



# 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

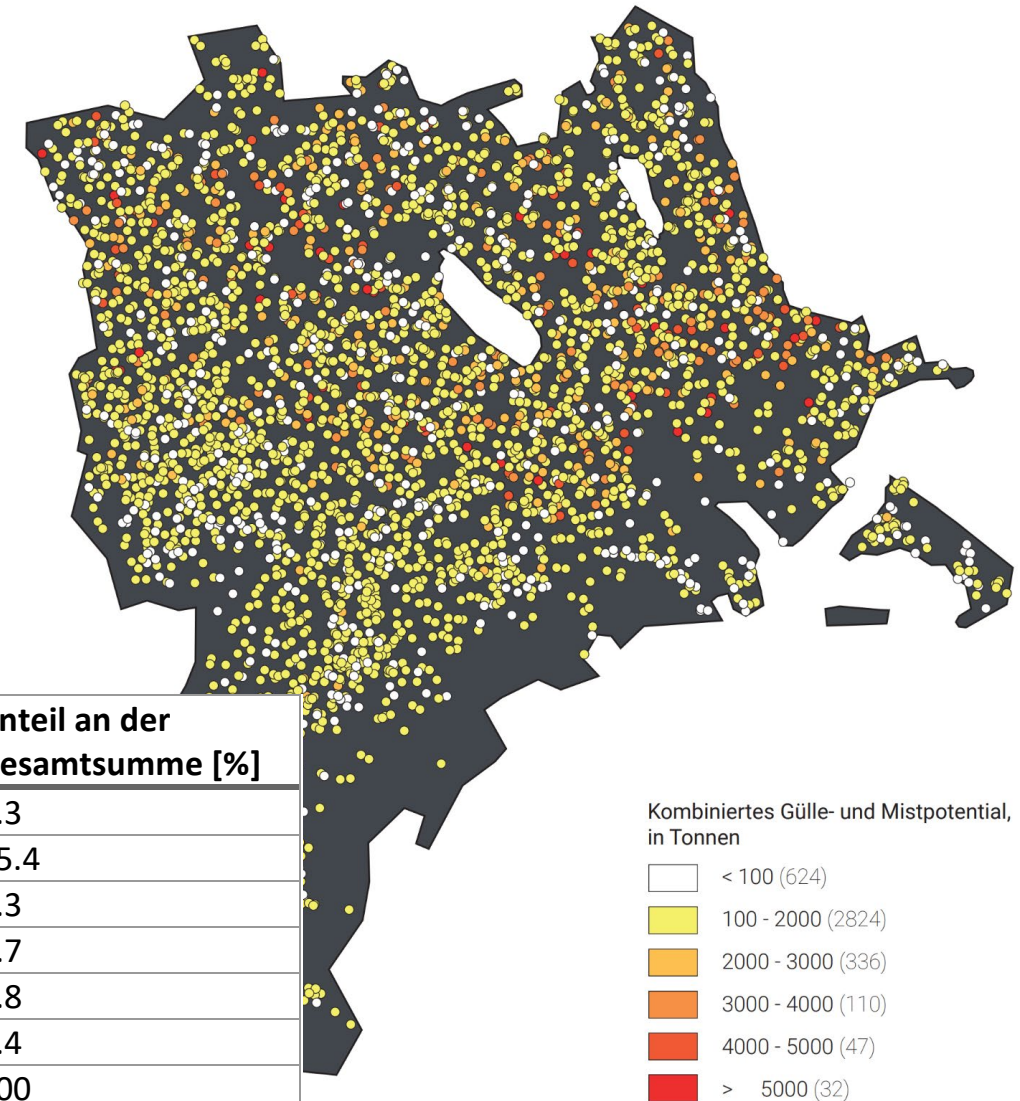


# Hofdüngeranfall im Kanton Luzern

Kombiniertes Gülle- und Mistpotential  
Pro Betrieb 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

Grössenkatgorie [t]	Summe Gülle- und Mistpotential	Anteil an der Gesamtsumme [%]	Anzahl Betriebe	Anteil an der Gesamtsumme [%]
0-100	14'046	0.3	336	8.3
100 - 2000	2'380'514	52.7	3019	75.4
2000 - 3000	922'971	20.4	374	9.3
3000 - 4000	500'726	11.1	147	3.7
4000 - 5000	316'861	7.0	71	1.8
> 5000 t	380'346	8.4	58	1.4
Summe	4'515'465	100	4005	100

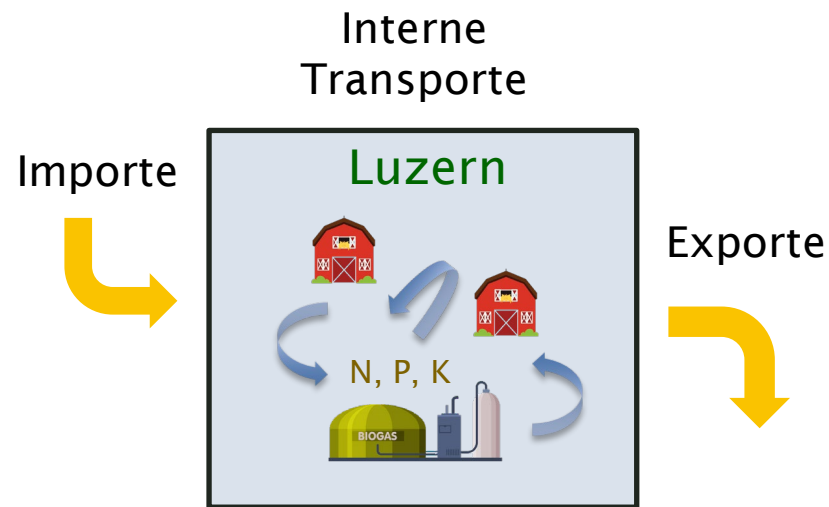


# Nährstoffanfall im Kanton Luzern

- Aufsummierung des:
  - + Hofdüngerpotential \* Nährstoffgehalte
  - + HODUFLU-Daten

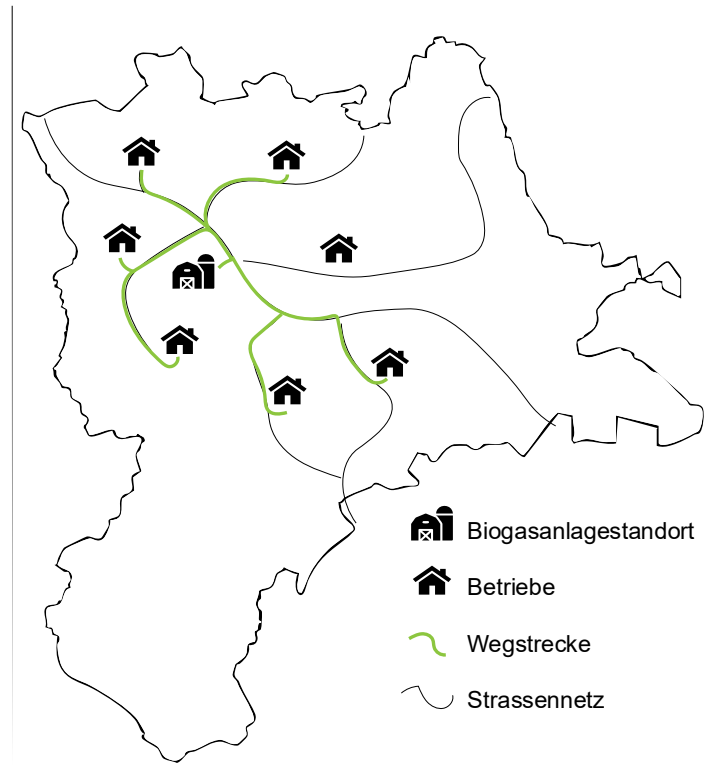
Tabelle 6 | Richtwerte der Gehalte an Trockensubstanz (TS), organischer Substanz (OS) und Nährstoffen von Hofdüngern verschiedener Nutztierarten bei Stallhaltung.

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*



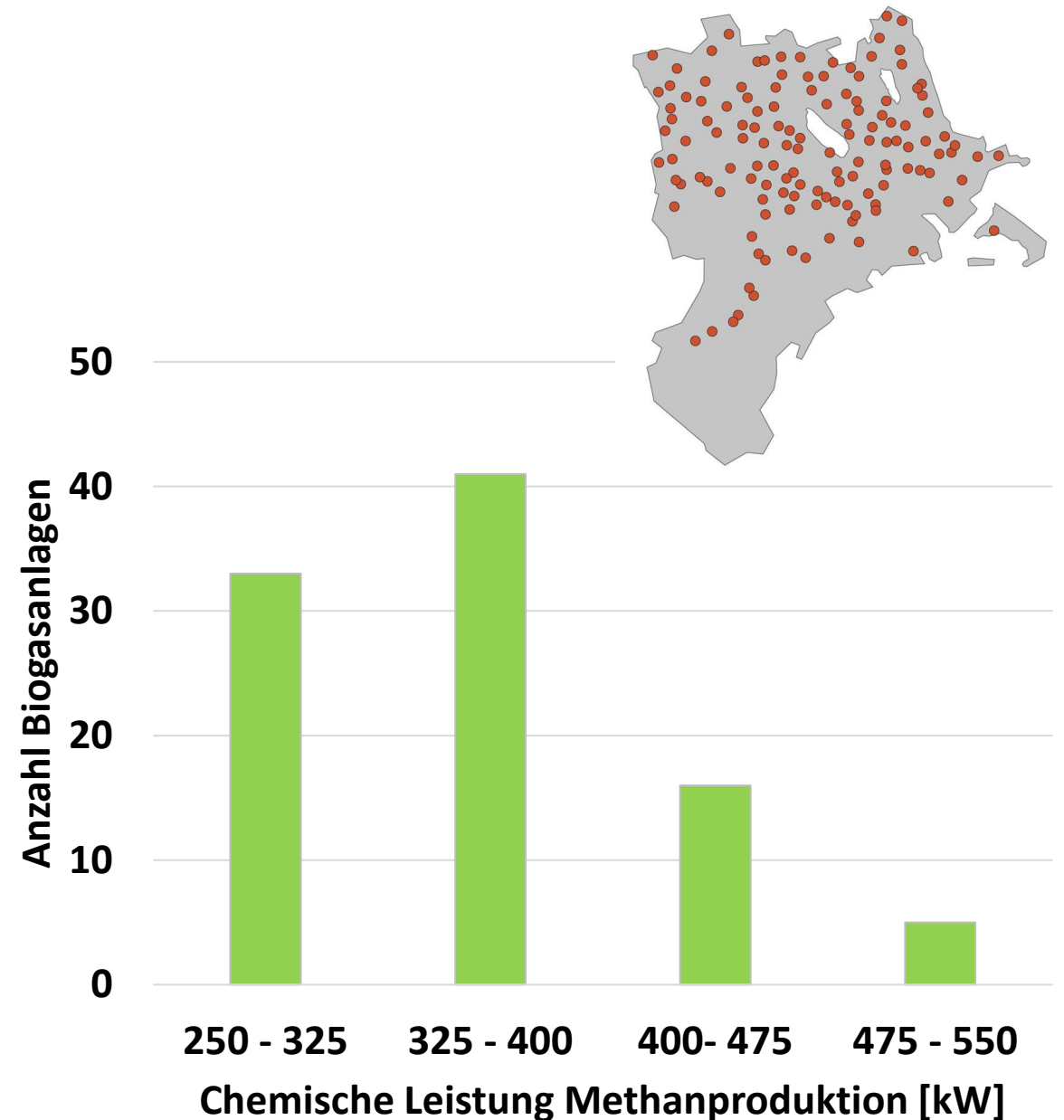
# Parameter zur Modellierung

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

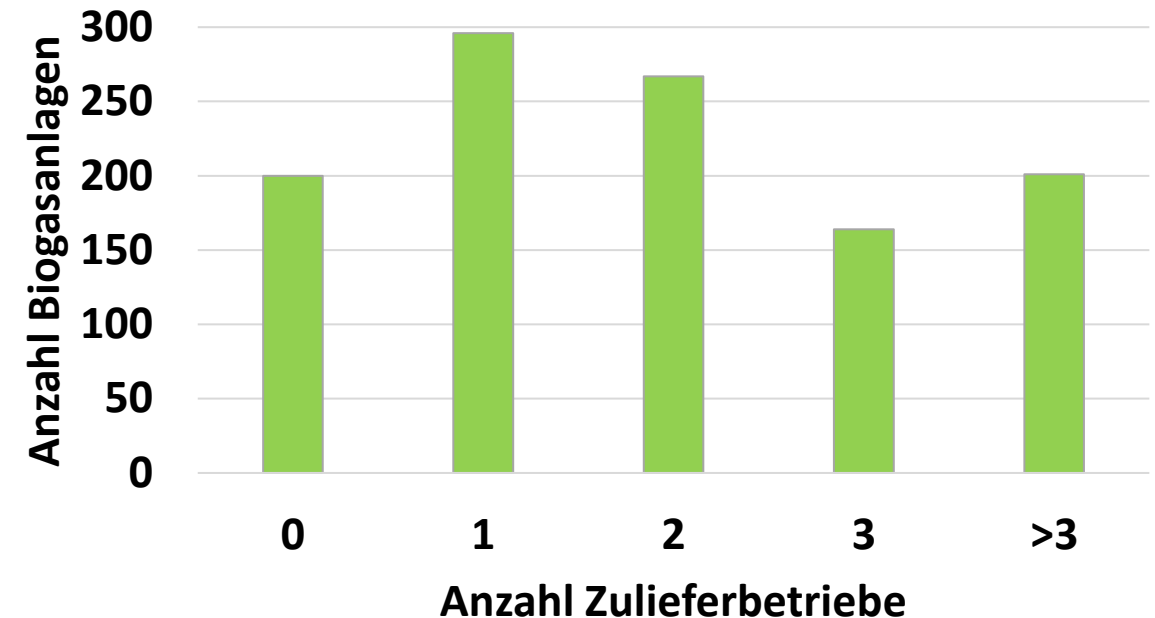
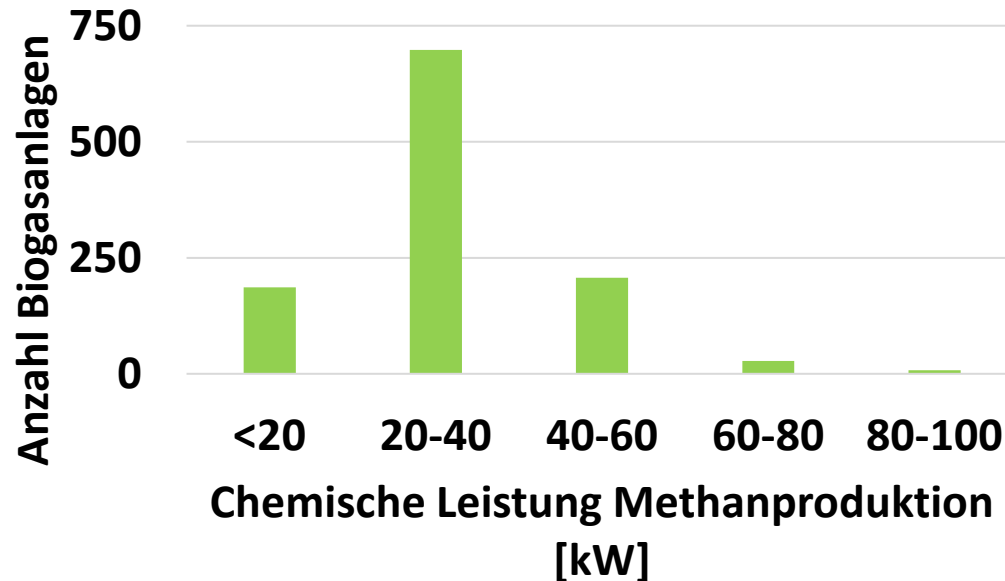
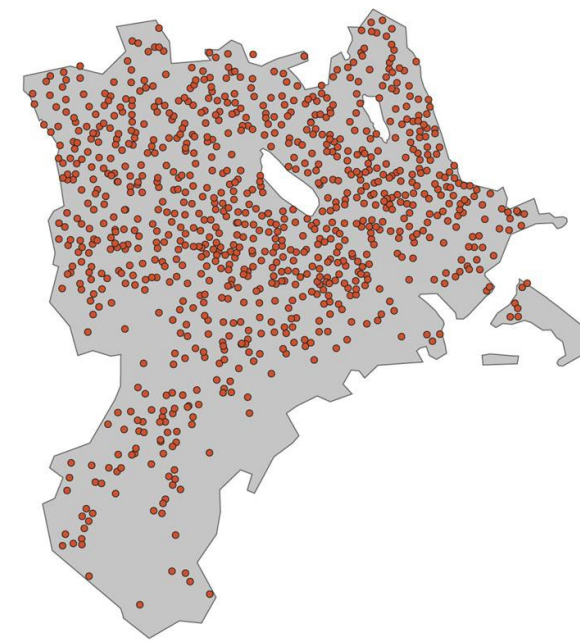
- 95% der Hofdünger werden vergoren
- 30 Mio. Nm<sup>3</sup> (1'178 TJ = 327 GWh) Methan pro Jahr
- Durchschnittliche Anlagenparameter:
  - 44'667 t/a Hofdünger
  - 36 Zuliefererbetriebe (18 – 83)
  - 395 kW chemische Leistung





# Szenario 3

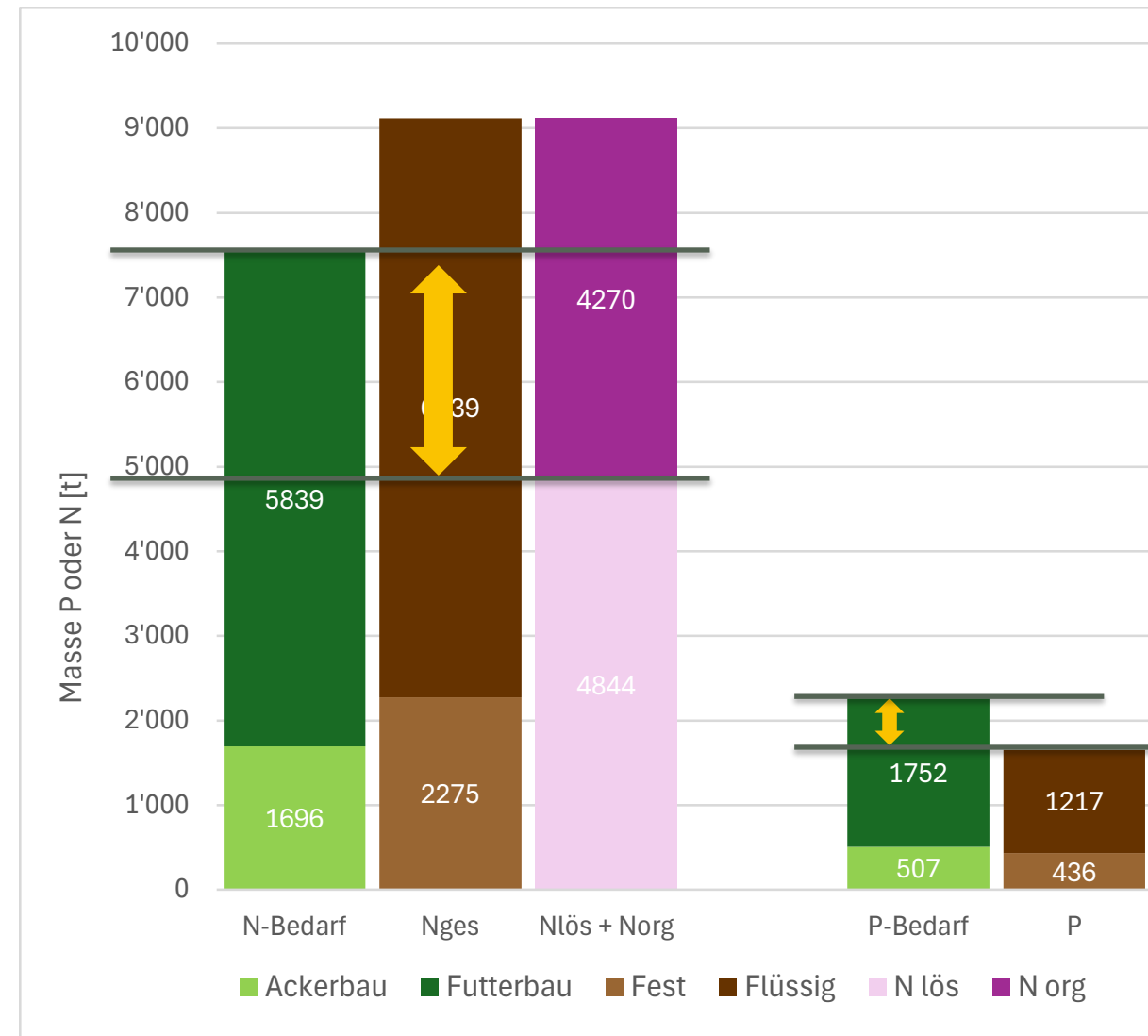
- ▶ **1'128 Biogasanlagen**
  - ▶ 98% der Hofdünger werden vergoren
- ▶ Durchschnittliche Anlagenparameter:
  - ▶ 3'820 t/a Hofdünger
  - ▶ 35 kW chemische Leistung



# Nährstoffdeckung und potenzielle Substitution von Mineraldünger

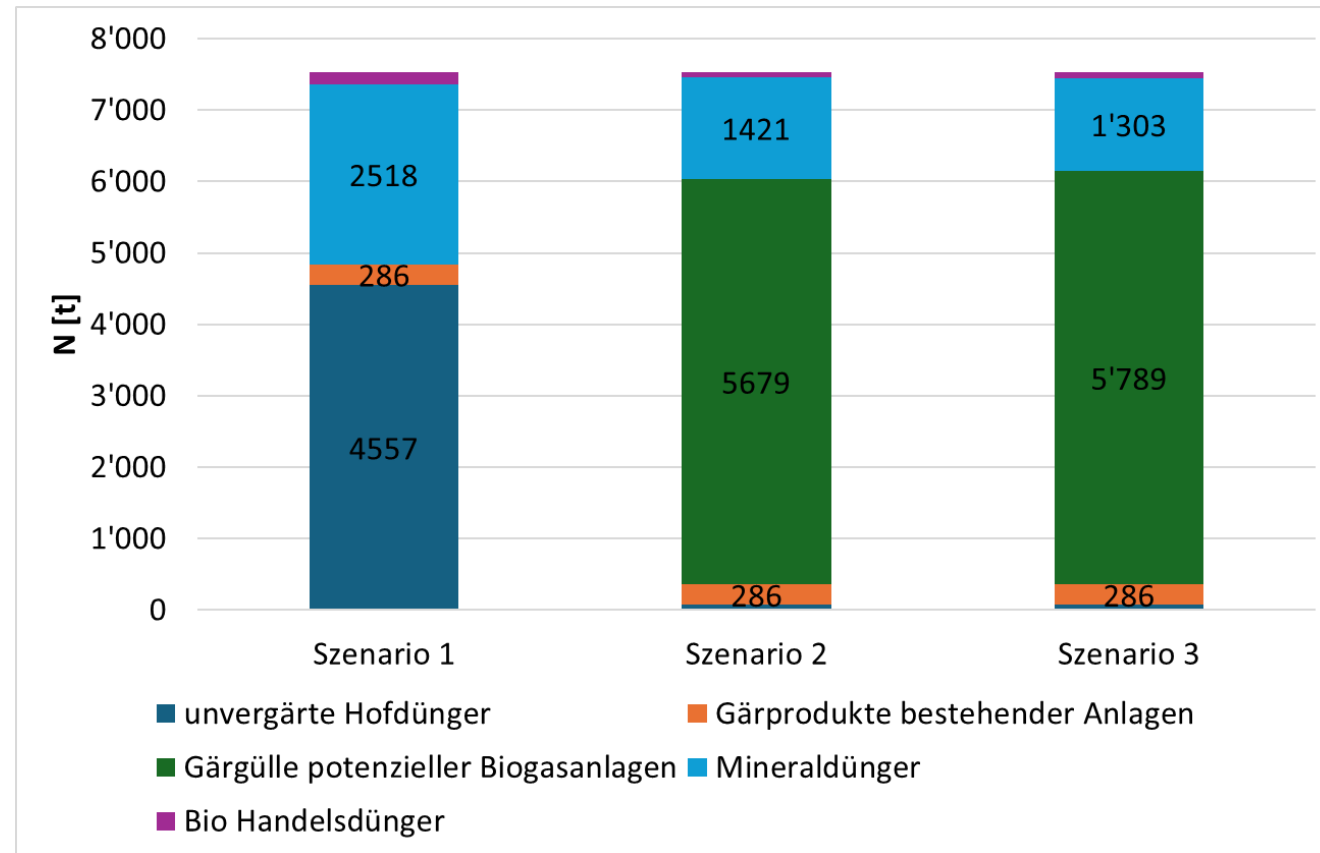
# Heutige Nährstoffdeckung der Kulturen (Szenario 1)

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



# Stickstoffdeckung der Kulturen in Szenario 2 und 3

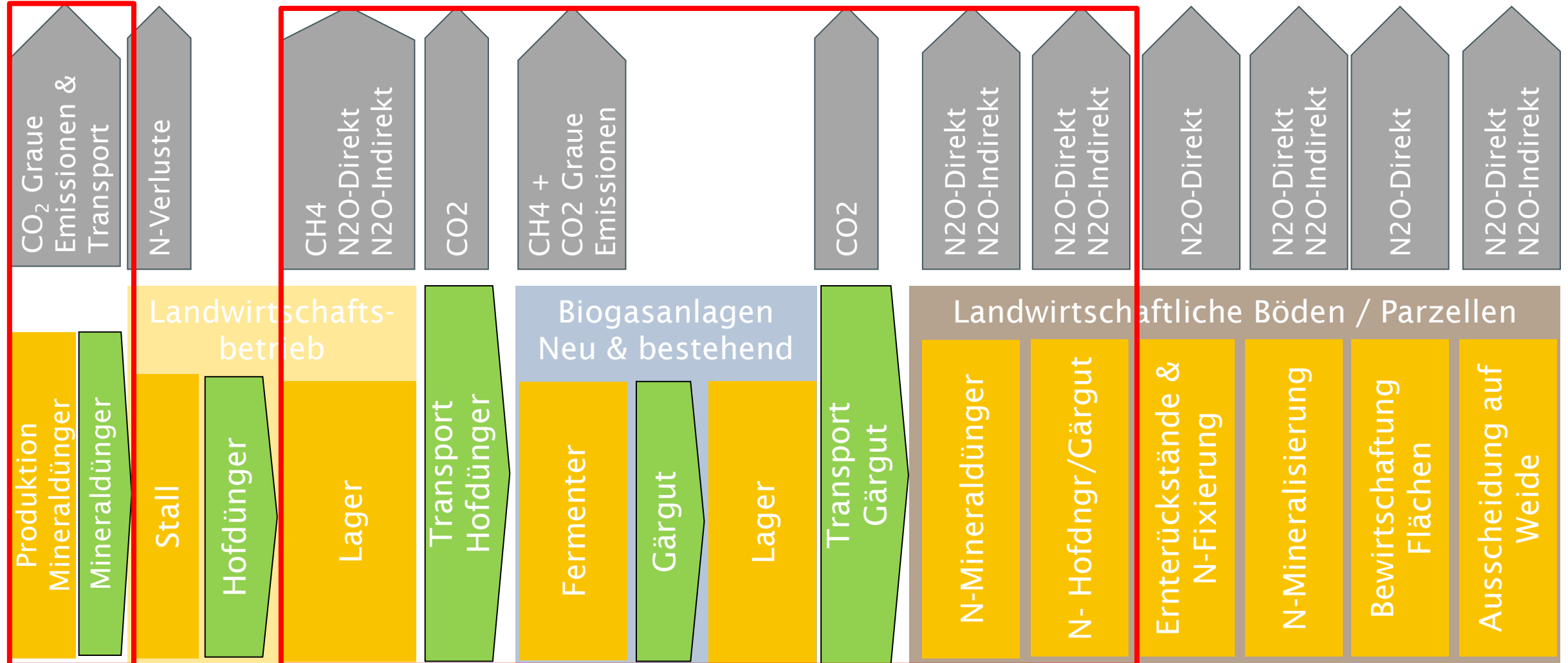
- ▶ Ca. 30% des  $N_{org}$  wird in der AD zu  $N_{lös}$  mineralisiert
- ▶ *-> ein grösserer Teil des Stickstoffbedarfs kann gedeckt werden -> der Bedarf an Mineraldünger sinkt*
- ▶ 75.4% des N können mit Hofdünger versorgt werden
- ▶ Bedarf an N-Mineraldünger sinkt um 1'097 t oder 44% (Szenario 2)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



# Treibhausgasemissionen



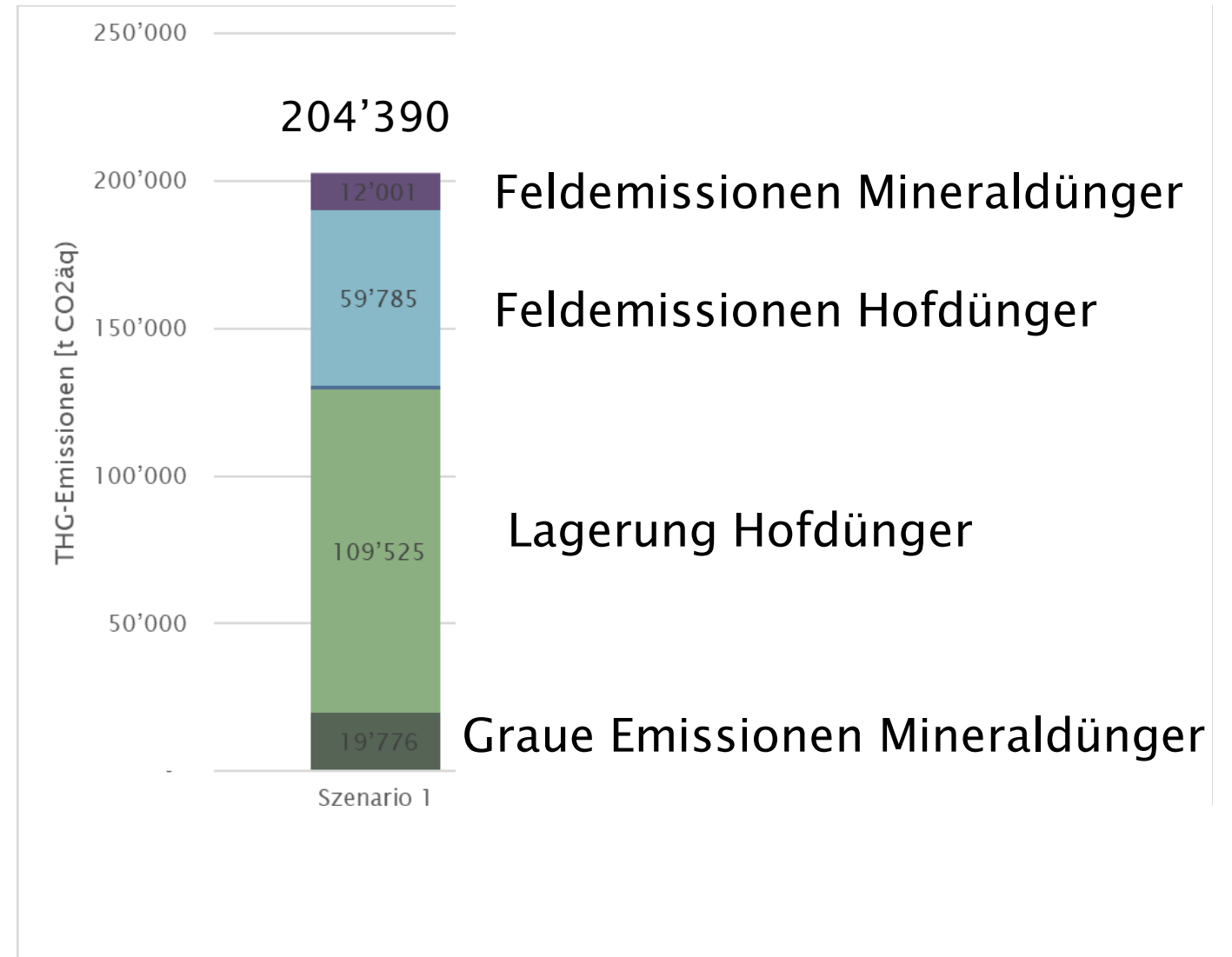
# Systemgrenzen für THG-Abschätzung Szenario 2 und 3





# THG-Emissionen heute

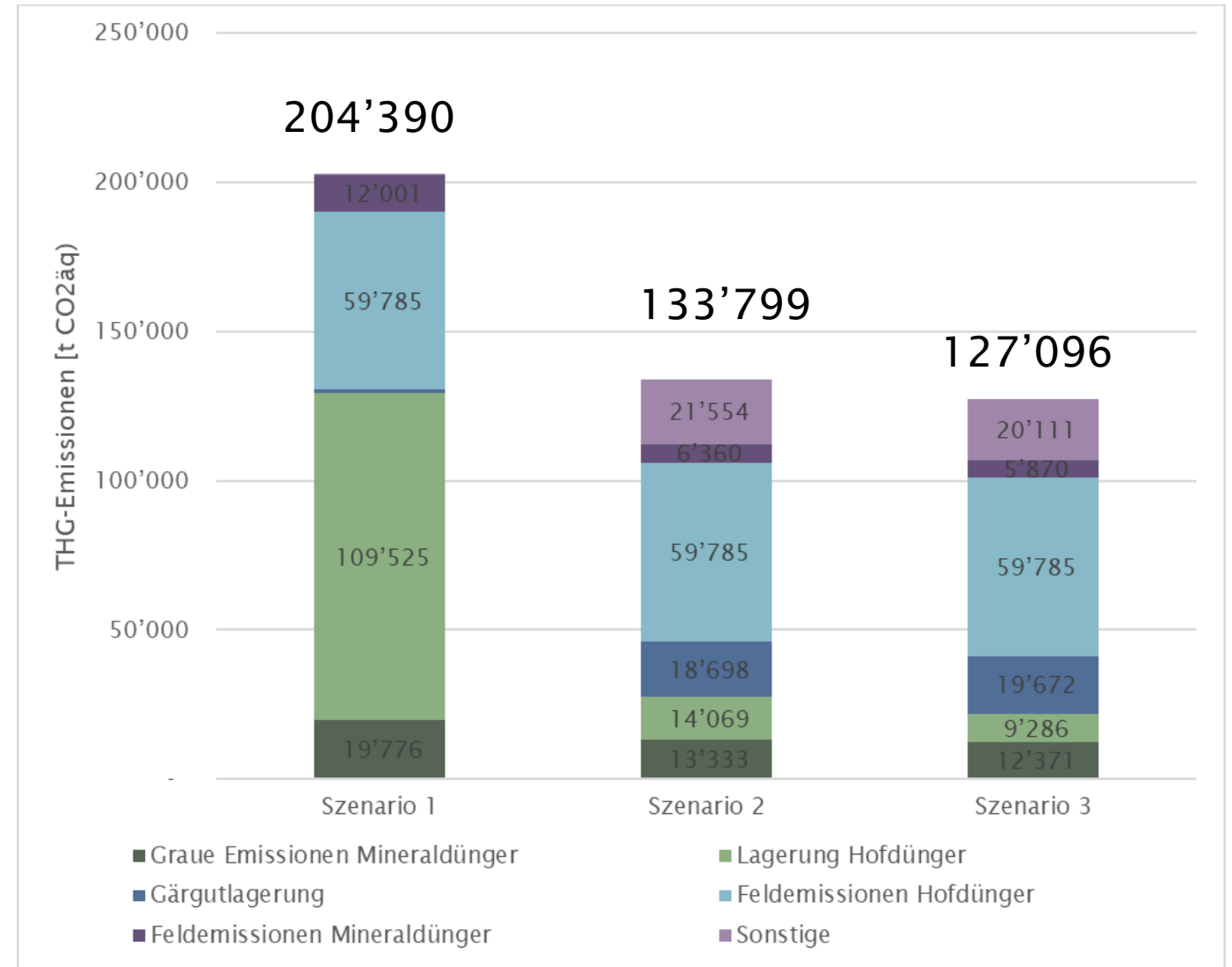
- ▶ Während der Lagerung der Hofdünger werden am meisten THG emittiert





# 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	- 37%, - 7'400 t	12'371
Lagerung Hofdünger	109'525	- 92%, - 100'000 t	9'286
Transport	-	3'601	1'449
Feldemissionen Hofdünger	59'785	59'785	59'785
Emissionen Vergärung	735	+ 12'400 t	13'114
Emissionen Lagerung Gärgut	1'103	+ 18'500 t	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
<b>Investitionskostenbeitrag</b>	<b>n. a.</b>	<b>n. a.</b>	<b>355'508 CHF</b>
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
Erlös			
Stromerlös	40'138 CHF/a	449'387 CHF/a	n. a.
Methanerlös	n. a.	n. a.	513'852 CHF/a
Bilanz			
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>