

Heubelüftungsanlagen – baulich-technische Möglichkeiten, Arbeitswirtschaft und Energieaufwand

Stefan Thurner und Dr. Juliana Mačuhová,
Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT)

Bau- und Energieleherschautag – Heutrocknung
10.10.2024 Futterkamp

- 1. Verfahrensübersicht**
 - 2. Ergebnisse Heubelüftungsversuchsanlage/Praxisbetriebe**
 - 3. Ergebnisse arbeitswirtschaftliche Untersuchungen**
 - 4. Ergebnisse Umfrage**
 - 5. Fazit**
-

Zielsetzung mit einer Heubelüftungsanlage

- Heubelüftung ist eine Form der Grundfutterkonservierung
- Heubelüftung dient in erster Linie der Verbesserung der Grundfutterqualität (MJ ME und CP) sowie der Reduzierung von Futterverlusten entlang der gesamten Kette vom Feld bis zum Trog im Vergleich zu Silage/Bodenheu
- Gezielte Erzeugung von Belüftungsheu als Premiumfutter z. B. für Hochleistungstiere oder Jungtiere ist gute Ergänzung zur Silage
- Differenzierte/abgestufte Nutzung des Grünlands
- Verwertung von vorhandener Abwärme z. B. von einer Biogasanlage
- Reduzierung des Ernterisikos (im Vergleich mit Bodenheu)
- Produktion von Heumilch

Verfahrensübersicht



Hängedrehkran



Anforderungen an Heubelüftungsanlagen

Boxenbelüftung oder Rundballentrocknung

- Nötige Boxenfläche, Boxenvolumen, Rundballenauslässe, Luftmenge und Druck → siehe Veröffentlichungen u. a. von Wirleitner et al. „Richtlinien für die Belüftungstrocknung von Heu“, „Richtlinien zur Trocknung von Rundballen“, KTBL-Heft 116, ÖKL-Landtechnische Schriftenreihe 236
- Richtige Dimensionierung spart Investitionskosten und verhindert Misserfolge beim Belüften!
- Kenntnis der Erträge essentiell um Chargengröße (v.a. bei Rundballen) richtig zu mähen!



Bildquelle: Ostertag, 2014

Boxenbelüftung (I)

- Innenansicht leere Box mit Höhenmarkierungsstreifen



Boxenbelüftung (II)



Rundballenbelüftung



Bildquelle/Quelle: L. Baumgartner 2014

Vergleich Boxen- und Rundballenbelüftung

Merkmale	Box	Rundballen
Bröckelverluste	geringer	höher
Heumenge	größere Mengen → Umstellung auf Heufütterung	kleinere Mengen → z. B. für Hochleistungskühe o. Kälber
Schlagkraft	höher	geringer
Belüftungsdauer	40 – 60 Stunden + Nachbelüften	< 24-30 Stunden + ggf. Nachbelüften
Arbeitsablauf	Einlagern (2 Pers. f. Ladewagen, Heukran), Belüften + Nachbel., Umlagern	Pressen/Transport, Belüften, Wenden, Belüften, ggf. Nachbel., Umlagern

Anforderungen an Heubelüftungsanlagen

Wärmequellen

- Sonnenkollektoren (z. B. Unterdachabsaugung) unbedingt nutzen → günstigste Wärmequelle am Tag!
- Planungswerkzeuge z. B. ART-SOKO für die richtige Dimensionierung der Unterdachabsaugung nutzen
- Vorhandene Abwärme (z. B. Biogasanlage) oder Wärmequellen (z. B. Hackschnitzelheizung) in jedem Fall soweit wie möglich in Anlagenkonzept mit einbeziehen

Solare Dachwärmenutzung/Wärmespeicher

- **Unterdachabsaugung (UDA)**

- Pfettendach – Firstansaugung
- Sparrendach - Traufansaugung
- Absaugkanalführung zum Sammelkanal
- Abluftöffnungen am First notwendig!

- **Warmluftkollektoren**

- thermische Spitzenleistungen von $> 700 \text{ W/m}^2$
= mindestens doppelte Leistung i. Vgl. z. Unterdachabsaugung

- **Wärmespeicher**

- Kiesspeicher mit Bachschotter 64, Wärmekapazität 0,8
→ einige Tage vor Bedarf mit Axialventilator über UDA beladen
- Alternative: Wasserspeicher (Wassertank im Boden, wie Pufferspeicher bei Heizung) → Vorteil höhere Wärmekapazität!

Luftentfeuchtung

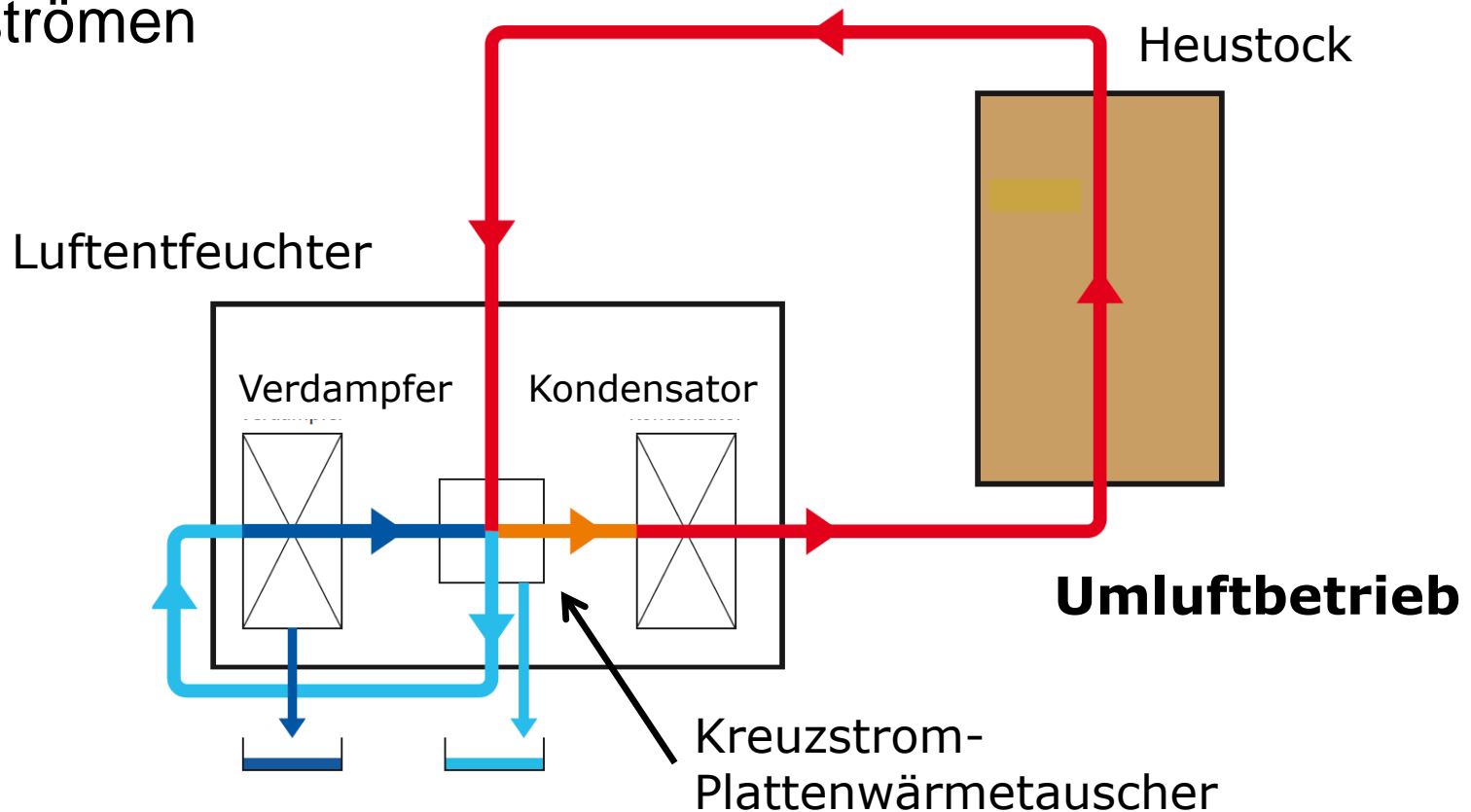
- Luftentfeuchter
 - Meist gleiche kW-Zahl wie Radialventilator
→ bei Dauer-Umluftbetrieb:
Entfeuchter- : Radialventilator-kW:
2 : 1!
 - Keine Wirkung bei rel. Luftfeuchte <40% oder $T < 10^{\circ}\text{C}$ → zusätzlich Vereisungsgefahr!
 - Luftgeschwindigkeit an Registerfläche 3-4 m/s
 - Veröffentlichung im Landtechnik-Forum der ALB-Bayern zu Luftentfeuchtern: www.alb-bayern.de/laf3

Bildquelle/Quelle: Firmendarstellung www.figortec.de 2014



Wärmetauscher Wärmerückgewinnung (I)

- Luftentfeuchter mit Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher aus der Haustechnik → ~ 35 % Energieeinsparpotential durch die Übertragung der thermischen Energie aus beiden Luftströmen



- **Energiebedarf:**

je nach Witterungsbedingungen von **0,2 – 0,8 kWh/kg** Wasserentzug im **Mittel rd. $0,47 \pm 0,28$ kWh/kg** Wasserentzug; alle Werte mit Nutzung einer Unterdachabsaugung und bezogen auf den Stromverbrauch in der Gesamtanlage (Zahlen basieren auf Praxisergebnissen und Ergebnissen der Heubelüftungsversuchsanlage Hübschenried aus dem Jahr 2019)

- **Fixe Kosten:**

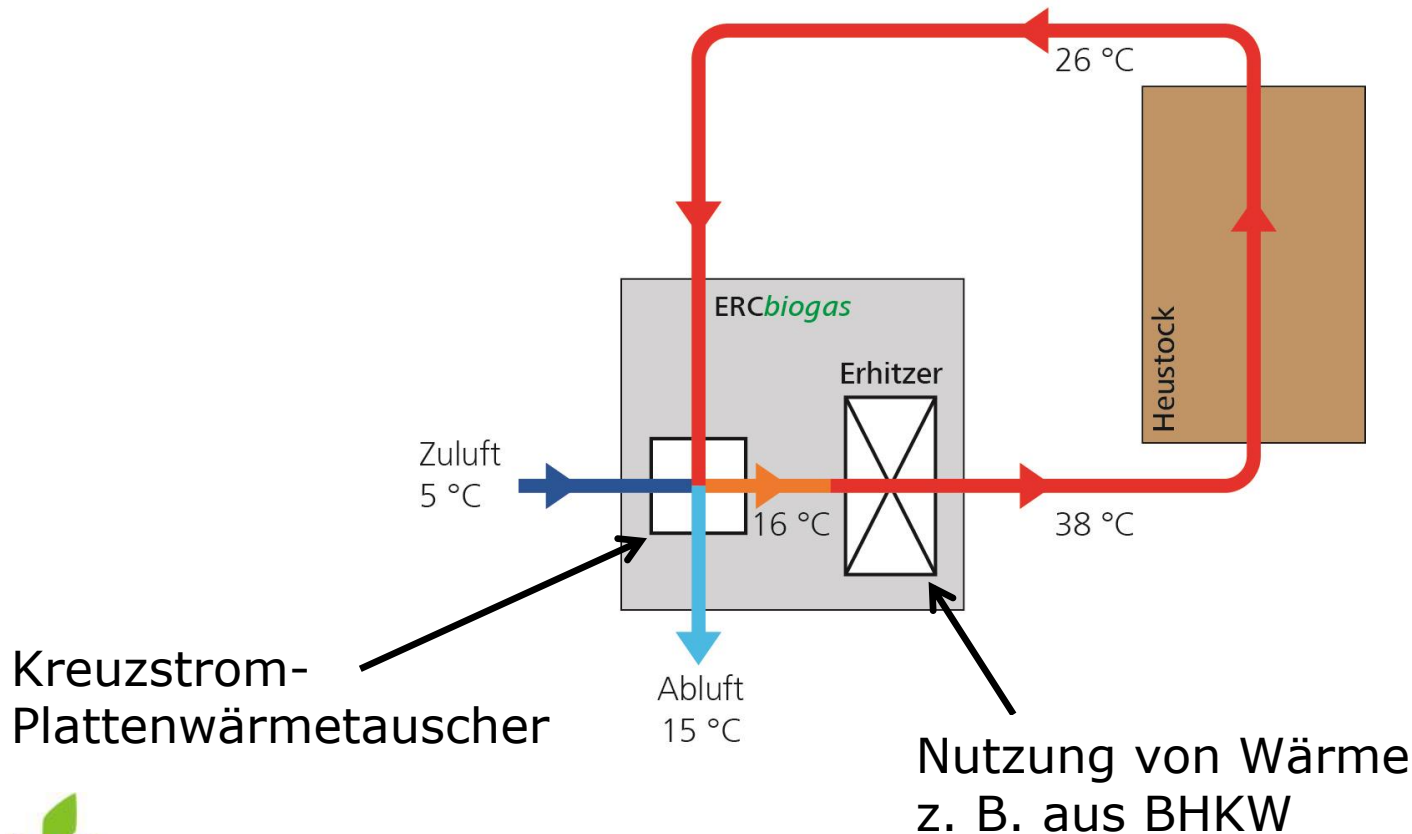
je nach Situation am Betrieb zwischen **110 – 160 €/m³ Lagerraum** (Kosten basieren auf 9 aktuellen Förderfällen aus den Jahren 2017 bis 2019); im **Mittel rd. 130 ± 15 €/m³ Lagerraum** aufgewendet

- **Variable Kosten:**

je nach Witterungsbedingungen und Heumenge von **2,20 € – 5,60 € pro dt TM Heu** (Zahlen basieren auf Praxiswerten aus 2019 und einem Strompreis von 26,39 cent/kWh); alle Werte mit Nutzung einer Unterdachabsaugung und automatischer Steuerung der Anlage

Wärmetauscher Wärmerückgewinnung (II)

- Nutzung der Wärme aus der Abluft für die Anwärmung der Zuluft → Doppelte Wärmenutzung verringert Wärmebedarf für die Gesamtanlage



Wärmetauscher

- Nutzung von Abwärme bzw. Wärme
 - Wärmetauscher mit entsprechender Leistung erforderlich
 - Nutzung von Abwärme von z. B. Biogas betriebenen BHKW
 - Nutzung der Wärme einer Hackschnitzelheizung (auch luftgeführt mgl.)
 - Wärmespeicherung mittels Wasserspeicher oder Kiesspeicher möglich



Wärmedämmung

- Bei einem Umluftkonzept oder dem Einsatz eines Abluft-/Zuluft-Wärmetauschers erhöht sich die Effizienz der Anlage zusätzlich durch:
 - Wärmedämmung der Heubergehalle
 - Wärmedämmung der Zuluftkanäle v. a. bei Rundballenbelüftungen
 - Möglichst kleinem und genau definiertem Umluftbereich z. B. Nutzung von Vorhängen oder Abtrenneinrichtungen
- Faustzahl für den Wärmebedarf: **1,5 kW/m²** Boxenfläche

→ Veröffentlichung im Biogas Forum Bayern zum Thema:
„Möglichkeiten der Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung zur
Heubelüftung „ https://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/Warmenutzung/nachhaltig-erneuerbar-energie_Heubelueftung1.html

Liste Technikhersteller und -lieferanten

- Hersteller, Vertrieb
 - Radialventilatoren im Mittel-, Hochdruckbereich
 - Entfeuchter-Wärmepumpe
 - Wärmetauscher
 - Warmluftöfen
 - Steuerungen
 - Hängedrehkran
- Dienstleistungen
 - Boxenbau und -planung
 - Rundballensystem und -planung
 - Metallbau und sonstiges
- Download Liste Lieferanten und Hersteller für Heubelüftungstechnik demnächst wieder möglich (wird gerade aktualisiert) → www.lfl.bayern.de
→ Tier und Technik → Pflanzenbau → Grünland → Heubelüftung

1. Verfahrensübersicht

2. Ergebnisse Heubelüftungsversuchsanlage/Praxisbetriebe

3. Ergebnisse arbeitswirtschaftliche Untersuchungen

4. Ergebnisse Umfrage

5. Fazit

Heubelüftungsversuchsanlage (HBVA)

- **Ziele**

- Systematischer Vergleich aktueller Heubelüftungstechniken
 - ✓ Energieverbrauch
 - ✓ Trocknungsleistung
 - ✓ Futterqualität
- Erfassung in der Heubelüftungsversuchsanlage
- Erfassung vergleichbarer Daten in Praxisanlagen

Heubelüftungsversuchsanlage (HBVA)

- Boxensystem
 - ✓ am häufigsten in der Praxis
 - ✓ kostengünstigste Variante für große Mengen
- Zwei Boxen mit je 30 m²
 - ✓ parallel befüllt → relativ identisches Material
 - ✓ gleichzeitige Trocknung → gleiche Witterungsbeding.
 - ✓ Box West: Luftentfeuchter (Umluftverfahren)
 - ✓ Box Ost: Wärmetauscher + Wärmerückgewinnung

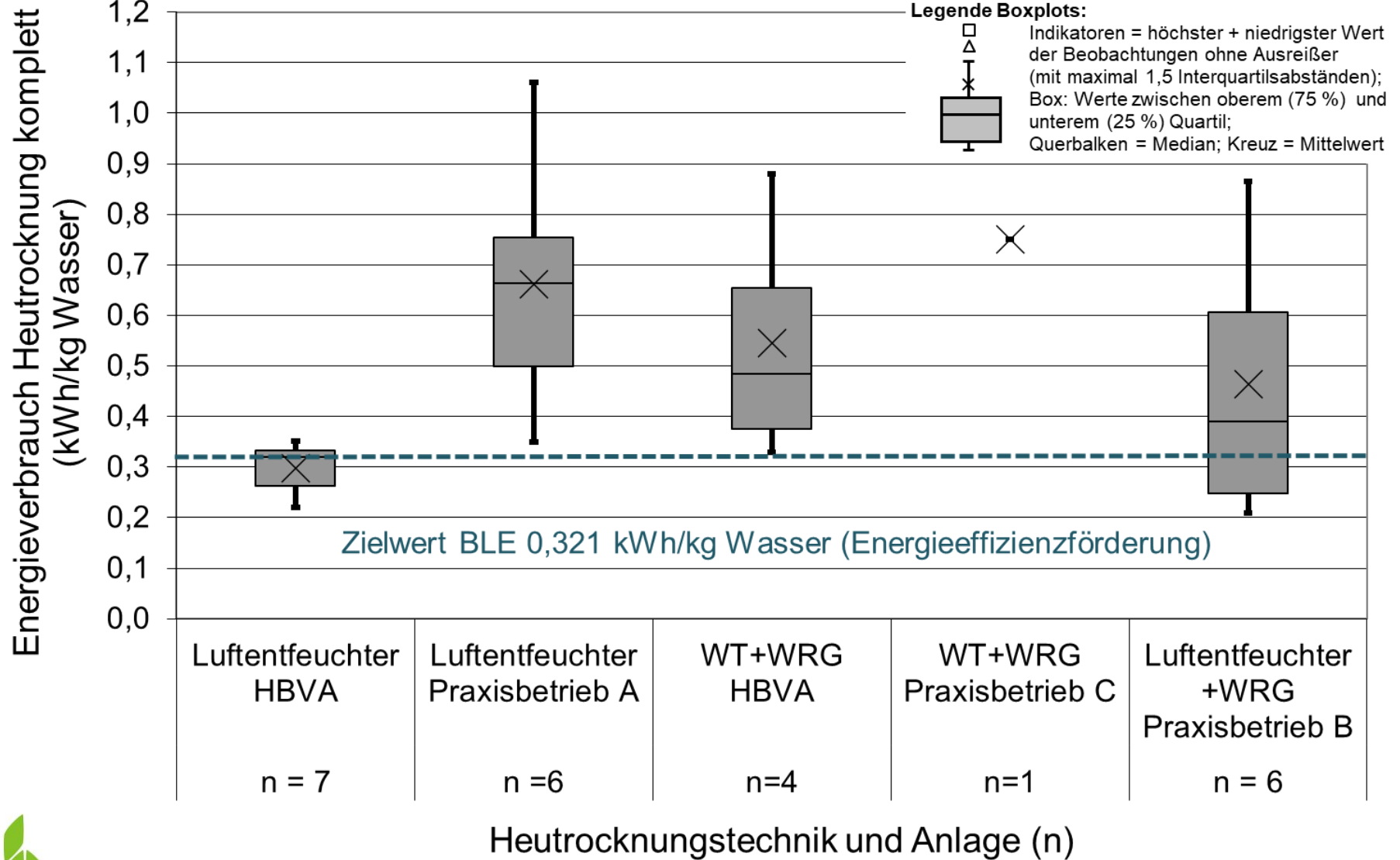
Heubelüftungsversuchsanlage (HBVA)

- Heubelüftungsversuchsanlage – Technik:
 - Radialventilatoren (GB Birk, RVN 630-35 / 10)
 - Luftentfeuchter (Frigortec, HT60)
 - Wärmetauscher (WT, Waltinger, 380 kW)
 - Wärmerückgewinnung (WRG, Arwego, ERC-T 30/56)
- Praxisbetrieb A: Luftentfeuchter im Um-/Frischlufbetrieb mit Steuerung
- Praxisbetrieb B: Luftentfeuchter mit Kreuzstromplattenwärmetauscher im Um-/Frischlufbetrieb
- Praxisbetrieb C: Wärmetauscher (Hackschnitzel-Fernwärme) mit Kreuzstromplattenwärmetauscher für Zu-/Abluft
- Messung von Luftvolumenstrom, -druck, -feuchte und -temperatur mehrmals im System
- Messung von Energieverbräuchen, Gewicht, Trocknungsdauer und Kondensatvolumen

Heubelüftungsversuchsanlage (HBVA) - Bilder



Verfahrenstechnik Ergebnisse zum Energieverbrauch (HBVA + Praxisbetr.) 2019/20



Zusammenfassung - Verfahrenstechnik

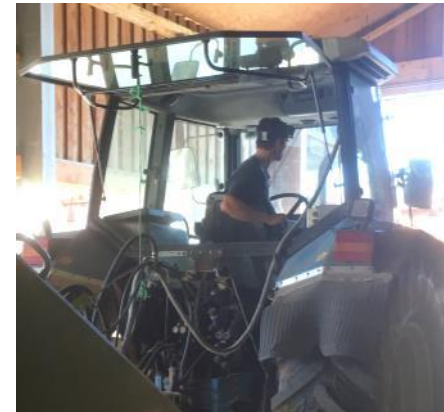
- Energieeffiziente, leistungsfähige Techniken stehen für die Trocknung zur Verfügung
 - Ziele der Energieeffizienzförderung der BLE 0,312 kWh / kg Wasserverlust werden mit allen Techniken bei günstiger Konstellation (Witterung, Trockengut usw.) erreicht – im Mittel liegt der **Energieeinsatz bei 0,5 kWh/kg Wasserverlust**
 - Einsatzbedingungen + Steuerung sind entscheidend!
- Trocknungsdauer sollte mind. 40 bis 60 Stunden betragen damit ein effizienter Energieeinsatz gewährleistet werden kann (zu schnelle und zu lange Trocknung kosten mehr Energie)
- Dachabsaugung und Nutzung vorhandener Wärme (Biogas-BHKW, Hackschnitzelheizung) ist ein muss
- Trocknung mit Strom = Luftentfeuchter ist energieeffizient aber in D oft die teuerste Lösung
- Trocknung mit regenerativer Wärme / Abwärme = nicht energieeffizient aber kostengünstiger (falls verfügbar)

1. Verfahrensübersicht
 2. Ergebnisse Heubelüftungsversuchsanlage/Praxisbetriebe
 - 3. Ergebnisse arbeitswirtschaftliche Untersuchungen**
 - 4. Ergebnisse Umfrage**
 - 5. Fazit**
-

Ziele der arbeitswirtschaftlichen Untersuchungen

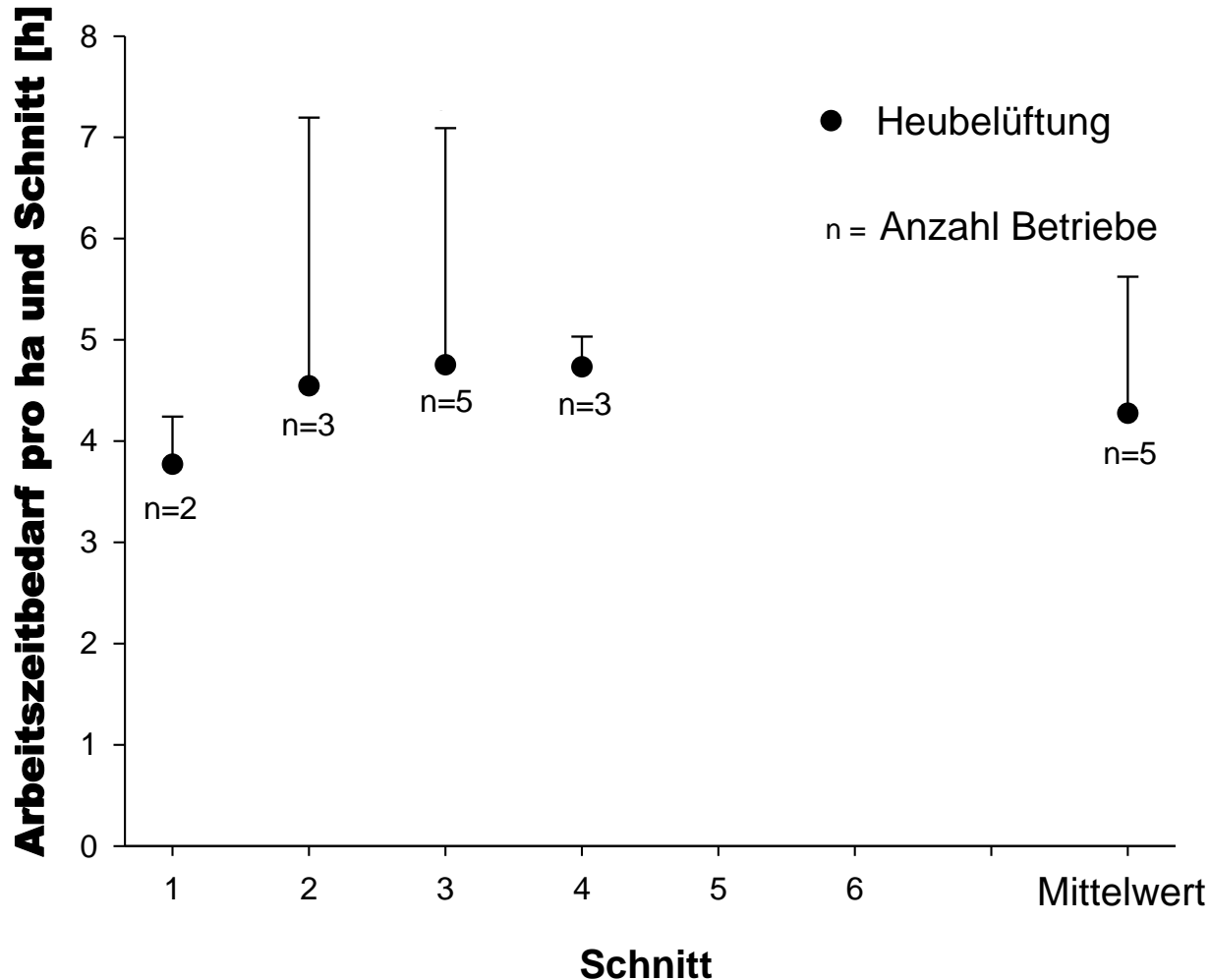
→ Untersuchung der „lose Verfahrenskette“ bei Belüftungsheuproduktion und -fütterung

- **Arbeitswirtschaftliche Ist-Situation** (Arbeitstagebücher)
 - Vergleich zur Silageproduktion und -fütterung
- **Ermittlung arbeitswirtschaftlicher Planungsdaten**
 - Exakte Zeitmessungen für ausgewählte Verfahren
 - Heueinfahren
 - Umlagern
 - Heufütterung
 - Erfassung der notwendigen Einflussgrößen
 - Eingefahrene Heutrockenmassemenge
 - Manipulierte Heutrockenmassemenge pro Greifer
 - Vorgelegte Heutrockenmassemenge beim Füttern
 - und viele andere
 - Erstellung der Kalkulationsmodelle zur Berechnung des Arbeitszeitbedarfs



Arbeitswirtschaftliche Ist-Situation (Ergebnisse Arbeitstagebücher)

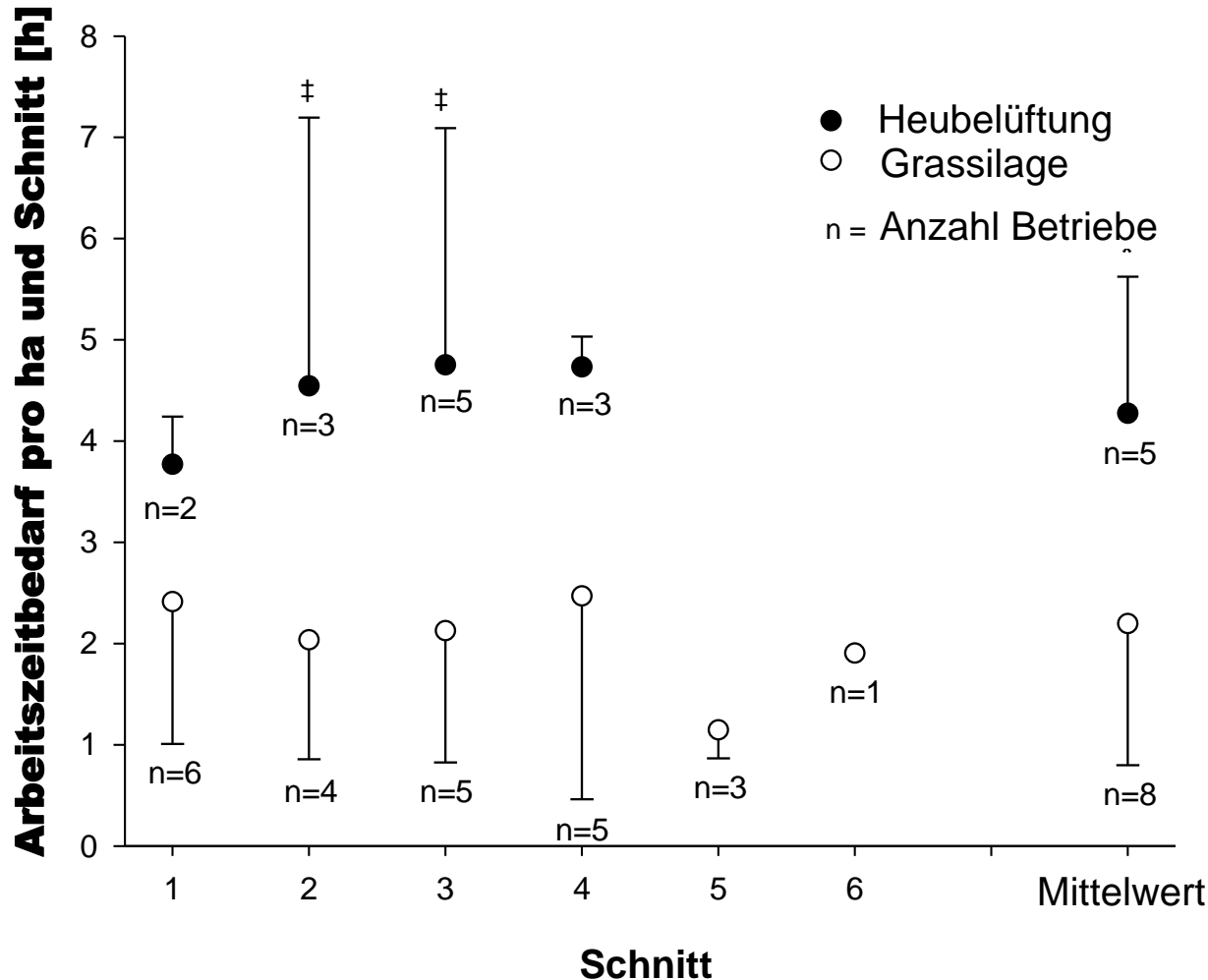
Arbeitszeitbedarf für die Produktion von Belüftungsheu



7,63±4,20 ha

Arbeitswirtschaftliche Ist-Situation (Ergebnisse Arbeitstagebücher)

Arbeitszeitbedarf für die Produktion von Belüftungsheu und Grassilage



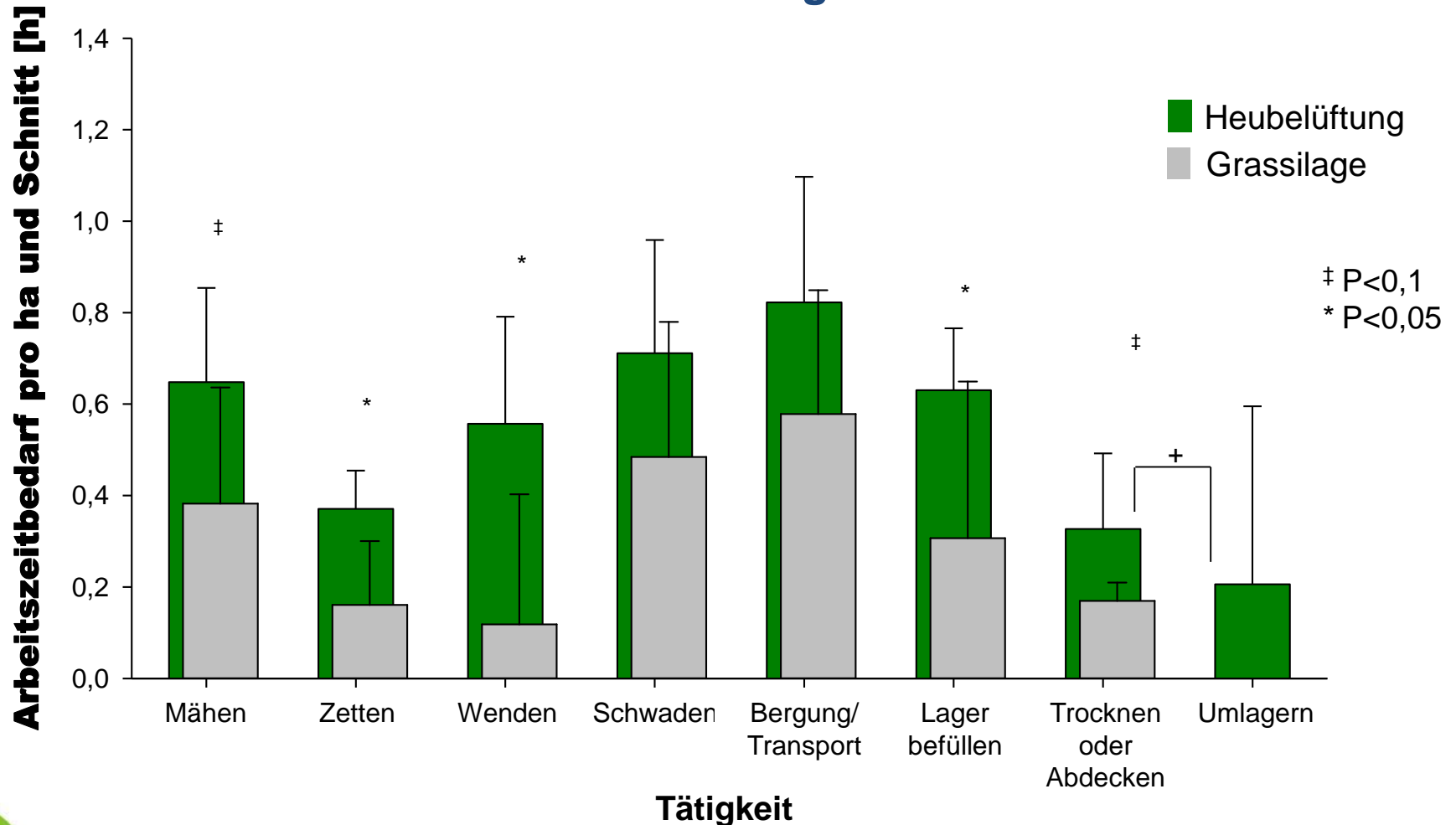
7,63±4,20 ha



23.14±14.30 ha

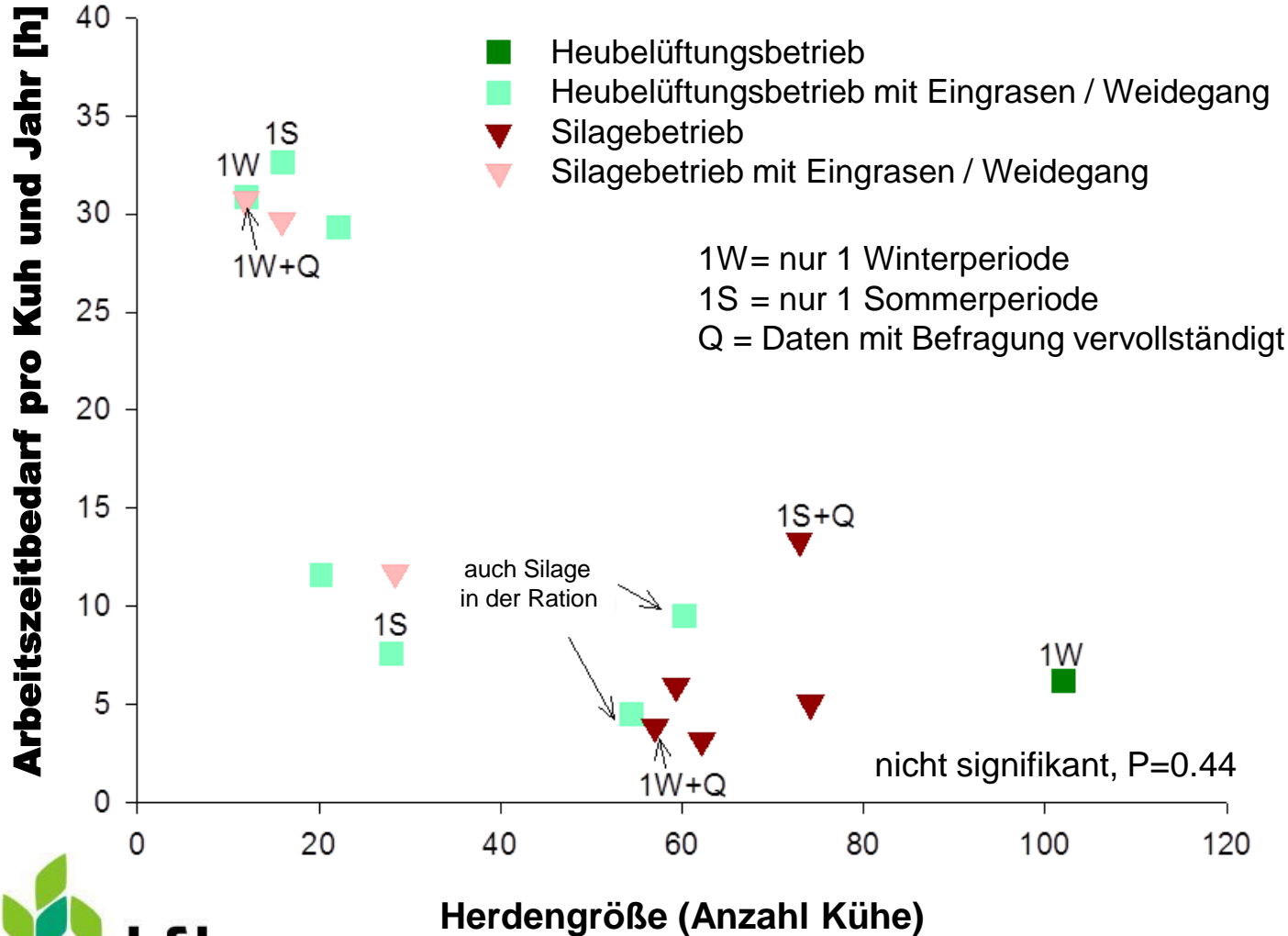
Arbeitswirtschaftliche Ist-Situation (Ergebnisse Arbeitstagebücher)

Arbeitszeitbedarf für Tätigkeiten bei der Produktion von Belüftungsheu und Grassilage



Arbeitswirtschaftliche Ist-Situation (Ergebnisse Arbeitstagebücher)

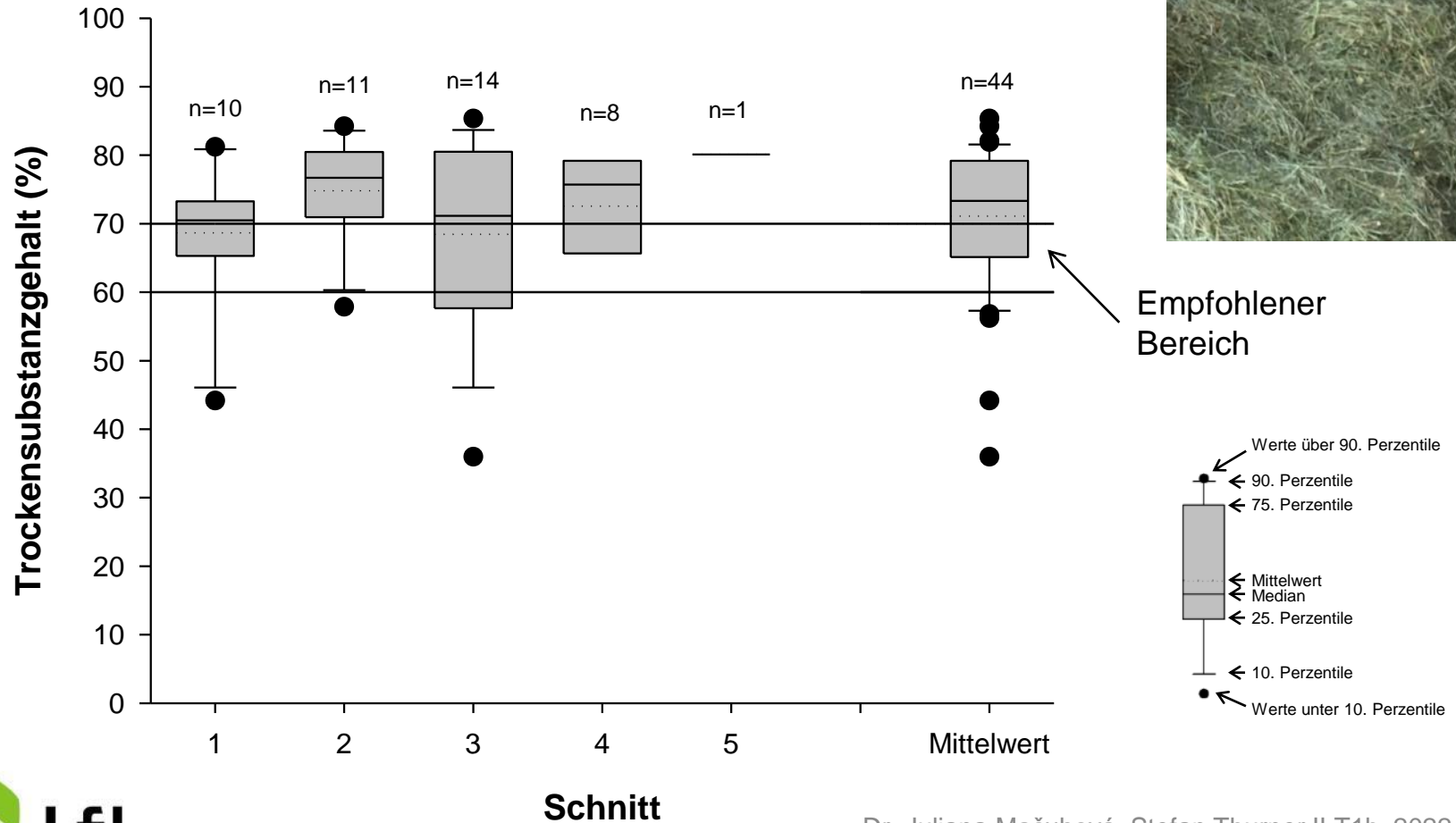
Fütterung der Kühe (2016 bis 2018)



Exakte Zeitmessungen - Erfasste Daten

Trockensubstanzgehalt des Ernteguts beim Einfahren (Schnitte 2017/2018)

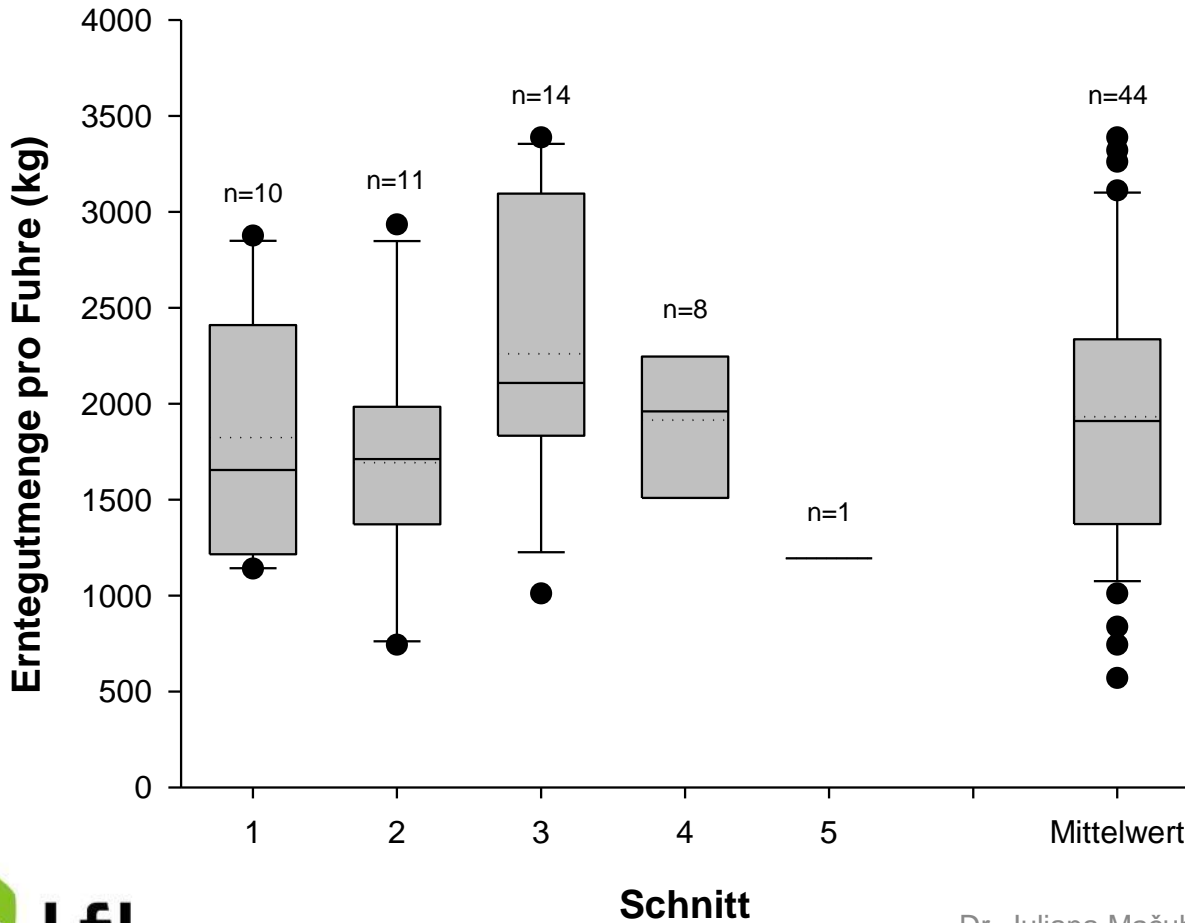
(Verteilung der Durchschnittswerte je Erntevorgang)



Exakte Zeitmessungen - Erfasste Daten

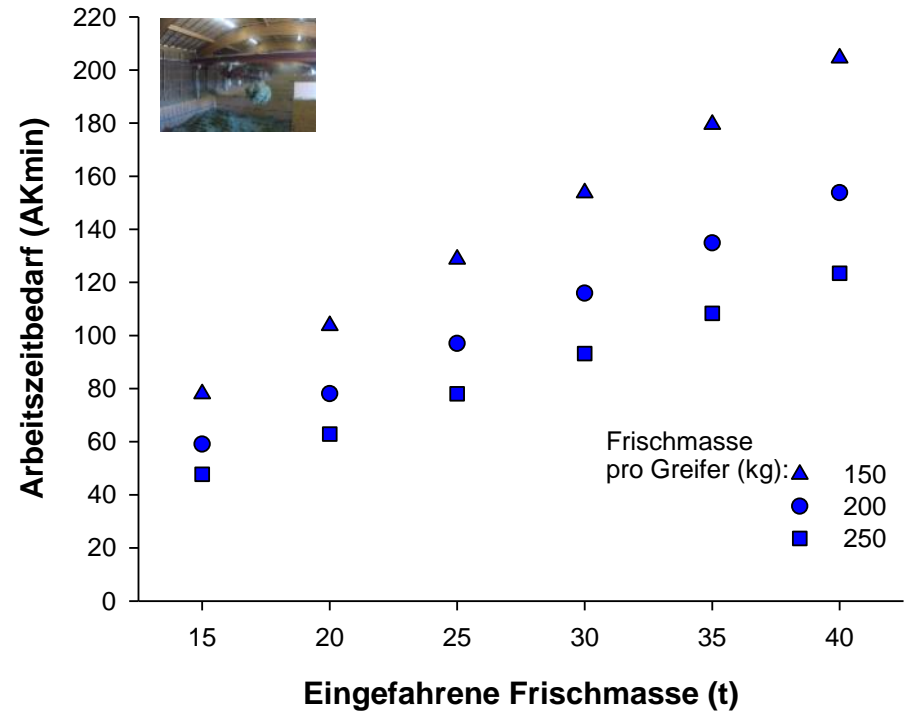
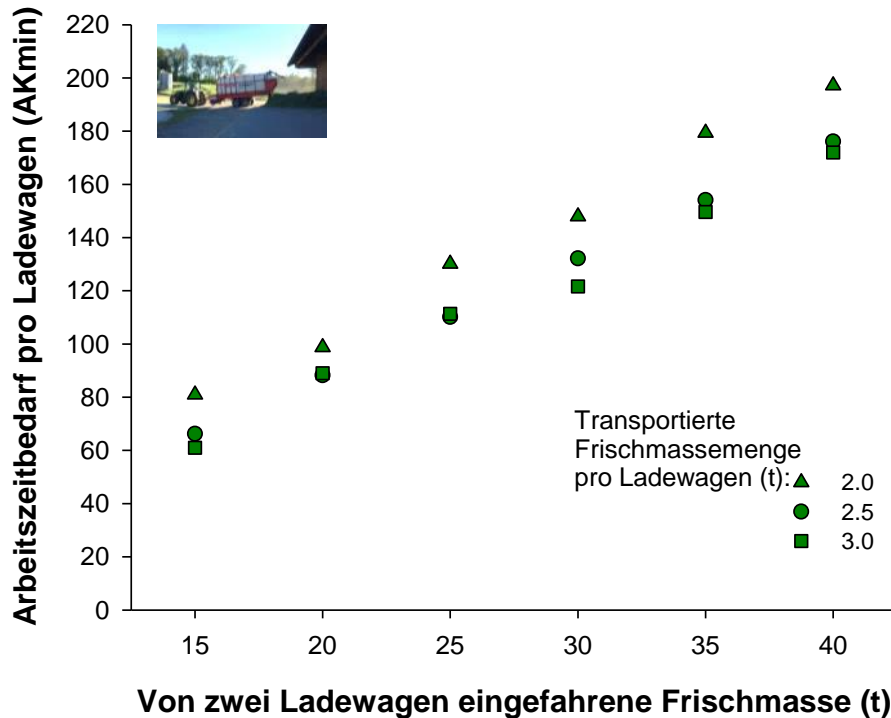
Eingefahrene Frischmasse (Schnitte 2017/2018)

(Verteilung der Durchschnittswerte je Erntevorgang)



Exakte Zeitmessungen – Ermittlung der Planungsdaten

Lose Verfahrenskette : Bergung mit Ladewagen, Nachschieben des Heus beim Einlagern, Einlagern mit Kran (diagonale Bewegung möglich)



Annahmen: Arbeitsbreite Schwader 12 m
 Frischmasseertrag 2,4 t/ha
 Trockensubstanz des Heus beim Einfahren 70 %
 Zeitbedarf je Fuhre für einfache Strecke Feld - Hof 5 min

Annahmen: mittlere zu fahrende Strecke beim Kran 23,65 m

Zusammenfassung

Arbeitswirtschaftliche Ist-Situation

Grünfutterente

- Für die Belüftungsheuproduktion haben die untersuchten Betriebe pro ha und Schnitt im Durchschnitt 2,5 mal länger als für die Silageproduktion benötigt.



Fütterung der Kühe

- Beim Füttern der Kühe überwiegend mit Belüftungsheu konnte kein arbeitswirtschaftlicher Vorteil im Vergleich zur Fütterung überwiegend mit Silage beobachtet werden.

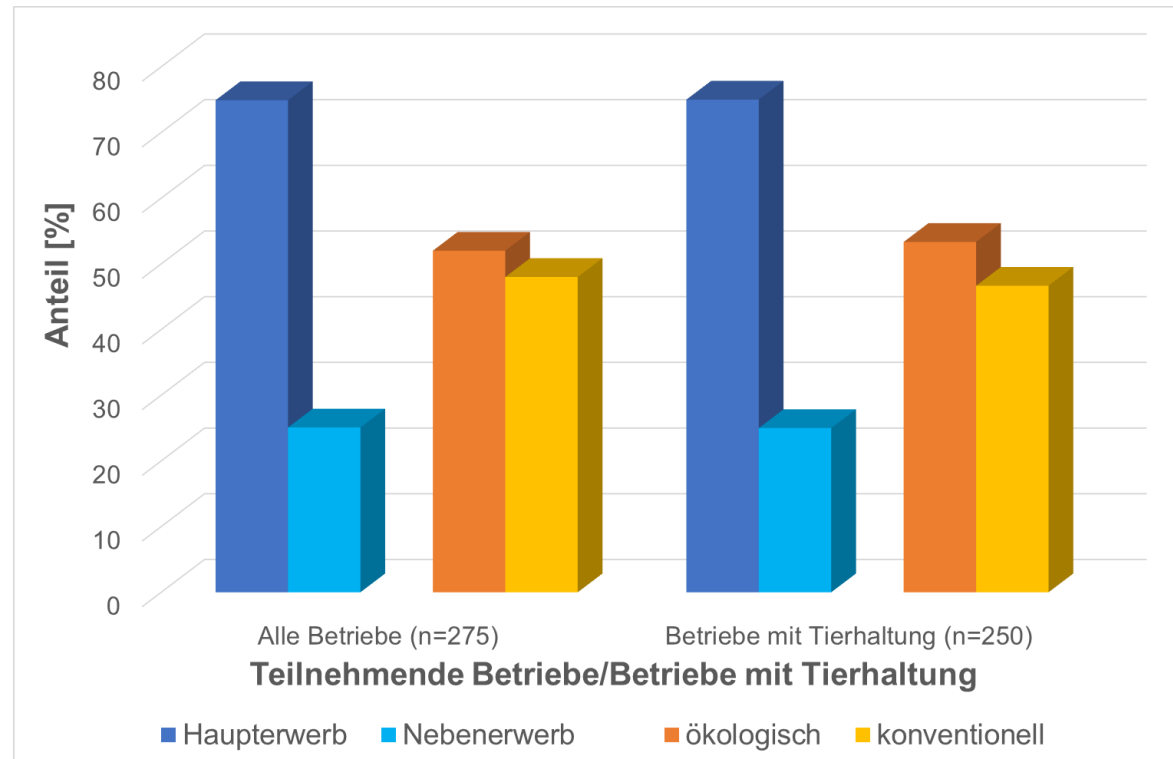


Kalkulationsmodelle bieten Planungsdaten

1. Verfahrensübersicht
 2. Ergebnisse Heubelüftungsversuchsanlage/Praxisbetriebe
 3. Ergebnisse arbeitswirtschaftliche Untersuchungen
 - 4. Ergebnisse Umfrage**
 - 5. Fazit**
-

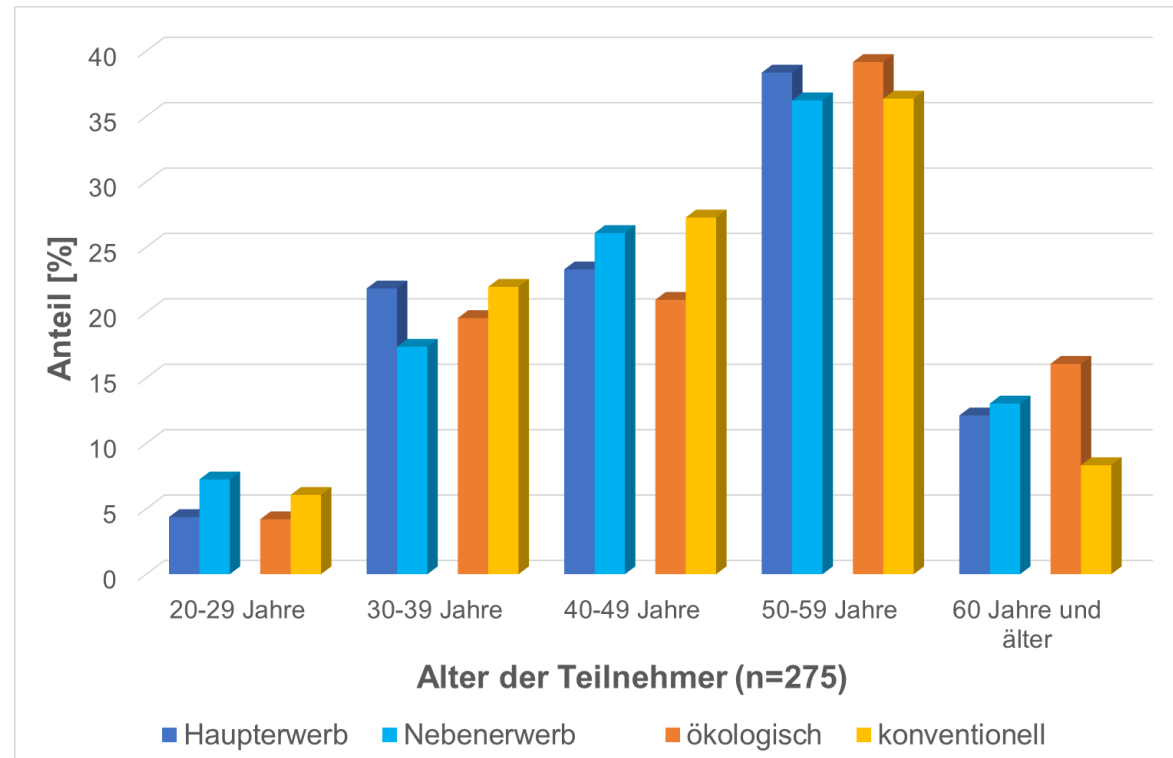
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Umfrage im Winter 2020/21 durchgeführt
- Rücklaufquote Bayern: 51,3 % (n= 275 Rückmeldungen)
- 86 % Schwaben, 12 % Oberbayern, Rest 2 %
- 3/4 Haupterwerbsbetriebe, 1/4 Nebenerwerbsbetriebe
- ~1/2 Öko und konv.



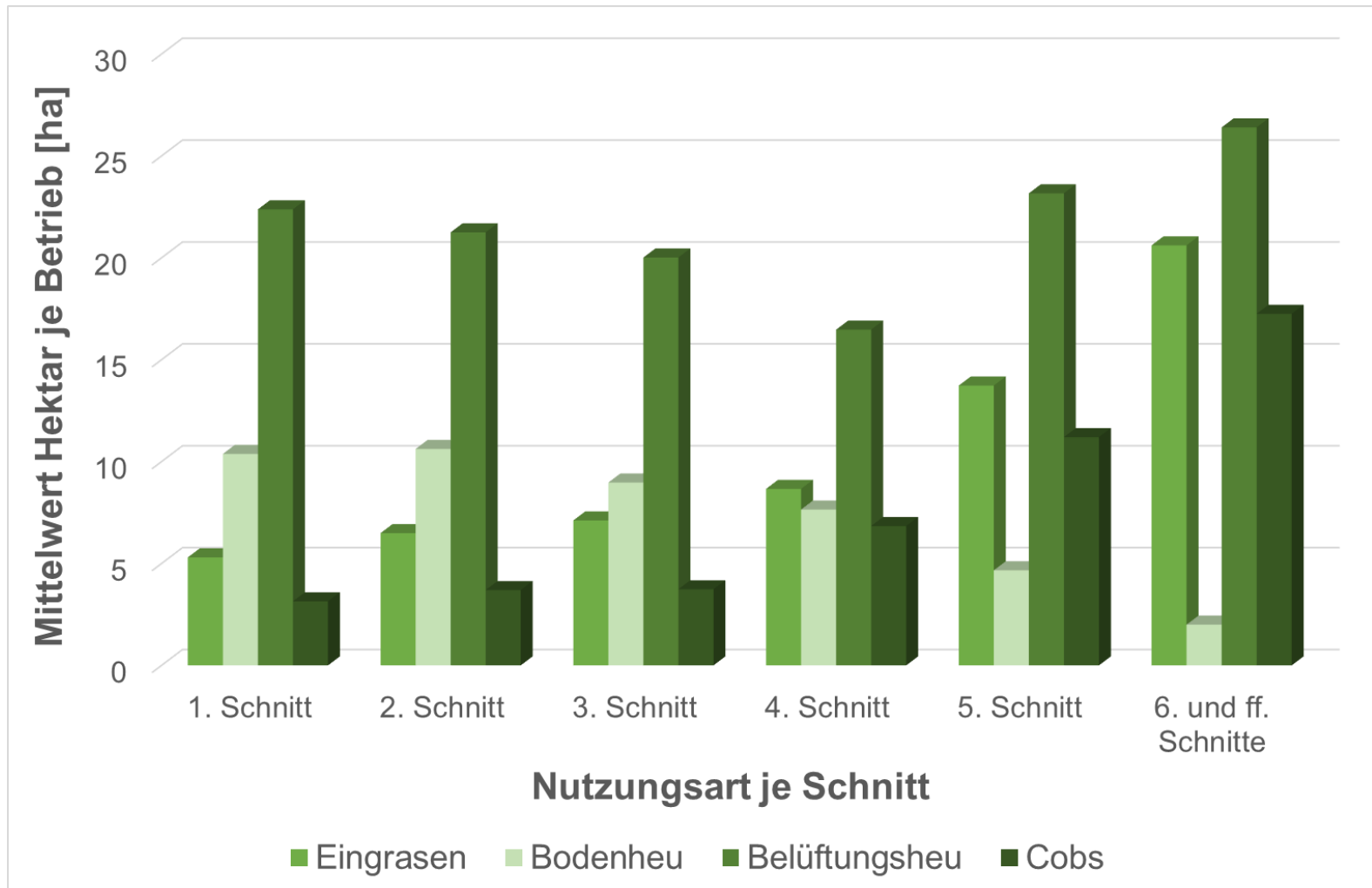
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Umfrage im Winter 2020/21 durchgeführt
- Rücklaufquote Bayern: 51,3 % (n= 275 Rückmeldungen)
- 86 % Schwaben, 12 % Oberbayern, Rest 2 %
- 3/4 Haupterwerbsbetriebe, 1/4 Nebenerwerbsbetriebe
- ~1/2 Öko und konv.
- Vergleichsweise mehr jüngere Betriebsleiter



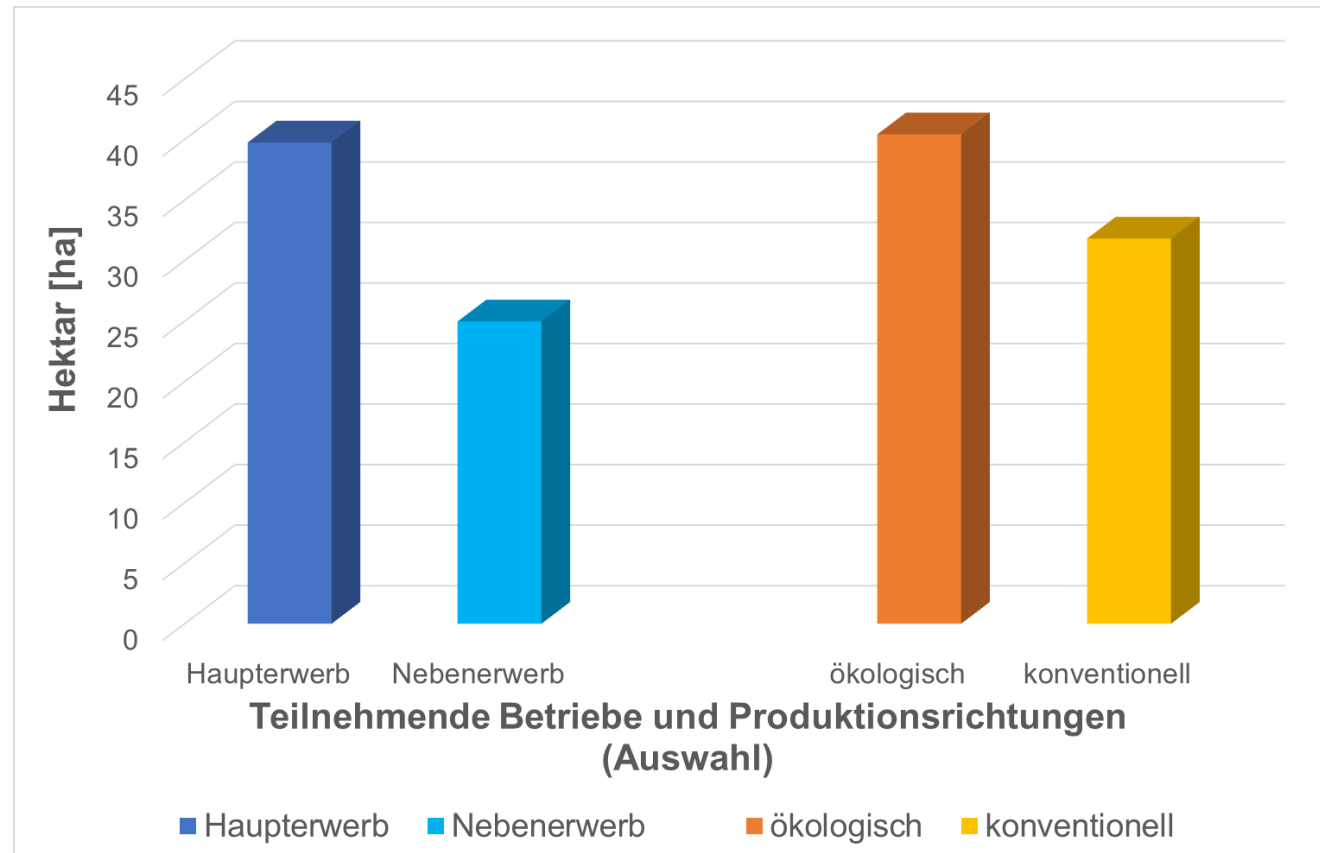
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Grünlandnutzung sehr differenziert (abgestufte Grünlandnutzung)



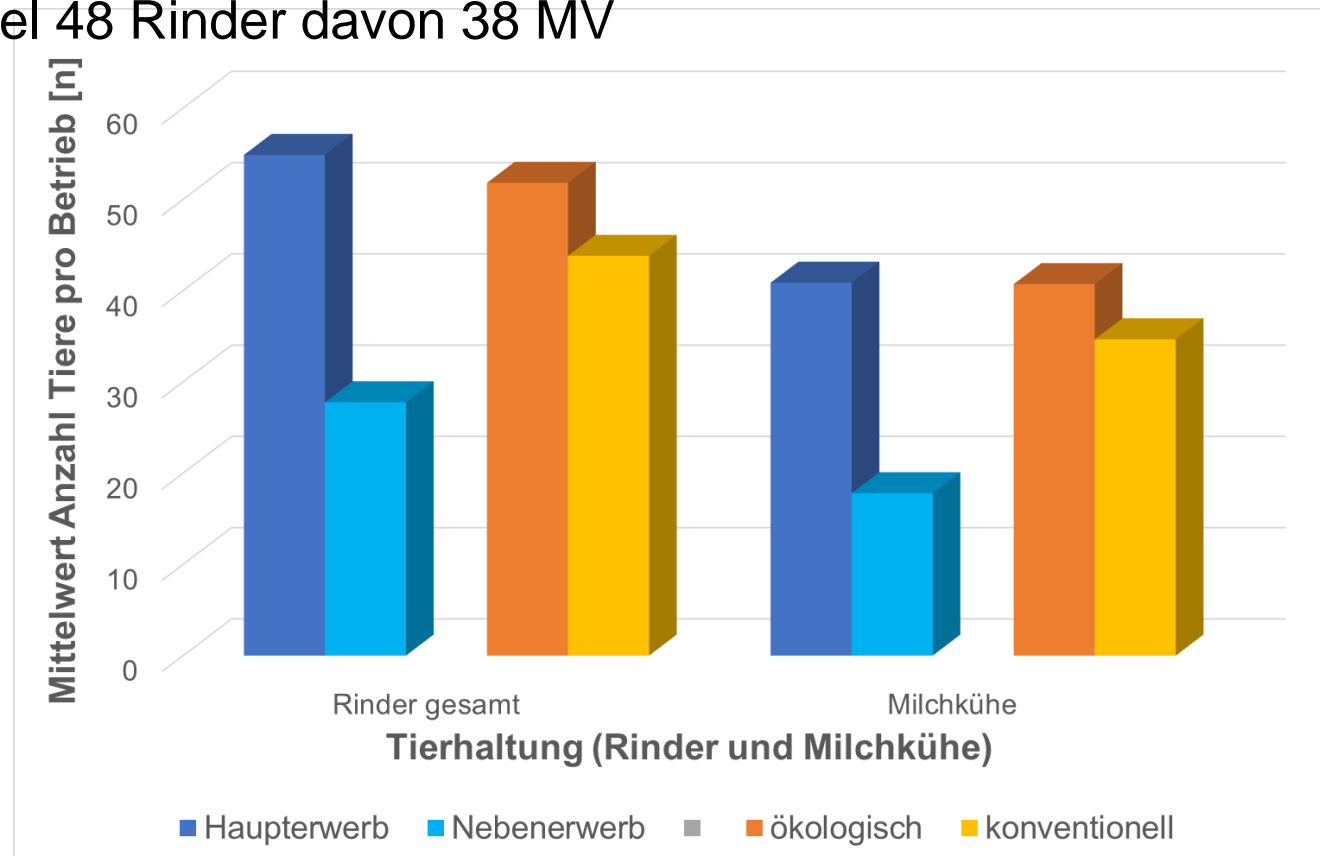
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Grünlandnutzung sehr differenziert (abgestufte Grünlandnutzung)
- Flächenausstattung - konventionell: $31,8 \pm 27,8$ ha
- ökologisch: $40,4 \pm 24,8$ ha



Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Grünlandnutzung sehr differenziert (abgestufte Grünlandnutzung)
- Flächenausstattung - konventionell: $31,8 \pm 27,8$ ha
- ökologisch: $40,4 \pm 24,8$ ha
- Tierhaltung im Mittel 48 Rinder davon 38 MV

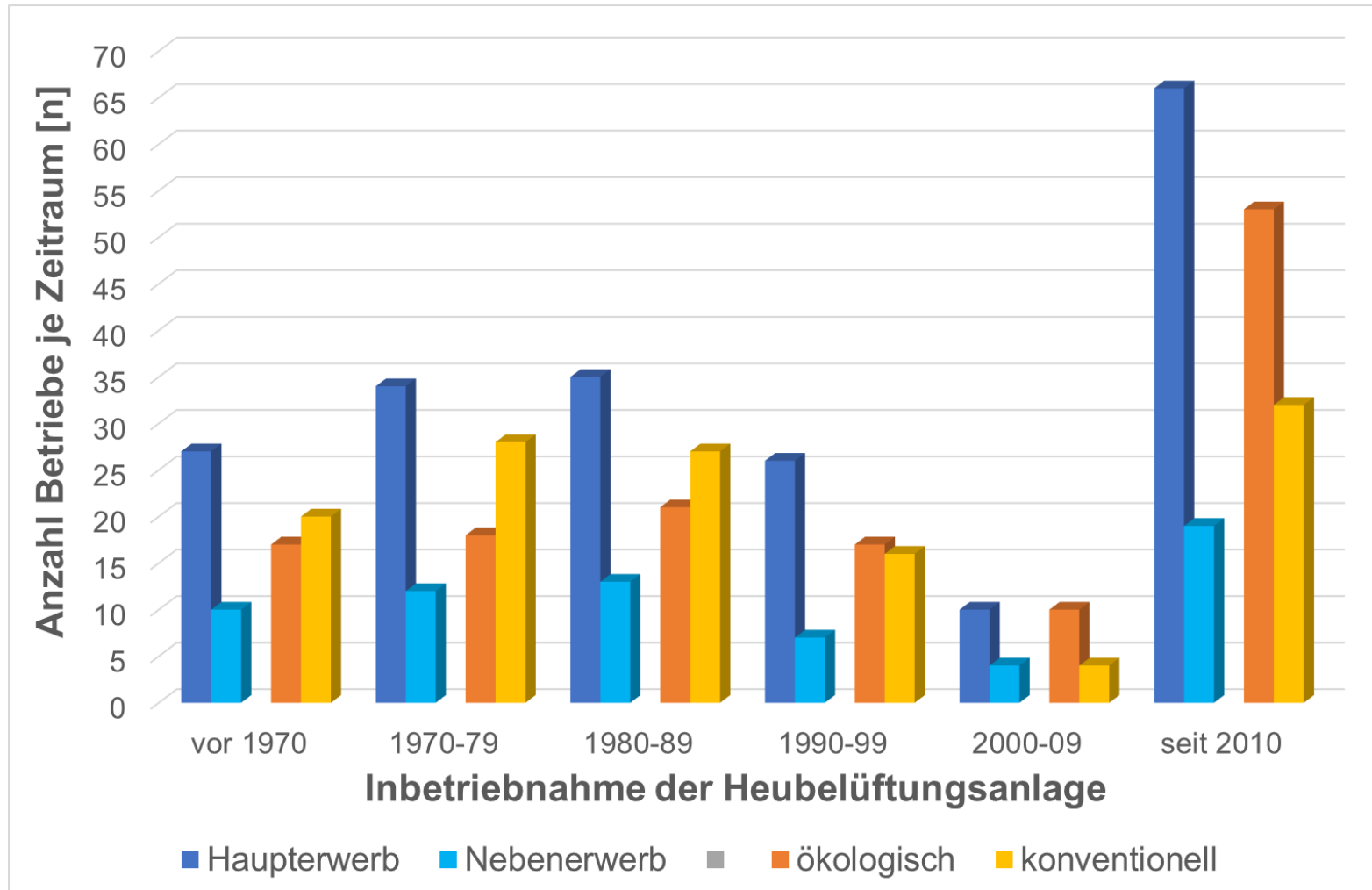


Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Grünlandnutzung sehr differenziert (abgestufte Grünlandnutzung)
- Flächenausstattung - konventionell: $31,8 \pm 27,8$ ha
- ökologisch: $40,4 \pm 24,8$ ha
- Tierhaltung im Mittel 48 Rinder davon 38 MV
- 230 Betriebe Boxentrocknung, 21 Ballentrocknung, 12 beides

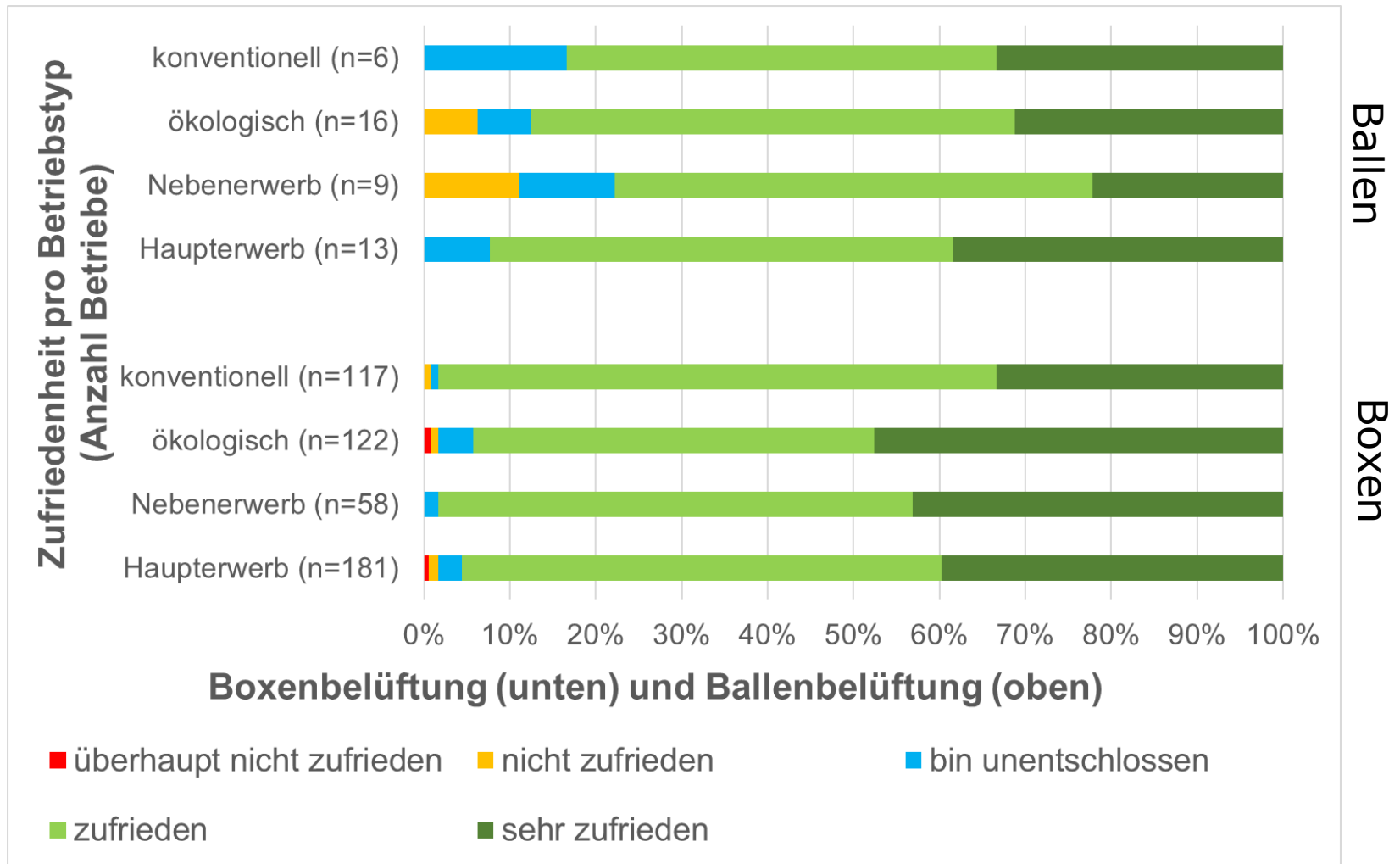
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Jahr der Inbetriebnahme der Heubelüftungsanlage



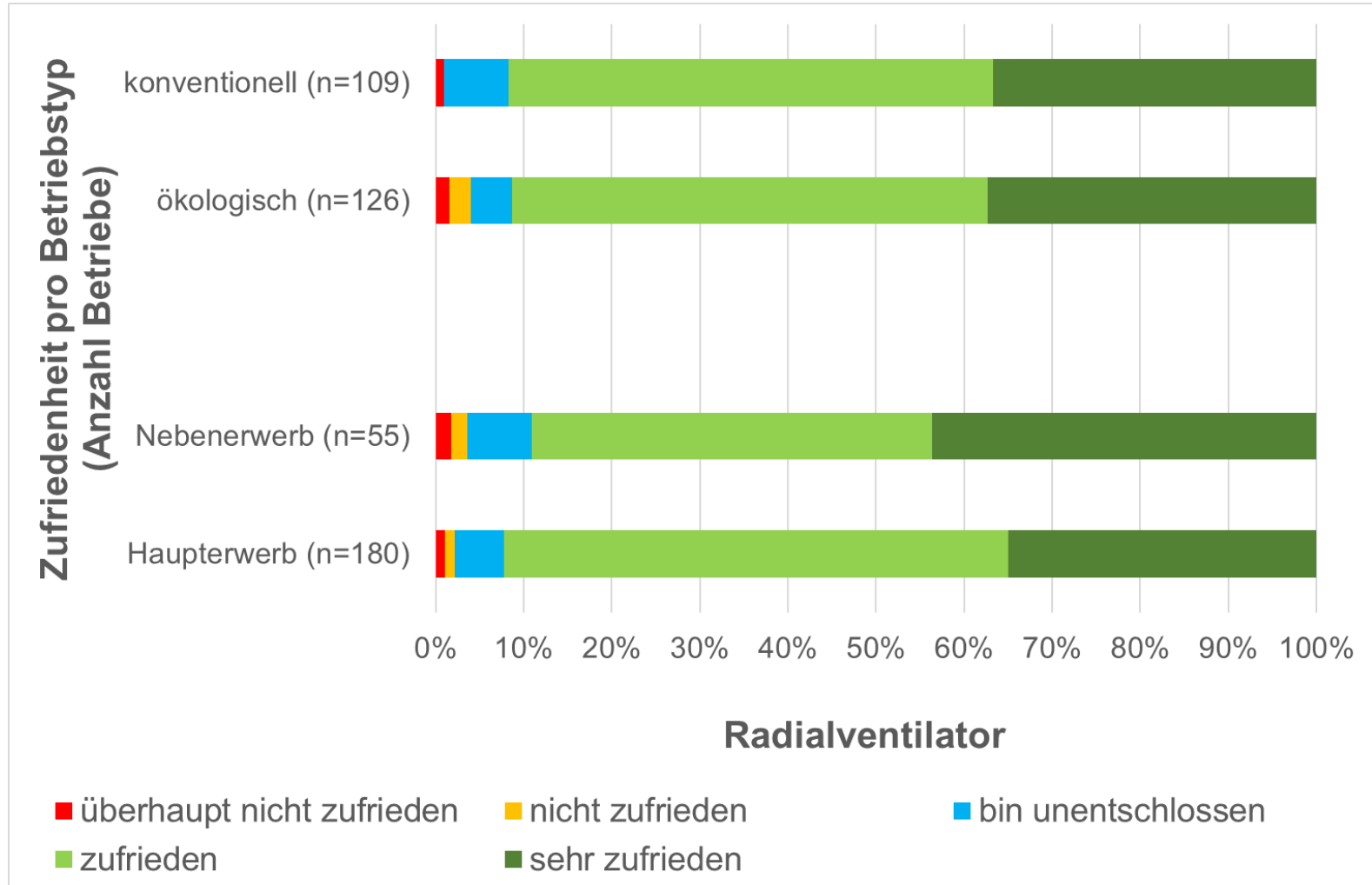
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Zufriedenheit mit System Boxen-/Ballenbelüftung



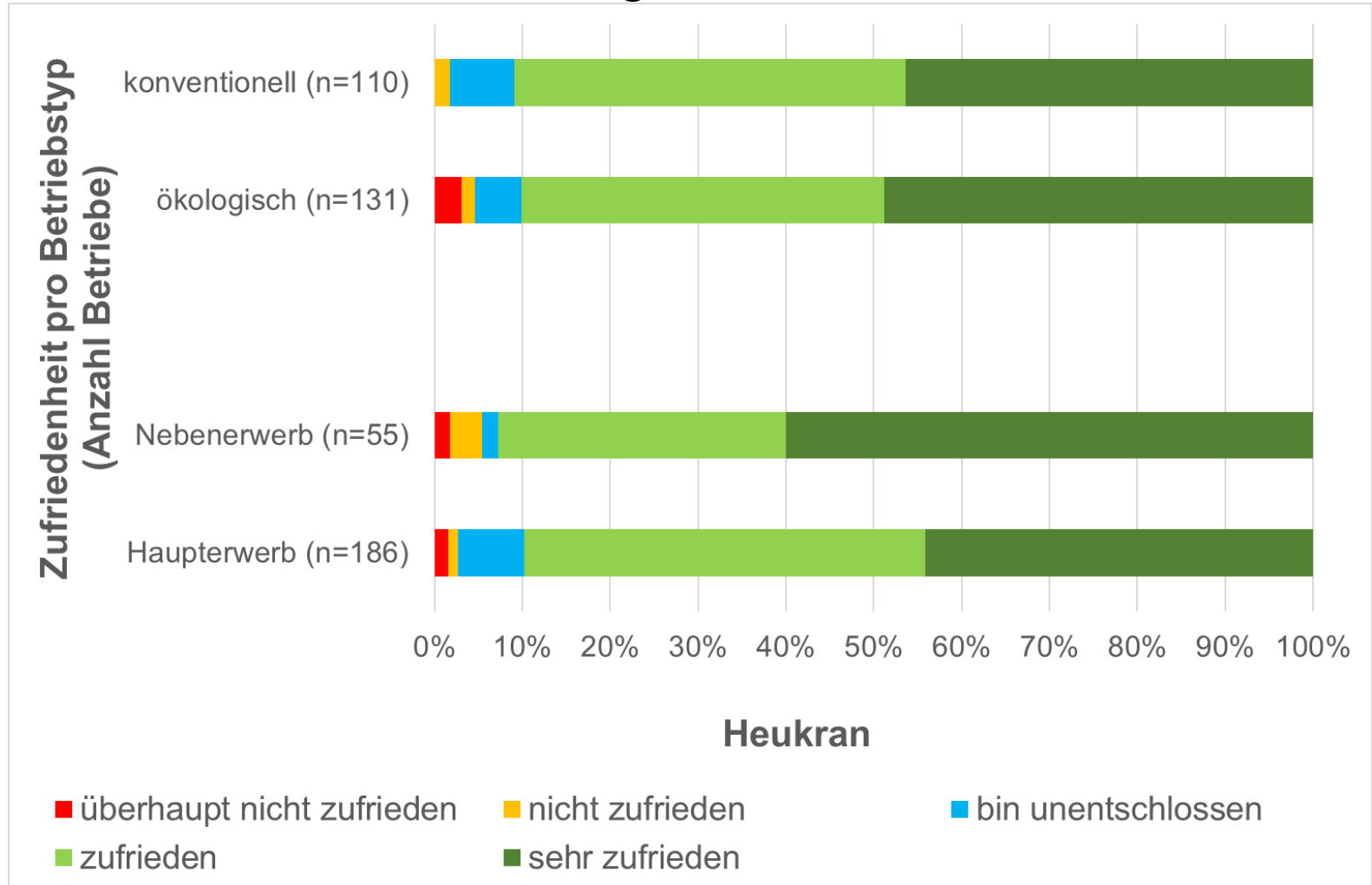
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

● Zufriedenheit mit dem Radialventilator



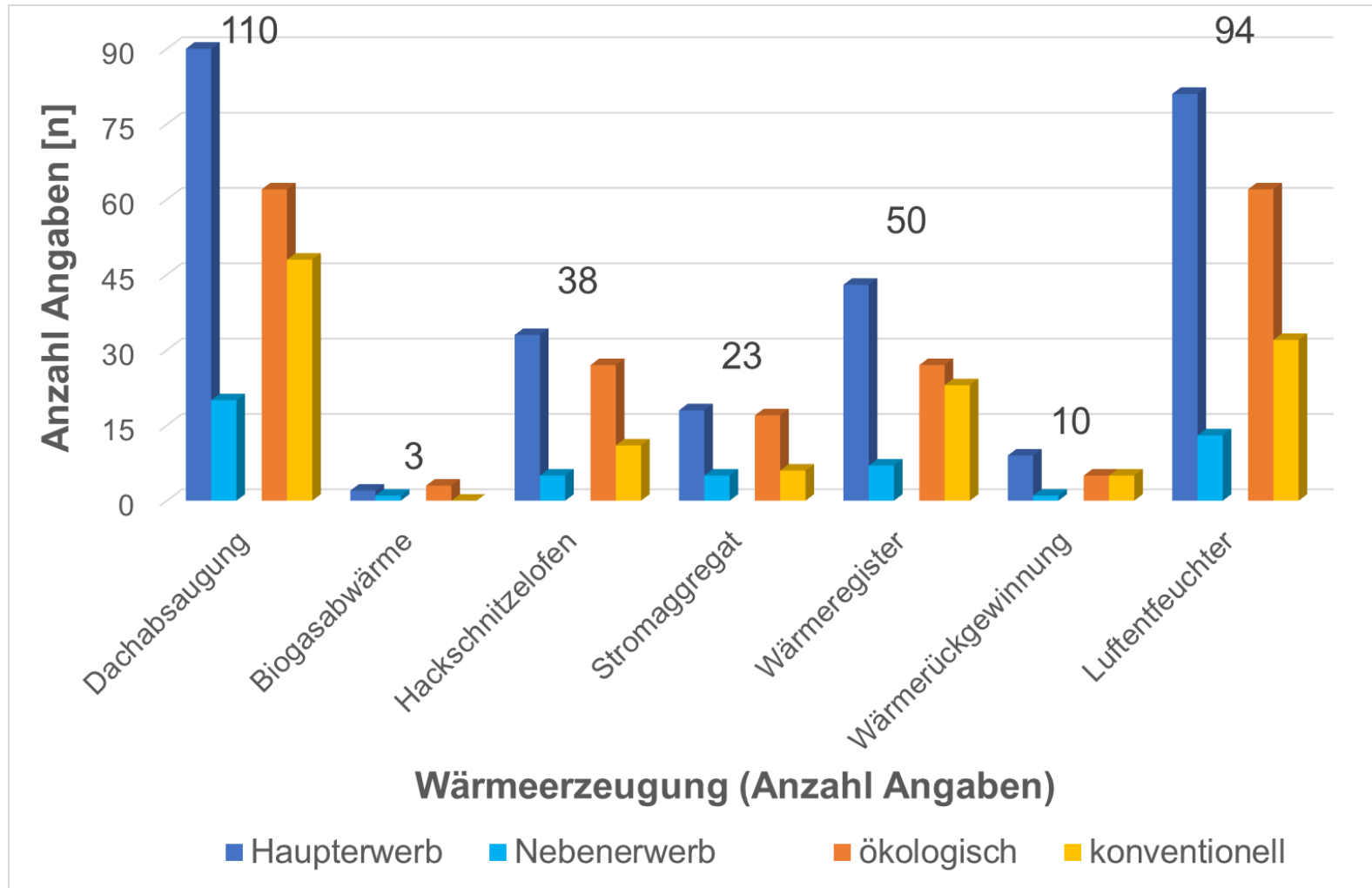
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

● Zufriedenheit mit dem Hängedrehkran



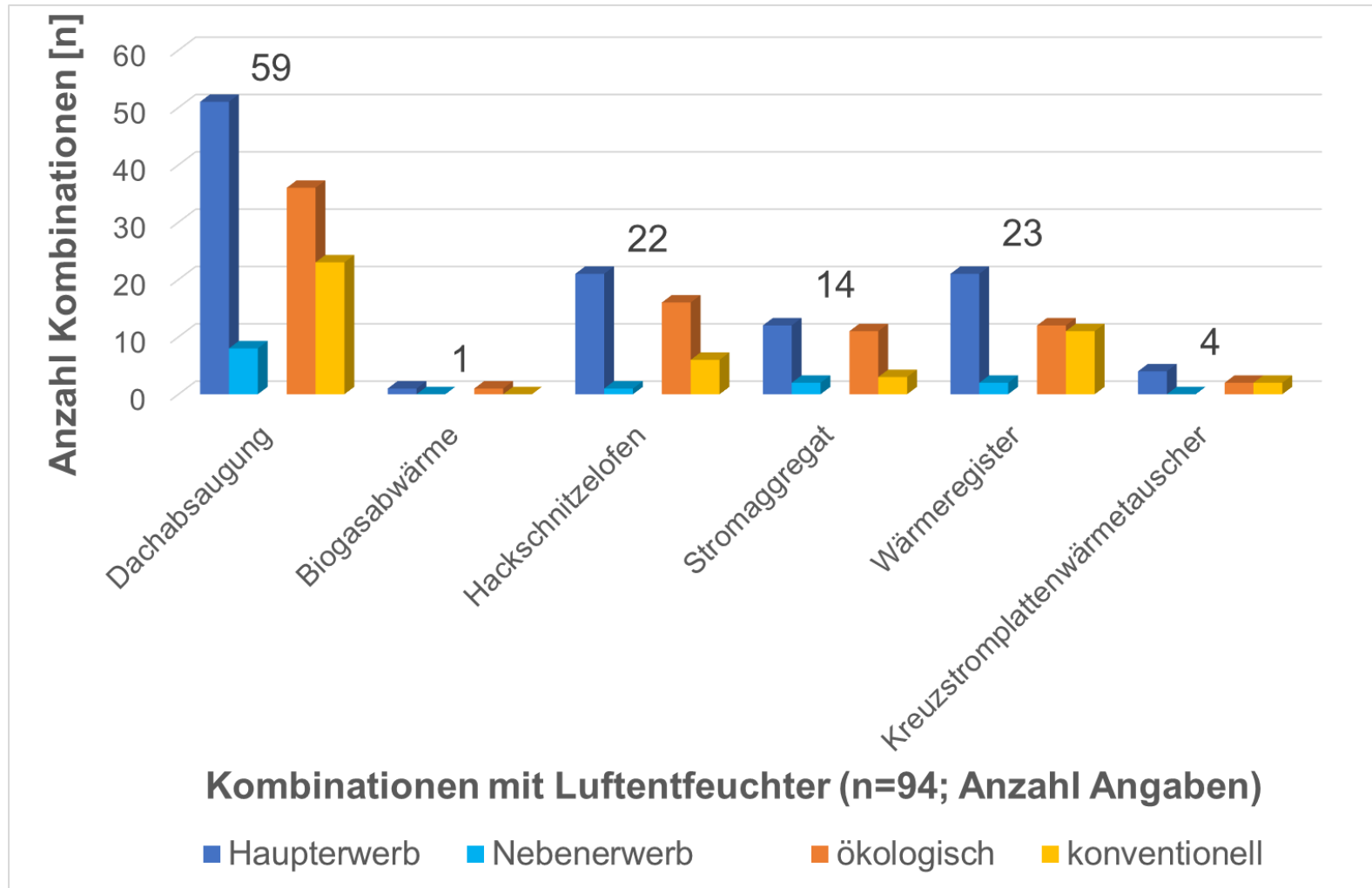
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Angaben zur Wärmeerzeugung



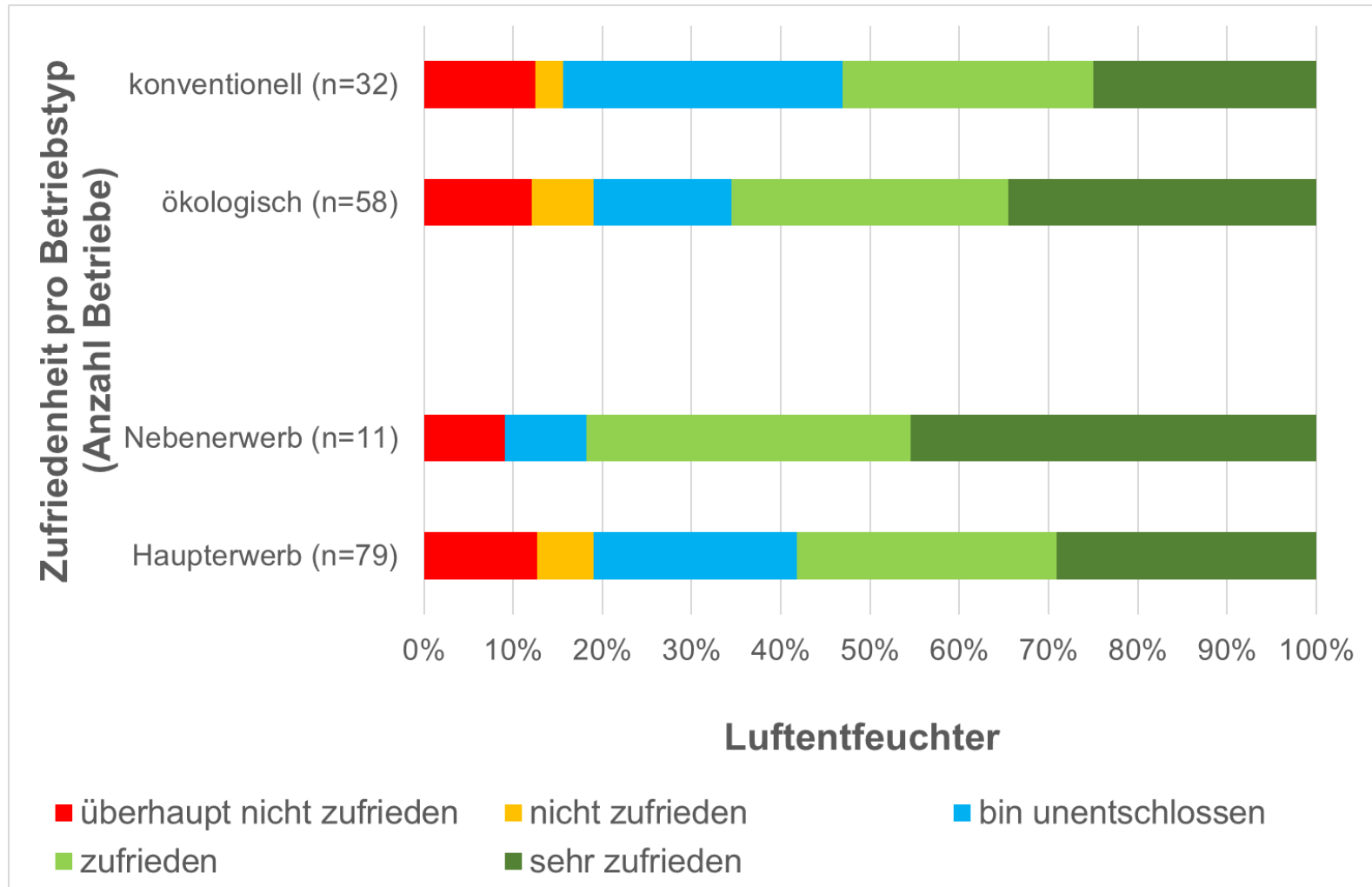
Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Angaben zur Kombination Luftentfeuchter+Wärmeerzeugung



Ergebnisse Umfrage Heubelüftungstechnik

- Zufriedenheit mit dem Luftentfeuchter



Änderungen im Betrieb bei Umstellung auf Belüftungsheu (I)

- Ernte mindestens beim 1. und 2. Schnitt in 2 - 3 Chargen erforderlich → statt bisher 4 - 5 Silagekampagnen werden dann 5 - 8 Heuerntemaßnahmen erforderlich → abgestufte Grünlandnutzung kann somit ideal realisiert werden!
- Das Mähen erfolgt wie beim Silieren i. d. R. mit Aufbereiter (Vorsicht bei Bienen und Insekten!) beim Ähren- und Rispschieben der Hauptbestandbildner → Qualität!!
- Angestrebter TS-Gehalt ~ 60 % (Rundballen ~65 %) → es muss 1 - 3 mal öfter gewendet werden und die Feldliegezeit ist je nach Witterung etwas länger als bei Silage
- Rechtzeitiges Schwaden (> 60 % TS-Gehalt hohe Bröckelverluste)
- Bergung nur mit Ladewagen → keine Verdichtung des Anwelkguts oder Rundballenpresse möglich → Ballen muss gleichmäßige Dichte aufweisen (kein weicher Kern, keine stark verdichteten Stellen, Ziel: 190 - 200 kg Frischmasse/m³)

Änderungen im Betrieb bei Umstellung auf Belüftungsheu (II)

- Schlagkraft der Technik (und somit auch Maschinenkosten) kann i. V. zur Silagekette reduziert werden (da mehrere Chargen)
- Weniger Gewicht ist zu transportieren und Erntetechnik ist leichter → weniger Narbenschäden und Bodenverdichtung
- Geringerer Personalbedarf für einzelne Erntemaßnahme aber insgesamt höherer Arbeitsaufwand für gesamte Ernte
- Ernte soll bis 21:00 Uhr abgeschlossen sein → Nutzung der Wärme aus der Unterdachabsaugung und Vermeidung von Tau
- Abdecken und Aufdecken des Silagehaufens entfällt
- Notwendiger Vorschub pro Woche ist bei Heu nicht relevant
- Fütterung wird einfacher (i. d. R. nur noch Heu und Kraftfutter) aber Grundfutterbedarf steigt

Fazit

- + Effiziente Technik für alle Betriebsgrößen steht zur Verfügung
- + Unterdachabsaugung und eigene Wärmequellen (Biogas-BHKW, Hackschnitzel) senken die Kosten
- + Unterdachtrocknung senkt das Ernterisiko
- + Hohe Futterqualität mit geringen Verlusten
- + Vermarktung als Heumilch bringt höhere Wertschöpfung
- Hohe Investitionskosten und hohe variable Kosten
- Höherer Arbeitsaufwand bei der Ernte und für das Belüften
- Milchvermarktung mit Aufpreis erforderlich
- Zusätzliche Anforderungen des Heumilchregulativs
- Neueinsteiger „zahlen Lehrgeld“

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wir danken

- dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Finanzierung des Forschungsprojekts (A/18/06)
- den Firmen Arwego, Frigortec, Gerätebau Birk und Waltinger für das Sponsoring der Technik für die Heubelüftungsversuchsanlage
- den beteiligten Landwirten für die bereitwillige Zusammenarbeit
- der ILT-Werkstatt und der AG Messtechnik für die unermüdliche Unterstützung



Stefan.Thurner@LfL.Bayern.de
Juliana.Macuhova@LfL.Bayern.de