

Vollkostenrechnung der Erzeugung von Unterdachtrocknungsenergie bei gleichzeitiger Kühlung der Photovoltaikmodule

Sabine Obermaier
am 21.03.2013

Gliederung

1. Fragestellung und Relevanz
2. Literaturüberblick
3. Material und Methoden
4. Ergebnisse
5. Diskussion
6. Fazit

1. Fragestellung und Relevanz

Potential des Grünlandes / Kleegrases und der Unterdachtrocknung

- Bedeutung von Heu und Heutrocknung
- Vollkosten der Produktion von Unterdachtrocknungsheu aus Klee gras anhand eines Beispielbetriebes
- Stromproduktionserhöhung durch den Kühlungseffekt der Absaugung
- Leistungen, Zusatzeffekte, Heu- und Produktqualität

2. Literaturüberblick

Bedeutung von Grünland und Heufütterung

- Wenig / kein Heu in Milchviehrationen
- Wenig Forschung und Technik in der Vergangenheit
- Zukunftspotential:
 - Milchqualität
 - Verbraucherbewusstsein
 - Grundfutterleistung vs. Kraftfutterpreise
 - Flächenverbrauch und Transformationsverluste

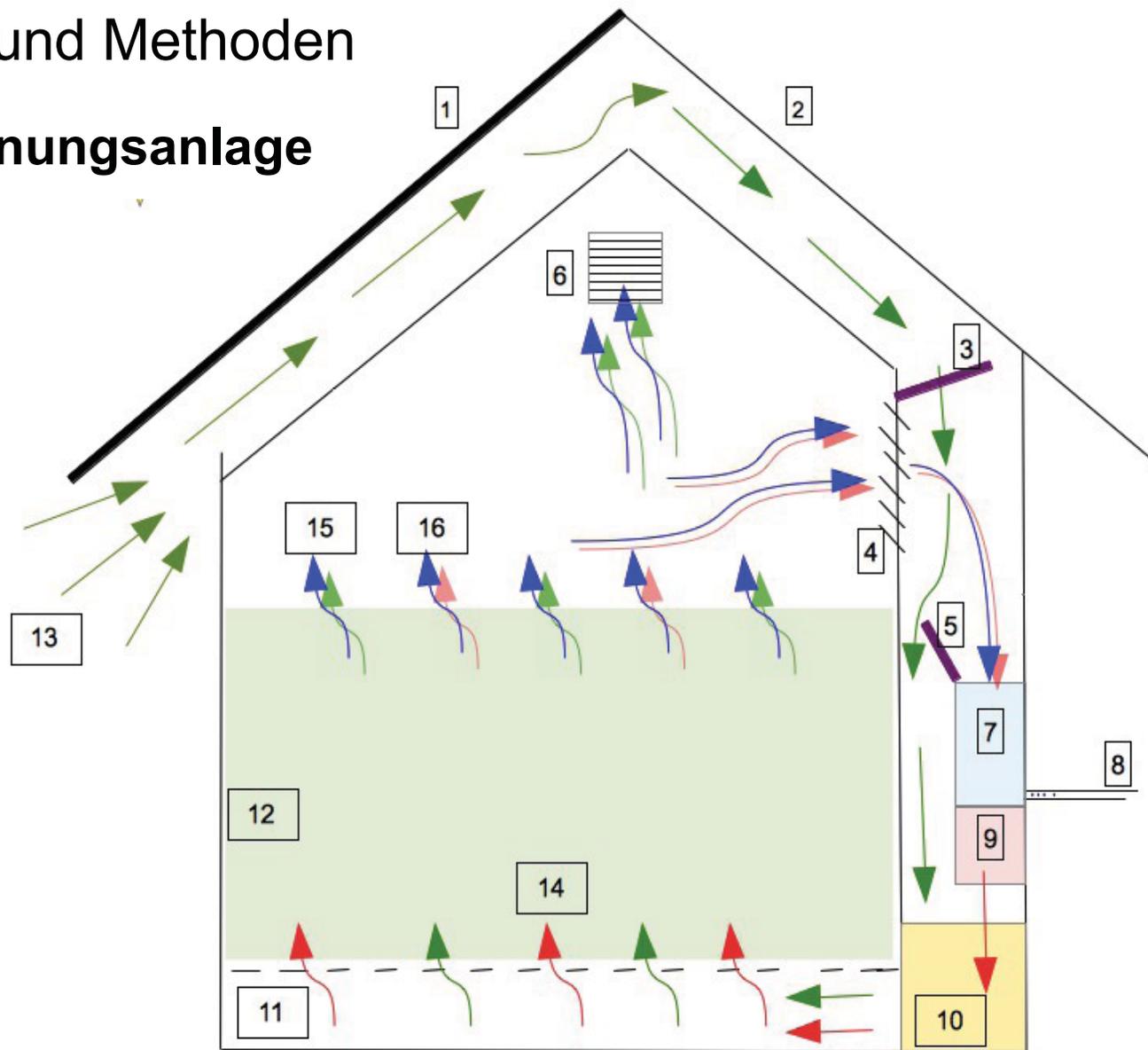
3. Material und Methoden

Der Beispielbetrieb

- Gemischtbetrieb: Milchvieh mit Käserei, Saatgutvermehrung, Grünland
- Siebengliedrige Fruchtfolge (3 Glieder Klee gras)
- Milchviehration: unter Dach getrocknetes Klee grasheu ad libitum, Weide
- Milchleistung: 6000 – 7000 kg/Kuh und Jahr

3. Material und Methoden

Heutrocknungsanlage



3. Material und Methoden

Meteorologische und energetische Größen

- Temperatur und Luftfeuchte: im Kanal, nach dem Heustock und außen
- Lufttemperatur und Volumenstrom im Kanal
- Temperatur der PV-Module
- Eingespeiste Strommenge
- Globalstrahlung



Hitzdraht-Anemometer



PAR- Sensor



Thermo-Hygrometer

3. Material und Methoden

Meteorologische und energetische Größen

- Versuchsdesign

12:00 Uhr MESZ	Start Experiment → Abschalten der Dachabsaugung
12:15 Uhr MESZ	Start Messung Einspeisung E_0 , Dachtemperatur
13:15 Uhr MESZ	Anschalten der Dachabsaugung
13:30 Uhr MESZ	Start Messung Einspeisung E_A , Dachtemperatur
14:30 Uhr MESZ	Ende Experiment

- Auswertung

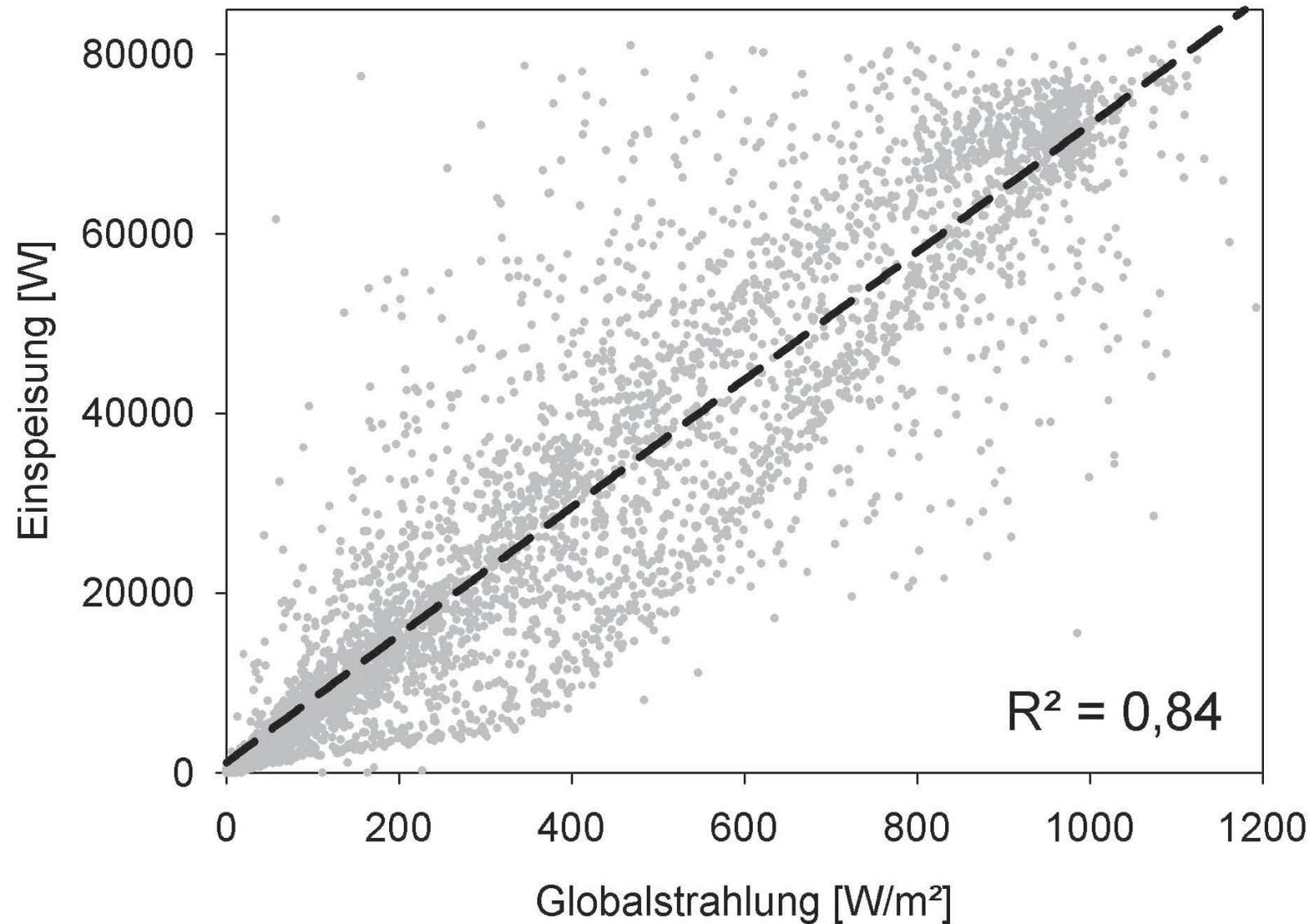
- 10-Minuten-Mittelwerte
- Strahlungskorrekturfaktor

3. Material und Methoden

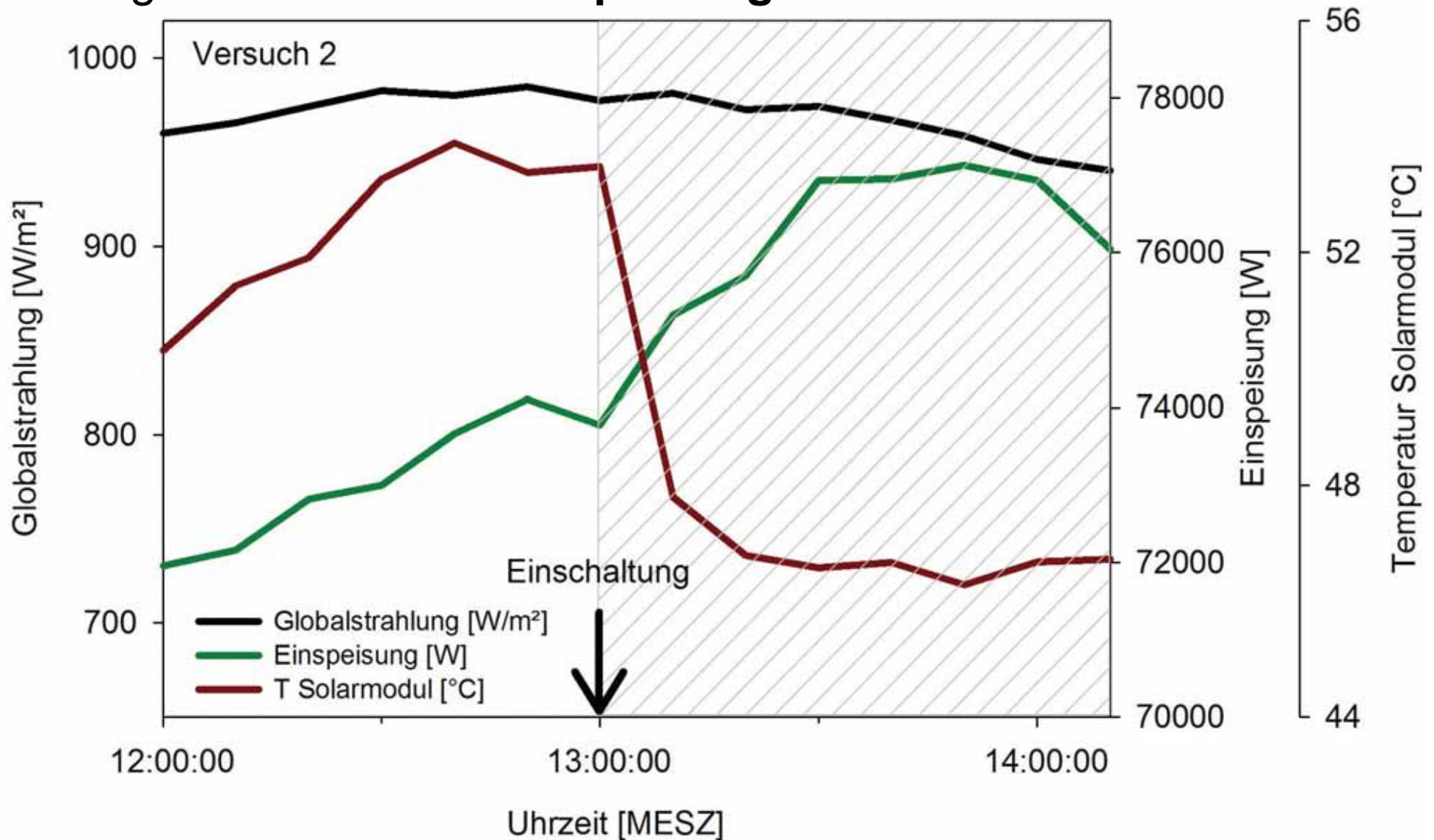
Vollkostenrechnung

- Unterscheidung: kalkulatorisch / pagatorisch und variabel / fix
- Einteilung in Kostenarten
- Kosten umgerechnet auf Euro/ ha und Jahr, Euro / dt TM, Euro / 10 MJ NEL

4. Ergebnisse - **Stromeinspeisung**



4. Ergebnisse - Stromeinspeisung



4. Ergebnisse

Stromeinspeisung und Kühlungseffekt

Mehrertrag an Strom 11-15 Uhr in %	7,6 - 9,8
Mehrertrag durchschnittlich an Strom (ganztags) in %	3,8 - 4,9
Mehrertrag absolut in kWh / Trocknungsszenario	0 - 148,10
Mehrertrag in Euro / Trocknungsszenario	0 - 58,96
Mehrertrag in Euro / ha	0 - 4,21
Mehrertrag in Euro / dt TM	0 - 0,12
Mehrertrag in Euro / 10 MJ NEL	0 - 0,002

4. Ergebnisse

Energie vom Dach

Zusätzliche Luftherwärmung durch die Module in 1,25 h Messzeit der Kampagnen	1,13 GJ
Umrechnung in Euro	26,23 Euro

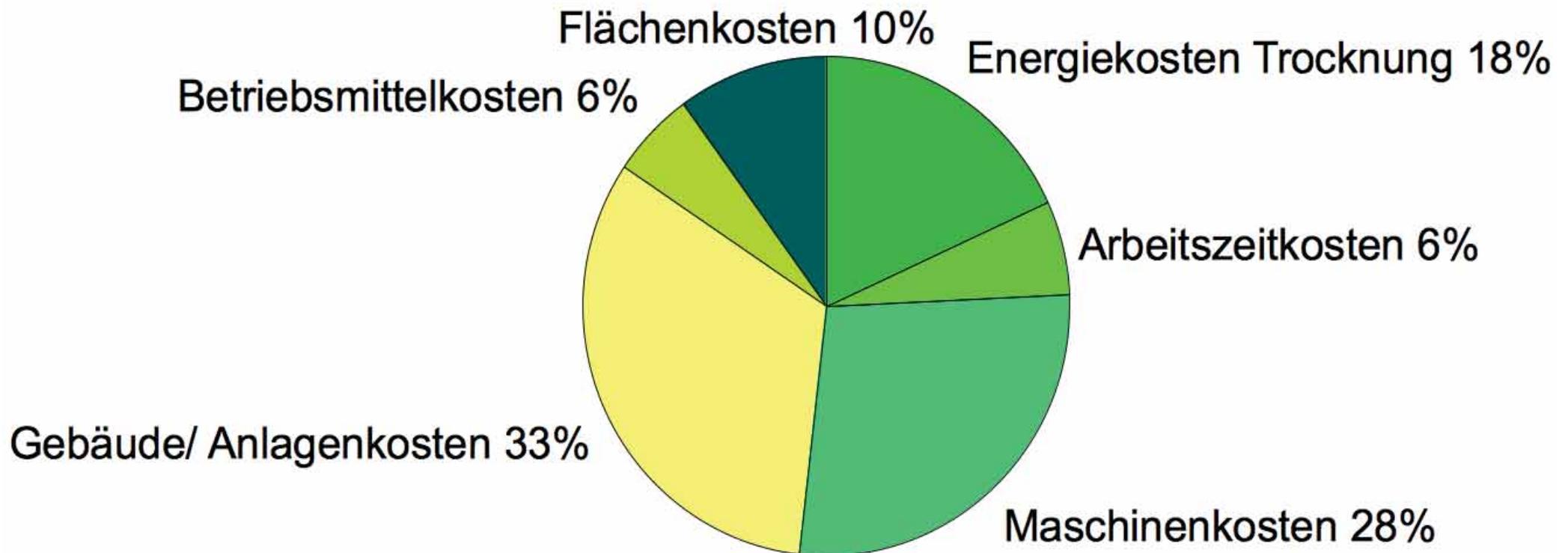
4. Ergebnisse

Vollkosten

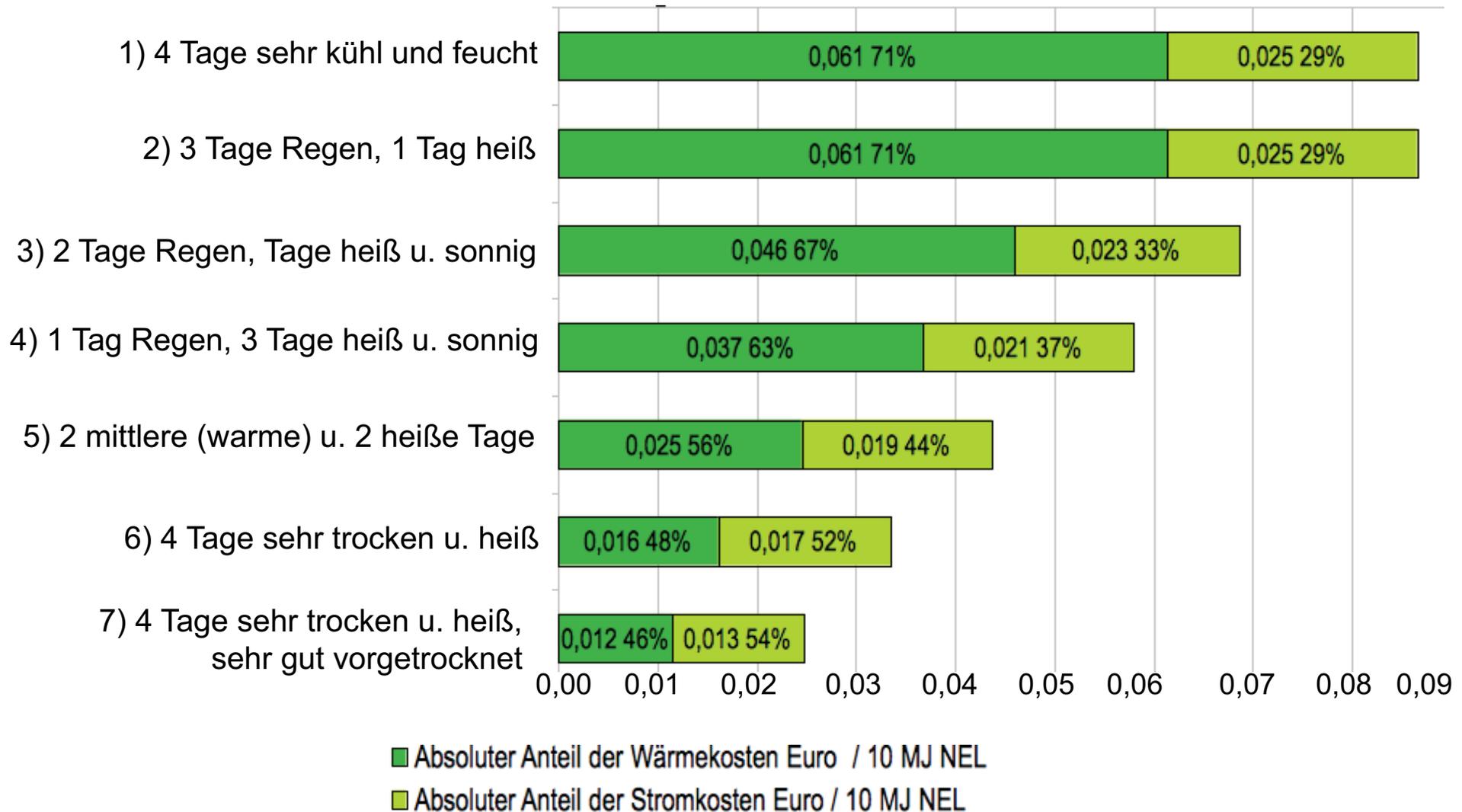
Euro / ha	2096,38 – 2570,06
Euro / dt TM	16,64 - 20,38
Euro / 10 MJ NEL	0,278 - 0,339

4. Ergebnisse - **Vollkosten**

Kostenarten

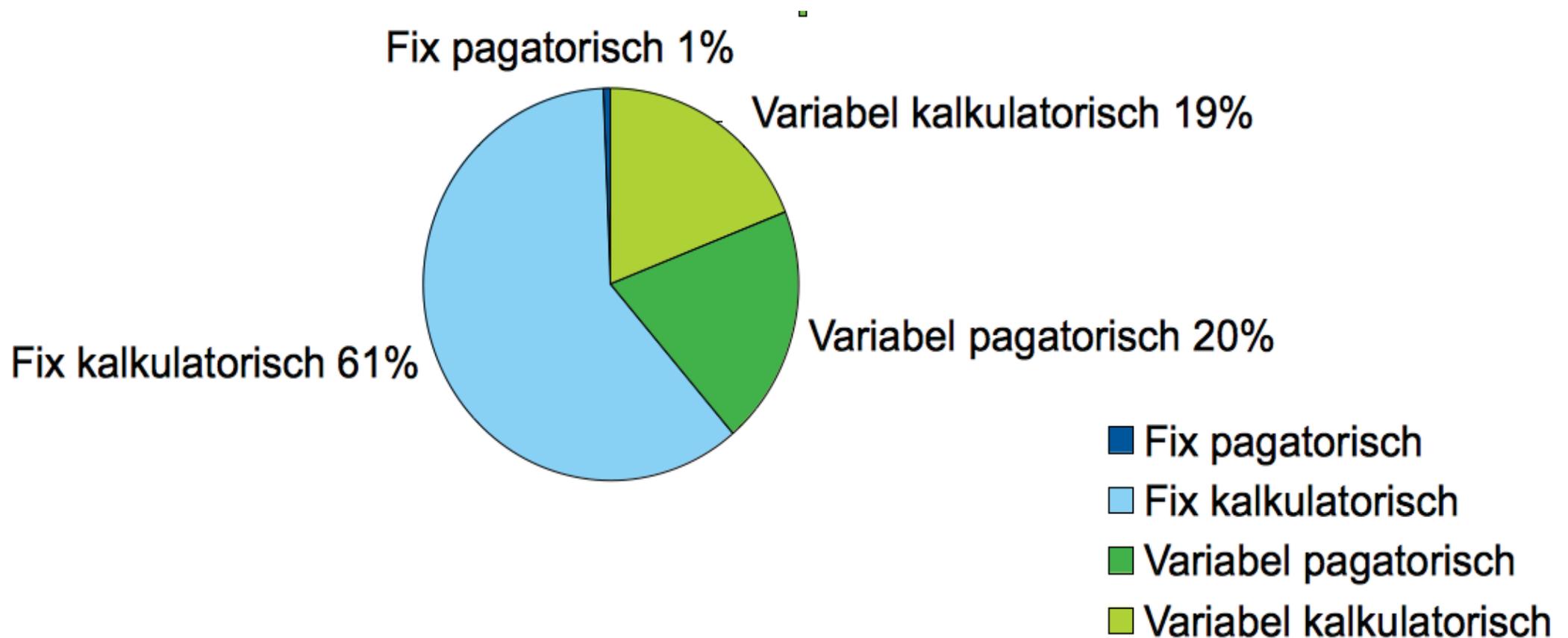


4. Ergebnisse – Energiekosten der Trocknung



4. Ergebnisse - **Vollkosten**

Kostenstruktur



5. Diskussion

Vollkosten

- Stickstoffäquivalent statt Kompost
- Abschreibung der Gebäudehülle 20 statt 50 Jahre
- Konservative Annahmen
- Vollkostenvergleich in Euro / 10 MJ NEL:

Heu Beispielbetrieb	0,309 (0,278 - 0,339)
Unterdachtrocknungsheu*	0,414 (0,397 – 0,431)
Bodenheu*	0,415 (0,409 – 0,605)
Silomais*	0,229 (0,181 – 0,277)
Grassilage*	0,293 (0,262 – 0,365)
*Dilger und Faulhaber, 2006	

5. Diskussion – Vergleich mit Belüftungsversuchen an der Forschungsanstalt ART (nach L. v. Caenegem et al., 2009)

Ergebnisse

- Bis 6% höhere Stromproduktion durch Belüftungskühlung
(1°C kühler → 0,4% mehr Strom)
- Effizienzsteigerung durch Wärmenutzung (thermisch) und parallel erhöhte elektrische Leistung durch Kühlung (5:1 → Wärme/Strom)
- Anstieg Lufttemperatur → Senkung rel. Feuchte und Erhöhung Wasseraufnahmefähigkeit → Verkürzt Trocknungszeiten
- Bis zu 4 kW Wärme / m²

→ *Diese Werte unterstützen die Messergebnisse am Beispielbetrieb*

5. Diskussion – Vergleich mit Belüftungsversuchen an der Forschungsanstalt ART (nach L. v. Caenegem et al., 2009)

Entscheidende Zusammenhänge

- Steigende Modultemperatur → Abnahme elektr. Wirkungsgrad
- Modultemperatur abhängig von: Umgebungstemp., Globalstrahlung, Abstrahlung der Module, Kühlung durch Luftströme
- Modultemp. umso differenter zur Umgebung je niedriger die Luftgeschwindigkeit
- Steigende Luftgeschwindigkeit → steigender elektr. Wirkungsgrad
- Steigender Luftgeschwindigkeit → steigender Wärmeübergangskoeffizient
- Steigendes Verhältnis Luftgeschwindigkeiten (Innen - Außen) → höherer thermischer Nutzungsgrad

5. Diskussion – Vergleich mit Belüftungsversuchen an der Forschungsanstalt ART (nach L. v. Caenegem et al., 2009)

Entscheidende Einflussgrößen zur Wärmenutzung

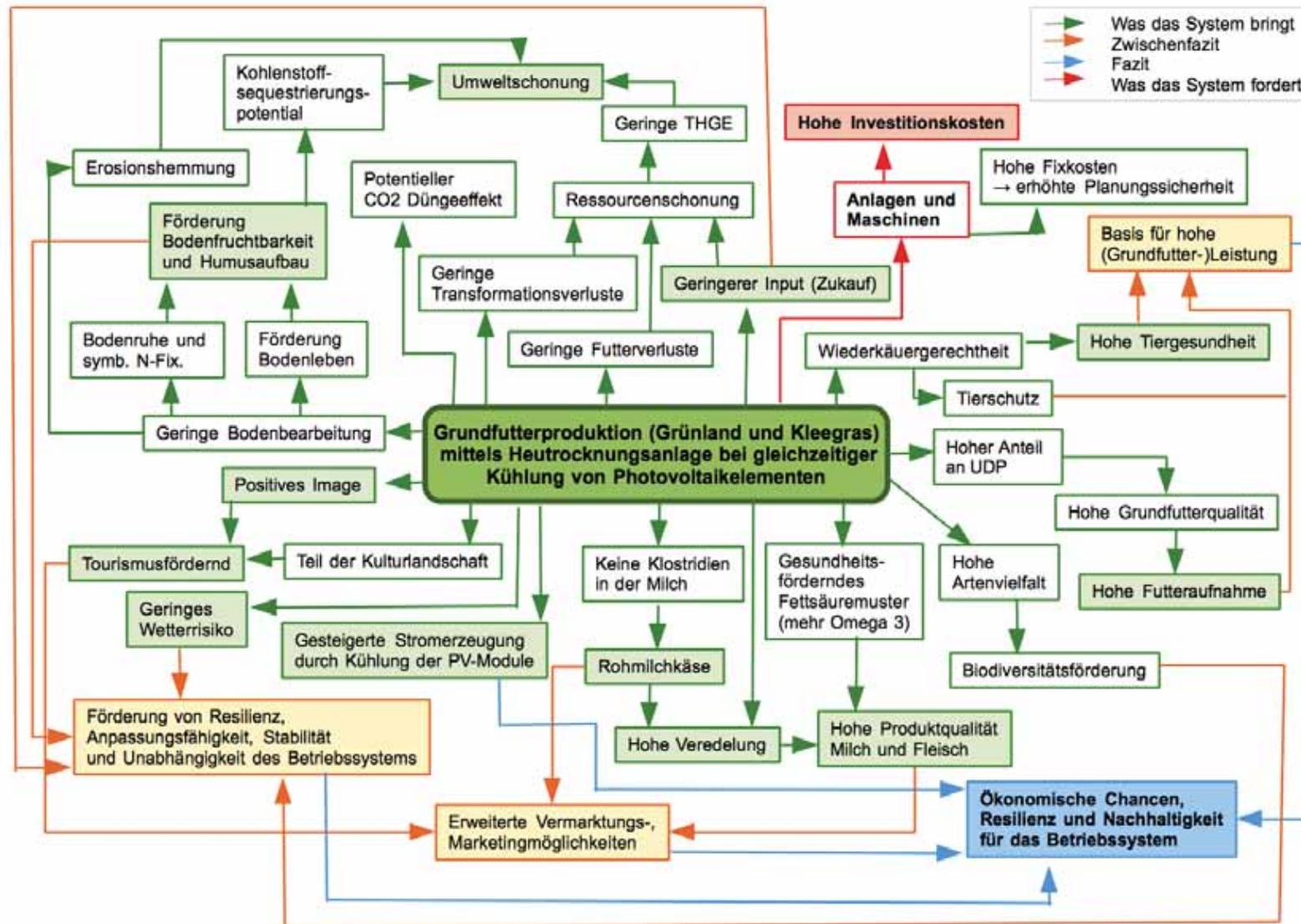
- Geometrie der Anlage (Möglichkeit d. Schwerkraftlüftung)
- Luftgeschwindigkeit an den Solarmodulen (oben und unten)
- Globalstrahlung
- Neigung und Himmelsrichtung des Daches
- Wärmewiderstand der Solarmodule
- Energiebedarf des Lüfters abhängig vom Quadrat der Luftgeschwindigkeit im Kanal

5. Diskussion

Leistungen

- Futterqualität: UDP, hohe Futteraufnahme, hohe Grundfutterleistung
- Produktqualität: Rohmilchkäse, Omega 3
- Umweltwirkungen: Vorfrucht, Diversität, Bodenschonung
- Kulturlandschaft
- Erhöhte Stromproduktion durch Warmluftnutzung
- Ressourcenschonung

6. Fazit





Vielen Dank!