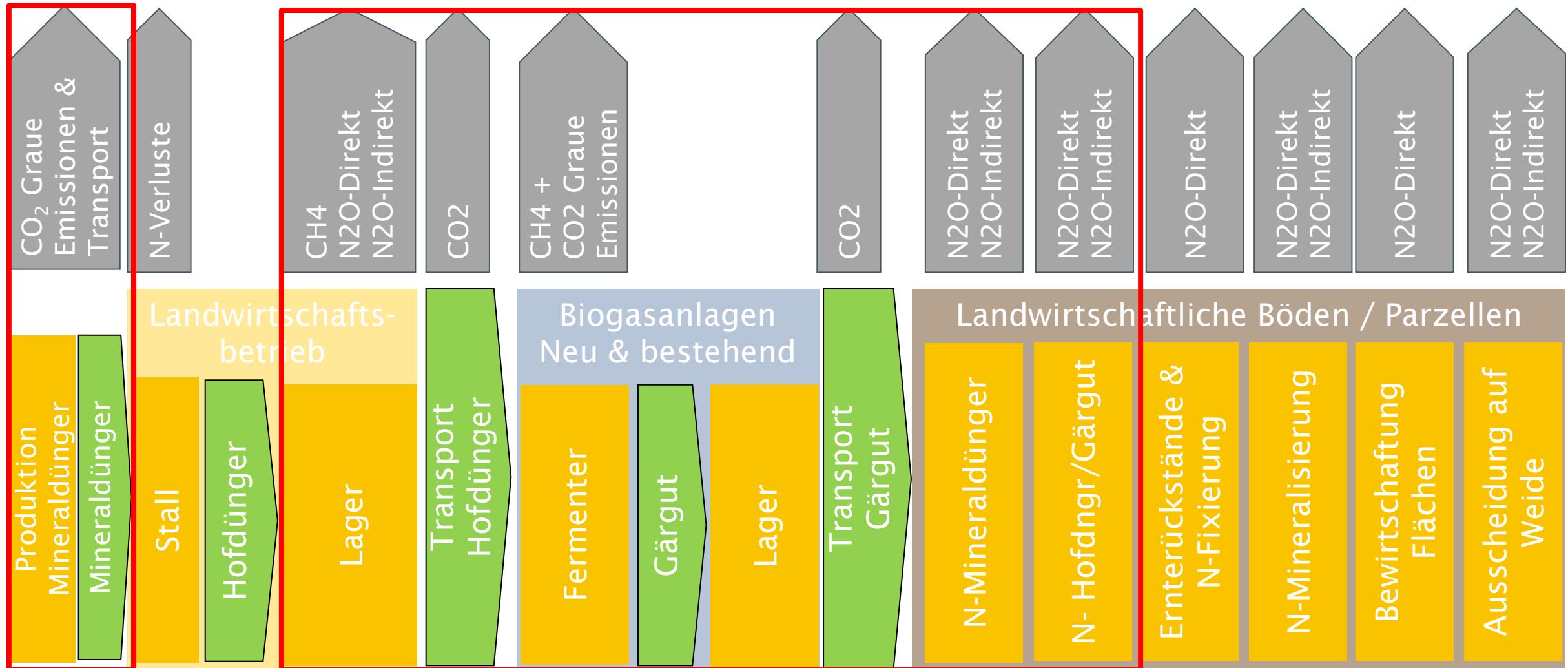
- ▶ Ca. 30% des N<sub>org</sub> wird in der AD zu N<sub>lös</sub> mineralisiert
- ▶ -> ein grösserer Teil des Stickstoffbedarfs kann gedeckt werden -> der Bedarf an Mineraldünger sinkt
- ▶ 75.4% des N können mit Hofdünger versorgt werden
- ▶ Bedarf an N-Mineraldünger sinkt um 1'097 t oder 44% (Szenario 2) bzw. 1'232 t, 48% (Szenario 3)



# Treibhausgasemissionen



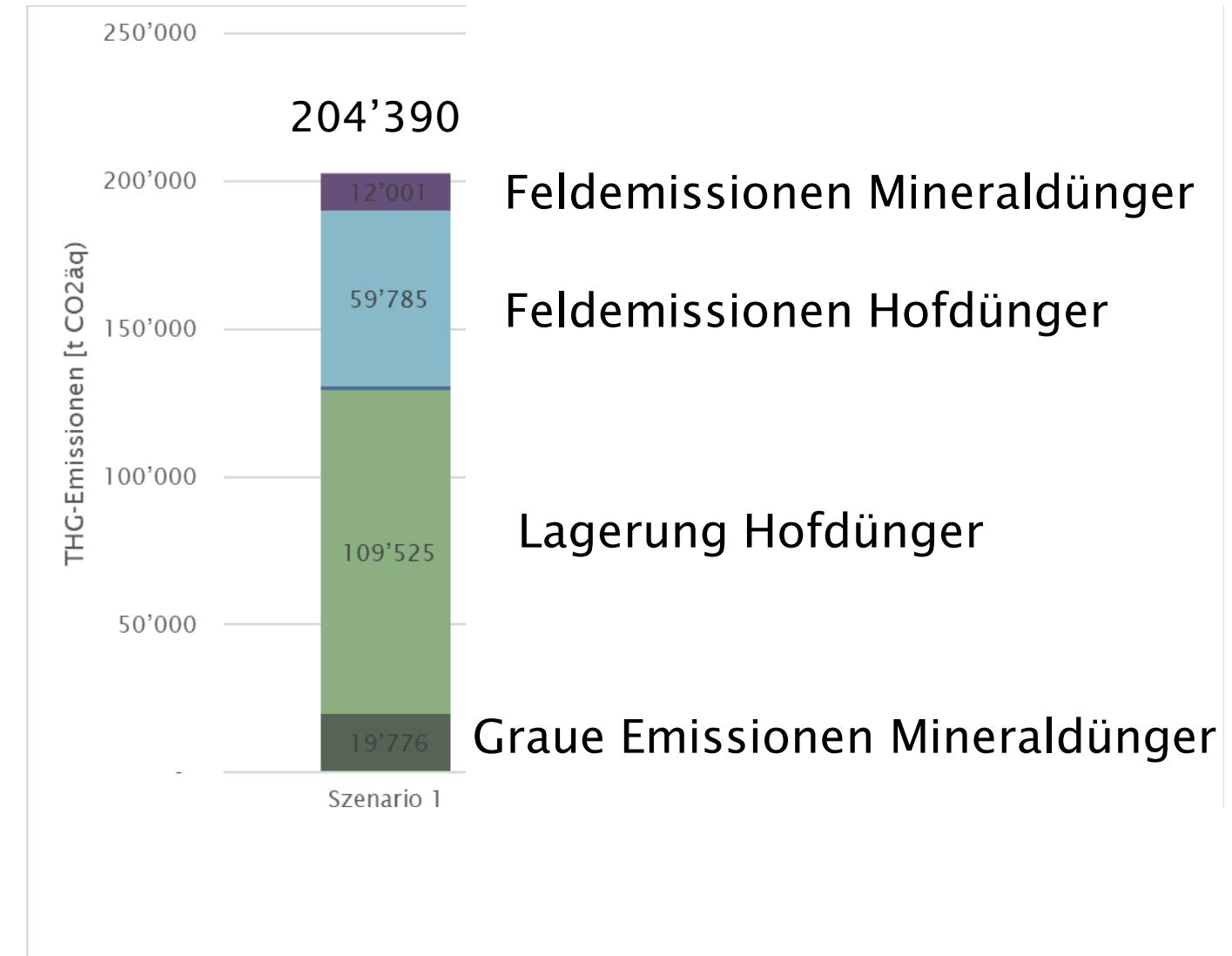
# Systemgrenzen für THG-Abschätzung Szenario 2 und 3





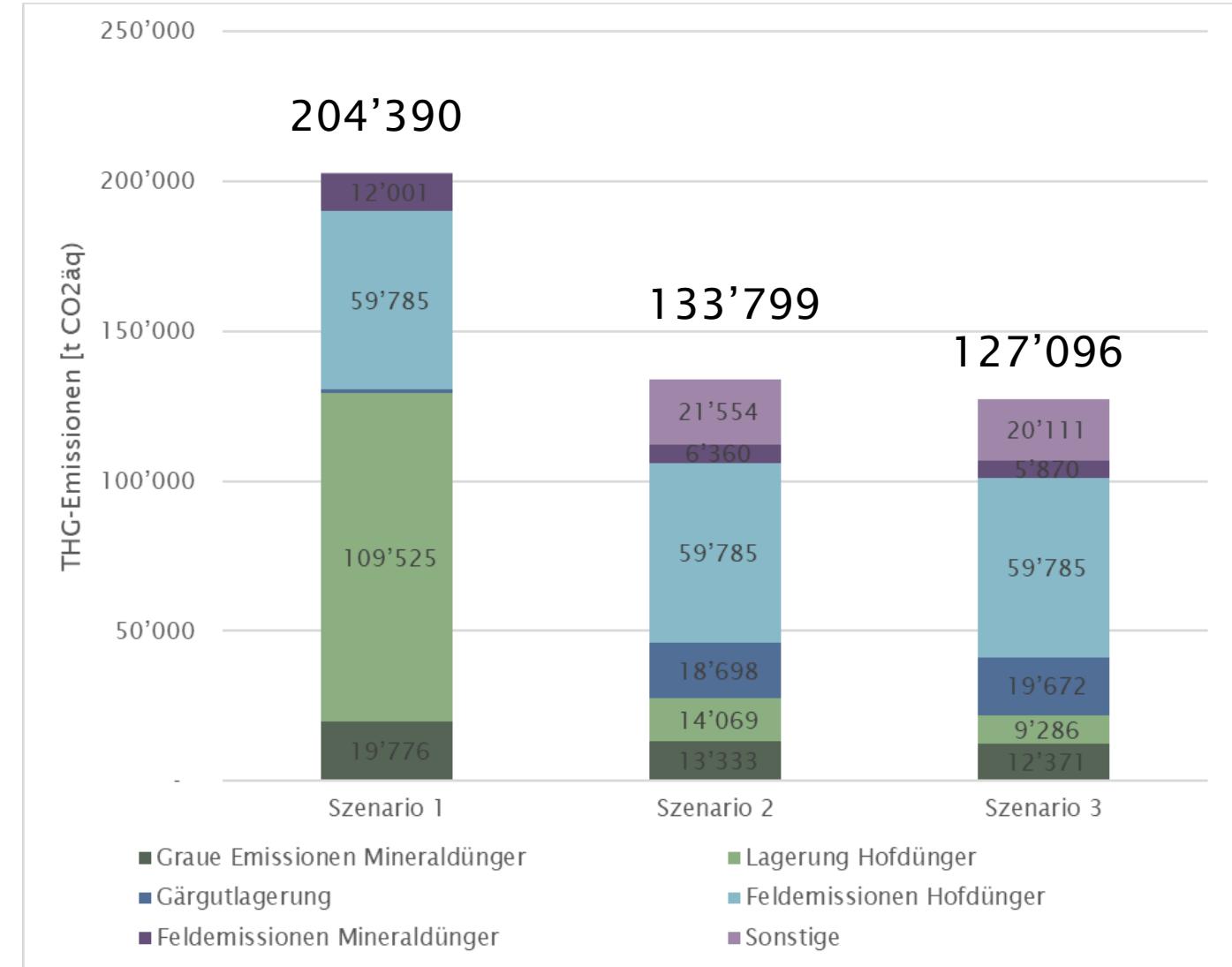
# THG-Emissionen heute

- Während der Lagerung der Hofdünger werden am meisten THG emittiert



# THG-Emissionen der 3 Szenarien

- ▶ THG-Emissionen könnten um > 35 % gesenkt werden
- ▶ Reduktion durch verkürzte Hofdüngerlagerung
- ▶ Feldemissionen bleiben konstant
- ▶ Neue Emissionen durch Gärgutlagerung (3% vom BMP) und Leckagen Biogasanlagen (2% vom BMP)





# Vergleich der THG-Emissionen der drei Szenarien

Prozess	Szenario 1 (t CO <sub>2</sub> äq)	Szenario 2 (t CO <sub>2</sub> äq)	Szenario 3 (t CO <sub>2</sub> äq)
Graue Emissionen Biogasanlagen Neu	-	5'471	5'532
Graue Emissionen Biogasanlagen Bestehend	17	17	17
Graue Emissionen Mineraldünger	19'776	<b>- 37%, - 7'400 t</b>	12'371
Lagerung Hofdünger	109'525	<b>- 92%, - 100'000 t</b>	9'286
Transport	-	3'601	1'449
Feldemissionen Hofdünger	59'785	59'785	59'785
Emissionen Vergärung	735	<b>+ 12'400 t</b>	13'114
Emissionen Lagerung Gärgut	1'103	<b>+ 18'500 t</b>	19'672
Feldemissionen Mineraldünger	12'001	6'360	5'870
Summe	204'390	133'799	127'096

# Kostenabschätzung für die Vermeidung der Treibhausgasemissionen

# Abschätzung der *Kosten für die Vermeidung* von THG-Emissionen

	Szenario 3	Szenario 2	Szenario 2
Parameter	Kleine Biogasanlage BHKW	Grosse Biogasanlage - BHKW	Grosse Biogasanlage – Einspeisung Biomethan
<b>Anlagenparameter</b>			
$V_{\text{Hofdünger}}$	3'821 m <sup>3</sup> /a	44'667 m <sup>3</sup> /a	44'667 m <sup>3</sup> /a
$V_{\text{Fermenter}}$	628 m <sup>3</sup>	7'343 m <sup>3</sup>	7'343 m <sup>3</sup>
Methanertrag	27'672 m <sup>3</sup> /a	311'425 m <sup>3</sup> /a	311'425 m <sup>3</sup> /a
Bruttoenergie $E_{\text{chem}}$	276'260 kWh/a	3'114'252 kWh/a	3'425'677 kWh/a
Wirkungsgrad BHKW	29 %	37 %	n.a.
Leistung BHKW	9 kW	132 kW	n.a.
Stromertrag	80'276 kWh/a	1'152'273 kWh/a	n.a.
Vermiedene THG-Emissionen	67.2 t CO <sub>2</sub> äq/a	728 t CO <sub>2</sub> äq/a	728 t CO <sub>2</sub> äq/a

Parameter	Kleine Biogasanlage BHKW	Grosse Biogasanlage - BHKW	Grosse Biogasanlage – Einspeisung Biomethan
<b>Kosten</b>			
Investition Fermenter und bauliche Massnahmen	530'000 CHF	3'700'000 CHF	3'700'000 CHF
Investition BHKW	70'000 CHF	300'000 CHF	n.a.
Investition Gasaufreinigung	n. a.	n. a..	650'000 CHF
Investitionskostenbeitrag	n. a.	n. a.	355'508 CHF
Abschreibungen	33'500 CHF/a	215'000 CHF/a	232'225 CHF/a
Zinsen Fremdkapital	18'000 CHF/a	120'000 CHF/a	119'835 CHF/a
Unterhalt Anlage (inkl. Stromverbrauch Aufreinigung)	16'050 CHF/a	104'500 CHF/a	146'494 CHF/a
Arbeitszeit für Betrieb	1 h/d	4 h/d	4 h/d
Lohnkosten Betrieb	14'600 CHF/a	58'400 CHF/a	58'400 CHF/a
Transportkosten	638 CHF/a	48'380 CHF/a	48'380 CHF/a
<b>Kosten total</b>	<b>81'783 CHF/a</b>	<b>546'280 CHF/a</b>	<b>605'333 CHF/a</b>



Parameter	Kleine Biogasanlage BHKW	Grosse Biogasanlage - BHKW	Grosse Biogasanlage – Einspeisung Biomethan
<b>Erlös</b>			
Stromerlös	40'138 CHF/a	449'387 CHF/a	n. a.
Methanerlös	n. a.	n. a.	513'852 CHF/a
<b>Bilanz</b>			
Gewinn / Verlust	-41'644 CHF/a	-96'893 CHF/a	-91'482 CHF/a
Stromgestehungskosten	1.02 CHF/kWh	0.47 CHF/kWh	n. a.
Methangestehungskosten	n. a.	n. a.	0.18 CHF/kWh
Kosten THG-Vermeidung	798 CHF/t CO <sub>2</sub> äq	243 CHF/t CO <sub>2</sub> äq	235 CHF/t CO <sub>2</sub> äq

# Schlussfolgerung



# Schlussfolgerung

- ▶ Durch die vermehrte Vergärung von Hofdünger kann der Bedarf an N-Mineraldünger ca. halbiert werden
- ▶ Die Vergärung der Hofdünger ist eine wirkungsvolle Klimaschutzmassnahme
  - ▶ Im Kanton Luzern könnten bis zu 75'000 t CO<sub>2</sub>äq (13% der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen) eingespart werden
    - ▶ Die Verminderung der Emission durch Reduktion der Hofdünger-Lagerungsdauer ist dabei der grösste Einflussfaktor
    - ▶ Die THG-Einsparung durch Reduktion des Mineraldünger-Einsatz hat einen geringen Einfluss
  - ▶ Zur Erreichung des Netto-Null 2050 Ziels müssen die verbleibenden THG-Emissionen durch negative Emissionstechnologien (NET) ausgeglichen werden
    - ▶ Mit den heutigen Subventionen müssten CO<sub>2</sub>-Zertifikate für ca. 800 bzw. 240 CHF/t CO<sub>2</sub>äq verkauft werden
    - ▶ Direct air capture (Climeworks) kostet heute ca. 1'000 CHF / t CO<sub>2</sub>