



**Optimierte Kälbergruppenhaltung in der
Ökologischen Milchviehhaltung
Teilprojekt III
Aufbau und Untersuchung von Grobraumhütten
mit Gründach aus ökologischen Baustoffen im
Hinblick auf Stallklima und Funktionalität**

Erstellt von:

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Institut für Betriebstechnik und Bauforschung
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
Tel.: +49 531 5964329
E-Mail: heiko.georg@fal.de
Internet: <http://www.fal.de>

Gefördert vom Bundesministerium
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Dieses Dokument ist über <http://forschung.oekolandbau.de> verfügbar.



Abschlussbericht

Projekt 02OE057

*„Optimierte Kälbergruppenhaltung in der
ökologischen Milchviehhaltung“*

Teilprojekt:

„Aufbau und Untersuchung von Großraumhütten mit Gründach aus ökologischen
Baustoffen im Hinblick auf Stallklima und Funktionalität“

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Institut für Betriebstechnik und Bauforschung
38116 Braunschweig

Dr. Heiko Georg
Dipl.-Ing. agr. Gracia Ude
Dipl.-Ing. Frank Möller

Berichtszeitraum: 1.7.2002 bis 31.12.2004

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele und Aufgaben	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	Planung und Ablauf des Projekts	1
1.3	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	3
1.3.1	Gesetzliche Anforderungen und Vorschriften	3
1.3.1.1	Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung	3
1.3.1.2	EU-Öko-Verordnung	5
1.3.2	Literaturübersicht	5
2	Material und Methoden	6
2.1	Bau- und Werkstoffe	6
2.1.1	LNS (Light-Natural-Sandwich)	6
2.1.1.1	Der Kernstoff	7
2.1.1.2	Eigenschaften von Leichtbauwerkstoffen aus Naturstoffen	7
2.1.2	Glasfaserverstärkte Kunststoffe	8
2.2	Aufbau der LNS-Hütten	9
2.3	Gründach	12
2.4	Tiere	13
2.5	Versuchsaufbau	14
2.6	Messmethodik	15
2.6.1	Hüttenklima	15
2.6.2	Schadgase	16
2.6.3	Emissionen.....	17
2.6.4	Hitzestress/Herzfrequenz.....	18

2.6.5	Thermografie	19
2.7	Datenerfassung und Statistik	21
2.7.1	Datenaufnahme	21
2.7.2	Datenbearbeitung	21
2.7.3	Datenauswertung	21
3	Ergebnisse	22
3.1	Funktionalität	22
3.2	Preisvergleich	24
3.3	Material/Haltbarkeit	24
3.4	Klima	26
3.4.1	Schadgase - Sommerklima	26
3.4.2	Schadgase - Winterklima	29
3.4.3	Emissionen – Passivsammler	31
3.4.4	Hitzestress/Herzfrequenz	32
3.4.5	Thermografie	34
4	Zusammenfassung	38
5	Schlussbilanz	39
5.1	Soll- / Ist-Vergleich	39
5.2	Ausblick	39
5.3	Abweichungen vom Versuchsplan	39
6	Wissenstransfer	40
6.1	Medien	40
6.2	Fachvorträge Zielgruppe Landwirte	40
6.3	Vorträge Zielgruppe Wissenschaft und Beratung	40

7	Literatur.....	41
8	Kurzfassung.....	42
8.1	Deutsch.....	42
8.2	Englisch.....	43

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Ablaufschema zum Wechsel der Kälbergruppen zwischen den einzelnen Teilprojekten und Herkunftsbetrieb.....
- Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Großraumhütten aus ökologischen Baustoffen und glasfaserverstärkten Kunststoffen
- Abbildung 3: Aufbau von LNS-Werkstoffen (Möller 2004).....
- Abbildung 4: Aufbau der LNS-Prototypen mit Gründach.....
- Abbildung 5: Details der Befestigung der LNS-Platten in selbsttragender Modulbauweise.....
- Abbildung 6: LNS-Hütte nach Zusammenbau und Lackierung in der Montagehalle
- Abbildung 7: Erstmontage der Hütten nach Transport.....
- Abbildung 8: Gründach auf einer LNS-Hütte Mai 2003
- Abbildung 9: Versuchsaufbau zur Vergleichsuntersuchung von Großraumhütten aus ökologischen Baustoffen im Hinblick auf Stallklima und Funktionalität
- Abbildung 10: Multigasmonitor zur Schadgasmessung mit Messstellenumschalter und PC.....
- Abbildung 11: Mast mit Halterungen für Passivsammler (Pfeil)
- Abbildung 12: Kalb mit Herzfrequenzmonitor (Halsgurt) und Elektroden (Bauchgurt).....
- Abbildung 13: Thermobild der Wärmeverteilung auf der Seitenwand einer LNS-Hütte (innen)
- Abbildung 14: GFK- und LNS-Großraumhütte wurden zur einfachen Entmistung beiseite gehoben.....
- Abbildung 15: Gewichtsbestimmung mit einer Zugwaage für beide Großraumhütten.....
- Abbildung 16: LNS-Hütte im zeitlichen Abstand von einem Jahr (Versuchsanfang – Versuchsende)
- Abbildung 17: GFK-Großraumhütte nach 26 Monaten mit kleinen Rissen in der Oberflächenbeschichtung (links) und Rost an der Armierung (Befestigung Aufnahmeöse).....
- Abbildung 18: Anteil der NH₃-Konzentration in der Umgebungsluft und den verschiedenen Großraumhütten (Sommer-Situation).....
- Abbildung 19: Anteil CO₂ in den Kälberhütten und der Umgebungsluft (Sommer-Situation)
- Abbildung 20: Temperaturverteilung in den untersuchten Kälberhütten und der Umgebungsluft (Sommer-Situation)

Abbildung 21:	Verteilung der NH ₃ Konzentration in den Kälberhütten und der Umgebungsluft (Winter-Situation).....
Abbildung 22:	CO ₂ Konzentration in den Kälberhütten und der Umgebungsluft (Winter-Situation)
Abbildung 23:	Temperaturverteilung in den Kälberhütten und am Referenzmesspunkt (Wintersituation).....
Abbildung 24:	Mittlere NH ₃ Gehalte ausgewählter Passivsammler (Juni 03 bis März 04).....
Abbildung 25:	Mittlere Herzfrequenz für sechs Kälber bei unterschiedlicher Witterung
Abbildung 26:	Herzfrequenzmessung für ein Kalb der GFK-Gruppe (Liegephase markiert).....
Abbildung 27:	Herzfrequenzmessung für ein Kalb der LNS-Gruppe (Liegephase markiert)
Abbildung 28:	Temperaturverläufe in LNS-Hütten mit ohne Gründach sowie GFK im Vergleich zur Außentemperatur gemessen in der Sonne bzw. im Schatten (LNS 1 G = LNS mit Gründach, LNS 3 oG = LNS ohne Gründach, H & L 2 = GFK ohne Beschattung)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auszüge aus der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung, Teil 2, Anforderung an das Halten von Kälbern
Tabelle 2:	Eigenschaften von LNS- und anderen Plattenwerkstoffen im Vergleich
Tabelle 3:	Eigenschaften des Vegetationsteppichs als Gründach für LNS-Hütten
Tabelle 4:	Gruppenwechsel im Versuch Kälberhütten, Mittleres Gewicht für 24 Tiere zum Zeitpunkt der Ein- und Ausstallung
Tabelle 5:	Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung der Versuchsdaten mit SAS 9.1
Tabelle 6:	Kostenkalkulation für eine Großraumhütte aus LNS
Tabelle 7:	Außen- und Innenraumtemperaturen für verschiedene Hütten (AT-Sch = Außentemperatur Schatten, AT-So = Außentemperatur Sonne)
Tabelle 8:	Mittlere Temperaturen an der Innenoberfläche von Dach und Wand (DT und WT) sowie Innenraumtemperaturen (LT) bei vier verschiedenen Kälberhütten
Tabelle 9:	Gegenüberstellung von Zielsetzungen und Ergebnissen

1 Ziele und Aufgaben

1.1 Zielsetzung

Die Außenhaltung von Kälbern in Hütten hat sich bewährt, um die Tiere in der sensiblen Aufzuchtphase gesund zu halten. Anders als im Warmstall oder einem Abteil des Kuhstalls ist die Luft im Freiland trocken und keimarm. Die Haltung von Kälbern in Iglus und Hütten ist gewissermaßen eine Krankheits-Prävention, insbesondere für Atemwegserkrankungen. Zur Verfügung stehen verschiedene Hüttenformen für die Einzel- und Gruppenhaltung. Leider sind die am Markt erhältlichen Hütten oder Großraumiglus größtenteils aus Kunststoffen aufgebaut, die entweder nicht recyclingfähig sind (GfK) oder andere negative Eigenschaften haben, wie zum Beispiel Polyäthylen oder PVC, deren Weichmacher bei hohen Temperaturen ausdünsten können. Werden Kunststoffbauteile ohne zusätzliche Dämmung verwendet, bildet sich zudem Kondenswasser an der Innenoberfläche. Die Wände werden feucht und vereisen im Winter. Das eigentlich gute Stallklima in der Hütte wird durch das Baumaterial Kunststoff beeinträchtigt. Daraus leitet sich die Zielsetzung für das vorliegende Teilprojekt ab:

- ⊗ Aufbau und Untersuchung von Großraumhütten mit Gründach aus ökologischen Baustoffen im Hinblick auf Stallklima und Funktionalität
- ⊗ Teilziel: Ersatz von GfK und anderen Kunststoffen durch ökologische Baustoffe
- ⊗ Teilziel: Verbesserung des Stallklimas durch Verwendung natürlicher Baustoffe und Gründach

1.2 Planung und Ablauf des Projekts

Im Rahmen des Teilprojekts war eine Vergleichsuntersuchung von Großraumhütten für Kälber geplant. Dazu wurde zunächst ein Prototyp einer Großraumhütte aus nachwachsenden Rohstoffen geplant und aufgebaut. Für die Versuchsdurchführung wurden zwei identische Exemplare dieser Großraumhütte aus ökologischen Baustoffen hergestellt. Als Vergleichsobjekte dazu wurden Hütten aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GfK) beschafft, die auf dem Markt erhältlich sind. Zur weiteren Verbesserung der LNS-Variante wurde auf den Dächern der beiden Hütten ein spezielles Gründach aufgebracht, das zusätzliche Klimaeffekte versprach.

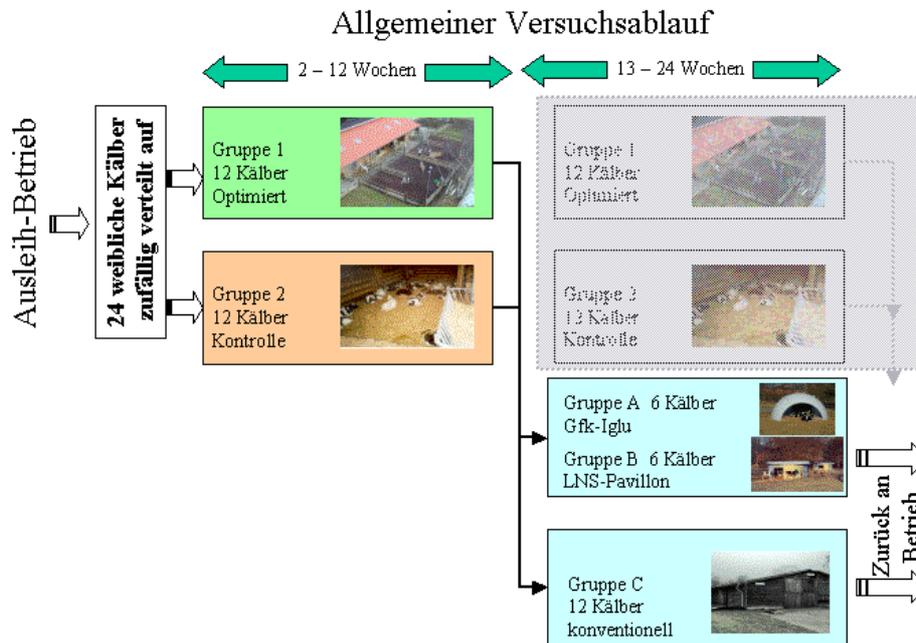


Abbildung 1: *Ablaufschema zum Wechsel der Kälbergruppen zwischen den einzelnen Teilprojekten und Herkunftsbetrieb*

Diese Hütten wurden in einer speziellen Versuchsanordnung auf einem abgeäuzten Gelände innerhalb der Versuchsstation der FAL Braunschweig aufgebaut und mit je 6 Kälbern ab einem Alter von 14 Wochen belegt. Im Versuchsablauf wurden vom 20.2. 2003 bis 15.1.2004 insgesamt 96 Kälber in 16 Gruppen in dieser Versuchsanordnung gehalten. Die Tiere konnten im Alter von ca. 14 Wochen aus dem parallel laufenden Teilprojekt „Optimierte Kälbergruppenhaltung“ übernommen werden und wurden nach Ende des Versuchs wieder an den Ausleihbetrieb zurück gegeben. In Abbildung 1 ist dieser Ablauf als Blockscheema dargestellt. Die Kälber wechseln mit einem Alter von ca. 14 Wochen aus dem Teilprojekt „Optimierte Kälbergruppenhaltung“ in das Teilprojekt „Aufbau und Untersuchung von Großraumhütten mit Gründach aus ökologischen Baustoffen im Hinblick auf Stallklima und Funktionalität“. Zur effizienteren Nutzung werden am gleichen Tag wieder 2-3 Wochen alte Kälber aufgestellt, im Schema angedeutet durch den grau abgeblendeten Block, so dass alle 12 Wochen zwei neue Gruppen nachrücken können.



Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Großraumhütten aus ökologischen Baustoffen und glasfaserverstärkten Kunststoffen

Für die geplanten Messungen der Schadgase in den Hütten wurden Messvorrichtungen installiert und Datenlogger zur Aufzeichnung von Temperatur und rel. Luftfeuchte aufgebaut. Im praktischen Versuchsablauf konnten alle wesentlichen Fragen zur Eignung von ökologischen Baustoffen, (Stall-)Klimawirkung und Materialeigenschaften geprüft werden.

1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand

1.3.1 Gesetzliche Anforderungen und Vorschriften

1.3.1.1 Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung

Die Haltung von Kälbern wird durch den Gesetzgeber in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (früher Kälberhaltungsverordnung) geregelt. Die darin zugrunde gelegten Mindestanforderungen (s. Tabelle 1) gelten auch für die ökologische Kälberhaltung, auch wenn Verbandsrichtlinien bzw. EU-Ökoverordnung in einigen speziellen Bereichen (Flächen, Auslauf) darüber hinaus gehen.

Tabelle 1: Auszüge aus der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung, Teil 2, Anforderung an das Halten von Kälbern

<i>Regelungsgegenstand</i>	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>
<i>Tierkontrolle</i>	-	mind. 2x tägl.
<i>Anbindehaltung verboten; Ausnahme: im Rahmen des Fütterns mit Milch oder Milchaustauscher</i>	h	max. 1
<i>Anbieten von Biestmilch (nach Geburt)</i>	h	max. 4

<i>Regelungsgegenstand</i>	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>
<i>Fütterung</i>		mind. 2x tägl.
<i>Trinkwasser (uneingeschränkter Zugang)</i>	LW	ab 2.
<i>Raufutter zu freien Aufnahme</i>	LT	ab 8.
<i>Schadgasbelastung im Aufenthaltsbereich</i>		
<i>Ammoniak</i>	<i>cm³/m³</i>	<i>max.20</i>
<i>Kohlendioxid</i>	<i>cm³/m³</i>	<i>max. 3000</i>
<i>Schwefelwasserstoff</i>	<i>cm³/m³</i>	<i>max. 5</i>
<i>Temperatur im Liegebereich1)</i>	°C	<i>max. 25</i>
<i>erste 10 Tage nach Geburt</i>	°C	<i>mind. 10</i>
<i>danach</i>	°C	<i>mind. 5</i>
<i>Relative Luftfeuchte</i>	%	<i>60 - 80</i>
<i>Spaltenweite Betonspalten</i>	<i>cm</i>	<i>max. 2,5</i>
<i>Auftrittsbreite Betonspalten</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 7</i>
<i>Lichtdauer (dem Tagesrhythmus angeglichen)</i>	<i>h</i>	<i>mind. 10</i>
<i>Lichtstärke</i>	<i>Lux</i>	<i>mind.80</i>
<i>Platzbedarf Stallfläche (Einzelhaltung bis 2. LW)</i>		
<i>Länge</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 120</i>
<i>Breite</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 80</i>
<i>Höhe</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 80</i>
<i>Platzbedarf Stallfläche (Einzelhaltung 2.- 8. LW)</i>		
<i>Länge (bei innen angebrachtem Trog)</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 180</i>
<i>Länge (bei außen angebrachtem Trog)</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 160</i>
<i>Breite</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 100</i>
<i>Platzbedarf Stallfläche (Ausnahme: Einzelhaltung >8. LW)</i>		
<i>Länge (bei innen angebrachtem Trog)</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 200</i>
<i>Länge (bei außen angebrachtem Trog)</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 180</i>
<i>Breite</i>	<i>cm</i>	<i>mind. 120</i>
<i>Platzbedarf Stallfläche bei Gruppenhaltung</i>		

<i>Regelungsgegenstand</i>	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>
<i>(kg LG)</i>		
<i>bis 150</i>	<i>m²</i>	<i>mind. 1,5</i>
<i>150 – 220</i>	<i>m²</i>	<i>mind. 1,7</i>
<i>> 220</i>	<i>m²</i>	<i>mind. 1,8</i>
<i>Platzbedarf Stallfläche (Ausnahme: Kleingruppe zu bis 3 Tieren)</i>		
<i>2.-8. LW</i>	<i>m²</i>	<i>mind. 4,5</i>
<i>>8. LW</i>	<i>m²</i>	<i>mind. 6</i>
<i>1) gilt nicht für Kaltställe und Hütten</i>		

1.3.1.2 EU-Öko-Verordnung

In der EU-Öko-Verordnung werden die Haltungsbedingungen für Kälber nicht so ausführlich geregelt wie in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung. Die für dieses Projekt interessanten Flächenangaben sehen eine Liegefläche von 2,5 m²/Tier und eine Auslauffläche von 1,9 m²/Tier vor. Diese Werte werden bei einem Tierbesatz von je 6 Kälbern je Hütte und einer Hüttenliegefläche von 16 m² übertroffen.

1.3.2 Literaturübersicht

Der Aufzuchterfolg in der Kälberhaltung wird sehr stark von den jeweils herrschenden Stallklimaverhältnissen beeinflusst. Das Stallklima als Umweltfaktor nimmt großen Einfluss auf die Leistung und Gesundheit der Kälber. Unter ungünstigen Bedingungen ist das Stallklima Wegbereiter für Krankheiten, besonders der Atemwege (BARTUSSEK, 2002).

ERNST und KALM (1994) führen aus, dass sich nicht nur schlechtes Stallklima auf die Kälber negativ auswirkt (z. B. Rinder Grippe), sondern auch eine rasche und bedeutende Änderung desselben, wobei die Schwankungen der Temperatur sowie der relativen Luftfeuchte und die Luftbewegung besondere Gefahrenpunkte darstellen.

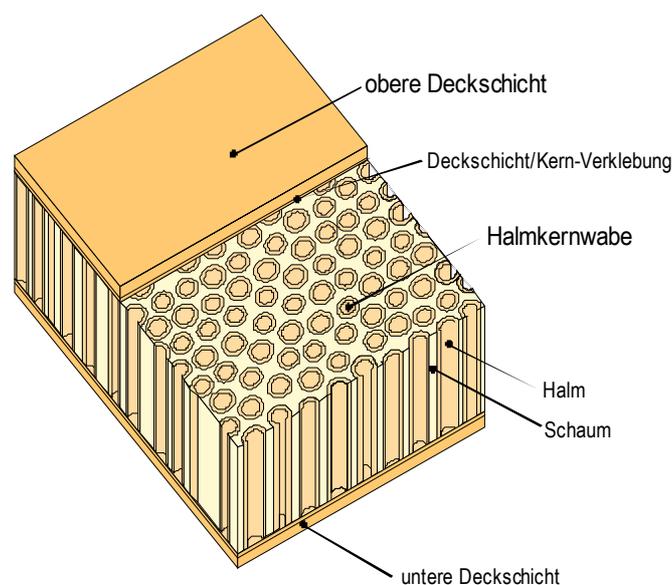
Der Einfluss von Kälberhütten aus Sperrholz im Vergleich zu Polyäthylen auf den Hitzestress bei Kälbern wurde von LAMMERS et al. (1996) dargestellt. Helles Sperrholz hat dabei die günstigsten Eigenschaften als Ausgangsmaterial für Kälberhütten, wenn man die Temperaturentwicklung im Sommer betrachtet. Hütten aus Polyäthylen heizen sich stark auf und verursachen im Sommer Hitzestress bei den Kälbern. In einer ähnlichen Untersuchung von MACAULAY et al. (1995) wurden Einzelhütten aus Holz, PE und gedämmten Polymerkunststoff bezogen auf Klima, Futteraufnahme, Blutwerte und Verhalten miteinander verglichen. Die höchsten Innentemperaturen wurden in der PE-Hütte gemessen, dann folgte die Holzhütte und

schließlich die wärme gedämmte Polymerhütte mit der niedrigsten Innenraumtemperatur. Effekte der unterschiedlichen Hütten auf Blutwerte, Zunahmen und Verhalten konnten nicht festgestellt werden.

In einer aktuellen Klimauntersuchung von Gruppeniglus (LIPPMANN (2005)) konnten im Sommer Innenraumtemperaturen von 45 – 47 °C gemessen werden. Die Außentemperatur betrug in diesem Fall 34 °C. Die untersuchten Gruppeniglus waren aus GfK gefertigt und hatten keine Dämmung.

2 Material und Methoden

2.1 Bau- und Werkstoffe



2.1.1 LNS (Light-Natural-Sandwich)

Abbildung 3:

Aufbau von LNS-Werkstoffen (MÖLLER 2004)

LNS ist ein leichter Plattenwerkstoff aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Deckschichten bestehen aus hochwertigen und leichten Holzwerkstoffen (s. Abbildung 3). Es werden überwiegend Sperrhölzer eingesetzt, da hier der natürliche Faserverbund noch weitestgehend in der ursprünglichen Form vorhanden ist. Sperrholz besitzt dadurch eine hohe Festigkeit und Stabilität bei gleichzeitig geringem Gewicht.

Der Kern besteht aus mit Klebstoffschaum parallel verklebten Pflanzenhalmen mit besonders guten Leichtbaueigenschaften (Getreidestrohhalme, Triarrhenahalme, Bambushalme). Diese Halme besitzen eine hohe Festigkeit und Stabilität bei gleichzeitig geringem Gewicht. Der

Klebstoffschaum zum Verbinden der Pflanzenhalme wurde speziell für diesen Werkstoff entwickelt. Er besteht ebenfalls aus natürlichen Rohstoffen (Pflanzenöl) und zeichnet sich durch hohe Klebekraft, geringe Dichte und gute Elastizität aus. Zum Verkleben der Sperrholzfurniere untereinander und zum Verkleben der Deckschichten mit dem Kern können Kaseinklebstoffe, Klebstoffe auf Basis pflanzlicher Proteine und Öle, sowie andere handelsübliche Holzklebstoffe verwendet werden.

Ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung dieses Werkstoffes war, die natürlichen Eigenschaften der eingesetzten Pflanzenteile optimal zu nutzen. Die Pflanzenteile werden dabei als Halbzeuge eingesetzt. Dies spart einerseits Energie bei der Verarbeitung und andererseits kommen so die Syntheseleistungen der Pflanzen im Endprodukt voll zur Wirkung. Im Kern bleibt beispielsweise der Halm bzw. Halmabschnitt als natürliches Faserverbundrohr erhalten. Zum anderen sind die Halme so zwischen den Deckschichten angeordnet, dass eine Wabenstruktur entsteht, die sich in der Natur aber auch in der Technik (Flugzeugbau) als leichteste Struktur für Stütz- oder Kernstoffe bewährt hat.

2.1.1.1 Der Kernstoff

Triarrhena gehört ebenso wie Getreide und Bambus zur Familie der Gräser. Triarrhenaarten sind seit den 30er Jahren in Europa als Zierpflanze heimisch. Für LNS wird ein Typus verwendet der besonders lange (bis 4,5 m), stabile, gerade und zur Ernte im März blattlose Halme liefert. Der bambusähnliche Halm hat an der Basis einen Durchmesser von ca. 20 mm. Triarrhena gehört zu den Pflanzen mit dem höchsten Biomassertrag pro Hektar. Die Halme wachsen ohne nachzupflanzen jährlich aus dem im Boden verbleibenden Wurzelsystem nach.

2.1.1.2 Eigenschaften von Leichtbauwerkstoffen aus Naturstoffen

Den Leichtbauwerkstoffen wird zukünftig wegen der Einsparung von Gewicht, Energie und des sparsamen Umgangs mit Ressourcen große Bedeutung zukommen. Der LNS-Werkstoff lässt sich mit geringem Energieeinsatz produzieren (ca. 30% dessen einer Spanplatte), da bereits die in der Natur vorhandene Leichtbaustrukturen genutzt werden.

Für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe, anstelle von petrochemischen Rohstoffen oder Metallen sprechen insbesondere folgende Argumente:

- ☒ Der vermehrte Einsatz nachwachsender Rohstoffe anstelle synthetischer Rohstoffe trägt zum Schutz vor einem globalen Klimawandel bei (CO₂-Bilanz).
- ☒ Biologisch abbaubare Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen lassen sich wieder in den natürlichen Stoffkreislauf integrieren (Abfallproblematik).

☞ Nachwachsende Rohstoffe stehen auch in Zukunft in unbegrenzter Menge zur Verfügung (Ressourcenschonung).

LNS-Werkstoffe sind vielseitig einsetzbar. Neben dem Leichtbau sind auch andere Anwendungsgebiete denkbar. Durch die Variation von Dicke, Aufbau und Holzart der Deckschichten, der Halmart im Kern, sowie dem Verhältnis von Deckschichtdicke zu Kernstoffdicke sind viele verschiedene Werkstofftypen mit entsprechend unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen möglich.

In der nachfolgenden Tabelle werden LNS-Werkstoffe anderen Plattenwerkstoffen gegenübergestellt. Durch die besondere Eigenschaftskombination von LNS mit

☞ geringer Dichte,

☞ hoher Festigkeit und Formstabilität,

☞ geringer Wärmeleitfähigkeit,

werden sowohl Anforderungsmerkmale von Leichtbauwerkstoffen wie auch von Wärmedämmstoffen und Baustoffen erfüllt.

Zur Zeit wird eine Demonstrationsanlage zur Herstellung von LNS-Werkstoffen aufgebaut, die voraussichtlich ab Ende 2006 Plattenelemente produzieren kann.

Tabelle 2: Eigenschaften von LNS- und anderen Plattenwerkstoffen im Vergleich

<i>Plattentyp</i>	<i>Gesamt-dicke [mm]</i>	<i>Dichte [kg/m³]</i>	<i>Biegefestigkeit [N/mm²]</i>	<i>Biege-E-Modul [N/mm²]</i>	<i>Querdruckfestigkeit [N/mm²]</i>
<i>LNS (Stroh)</i>	19	205	bis 18	bis 4000	bis 3,3
<i>LNS (Triarrhena)</i>	30	295	bis 33	bis 5000	bis 15
<i>Faserdämmplatte</i>	10-20	200-400	1-3	150-600	-
<i>Spanplatte</i>	20-25	550-800	15-22	2400-3500	0,8-1,5
<i>Holzfasерplatte mittelhart</i>	6-16	400-800	8,5-18,5	1500-4500	1-2,5
<i>Holzfasерplatte hart</i>	6-16	400-800	8,5-18,5	1500-4500	1-2,5
<i>Tischlerplatte</i>	13-45	450-600	20-55	3000-8500	1,5-2,5
<i>Furnierplatte</i>	-	450-700	65-130	7000-14000	1,5-3
<i>Kunststoffsandwich</i>	20	230	bis 35	bis 3800	bis 1,2

2.1.2 Glasfaserverstärkte Kunststoffe

GfK sind Verbindungen aus einer Glasfasermatrix und Kunstharz (oder Epoxy-harz). Das Kunstharz setzt sich aus dem eigentlichen Harz und einem Härteranteil zusammen und ist praktisch nicht mehr trennbar, sobald es einmal ausgehärtet ist. Eine Trennung kann nur über die so genannte Pyrolyse erfolgen, d. h. Zersetzung chemischer Verbindungen durch Einwirkung hoher Temperaturen (HAUTMANN, 2004).

Aus diesem Grund kann es hinsichtlich des GfK's zukünftig zu Recycling-Problemen kommen, denn neue Europäische Abfallrichtlinien werden für die Deponierung und Verbrennung von GfK steigenden Druck auf die traditionellen Entsorgungswege ausüben. Die Deponierung von GfK-Abfall wird bereits in den meisten EU-Staaten verboten und die Verbrennung ist bezüglich der Höhe des Energiehaushalts bestimmten Höchstgrenzen unterworfen. Die Deponierung und Verbrennung waren bisher die einfachsten und bevorzugten Methoden für 98 % des GfK-Mülls, während nur 2 % auf alternative Wege wie z. B. Wiederverwertung und maschinelles Recycling entfallen (NN, 2004 b).

Polyethylen und PVC enthalten Weichmacher, die diesen Kunststoffen zugemischt werden, um deren Verwendbarkeit und Handhabbarkeit zu verbessern. Der wichtigste Weichmacher ist Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), ein Phthalsäureester.

PVC-Produkte können bis zu 60 % DEHP enthalten. Da die Weichmacher nicht fest in die Kunststoffmatrix eingebunden sind, werden sie sehr leicht (trotz niedrigem Dampfdruck und geringer Wasserlöslichkeit) an angrenzende Medien abgegeben. DEHP besitzt eine hohe Toxizität für die Umwelt und Lebewesen. Unter anderem soll der Weichmacher eine krebserregende Wirkung haben, Störungen des Immunsystems und der Fortpflanzung hervorrufen. Außerdem handelt es sich um einen bioakkumulierenden und in Wasser und Boden unter Umweltbedingungen schwer abbaubaren Fremdstoff. Der photooxidative Abbau in der Luft wird durch Adsorption an Aerosole verlangsamt, so dass ein Ferntransport möglich ist. Deshalb sollte eine vollständige Vermeidung des Eintrags von DEHP in die Umwelt erfolgen (HOFMANN, 2004).

2.2 Aufbau der LNS-Hütten

Die beiden LNS-Hütten wurden aus je 12 LNS-Wandtafelementen und je 2 LNS-Dachelementen zusammgebaut (s. Abbildung 4). Die Wände bestehen aus 35 mm Triarrhenakernen und (2 x) 4 mm Deckschichten aus Birkensperrholz (Prinzip s. Abbildung 3),

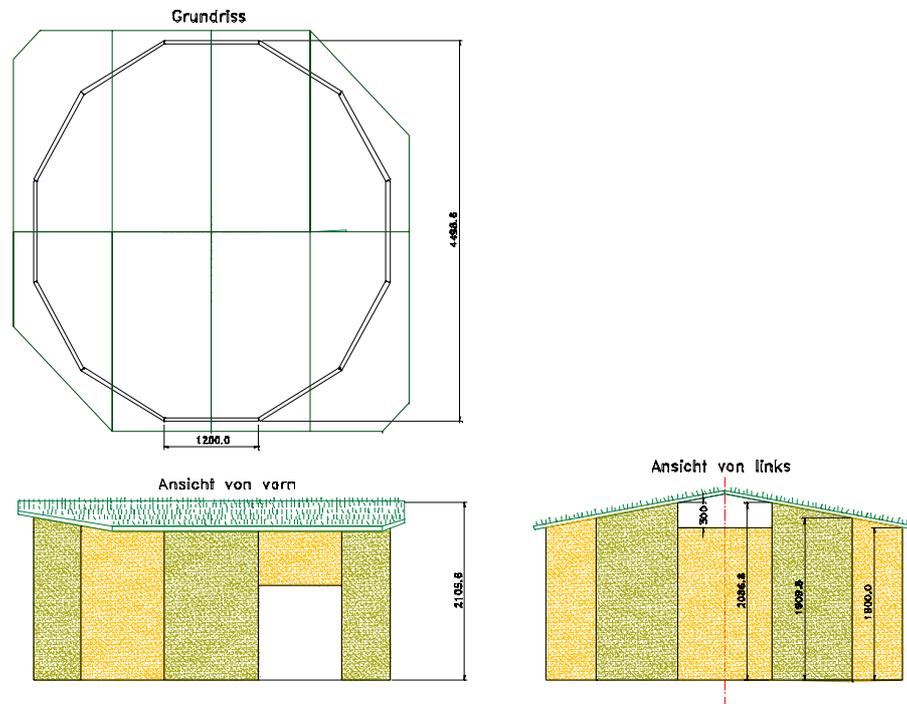


Abbildung 4: Aufbau der LNS-Prototypen mit Gründach

ebenso die Dachelemente. Die Wandstärken für die gesamte Platte liegen damit bei 43 mm. Aufgrund der besonderen statischen Eigenschaften der LNS-Platten konnte die Hütte selbsttragend ohne Rahmen gebaut werden. Die Platten sind mit kleinen Metallverbindern an den Eckkanten aneinander geschraubt, im Bereich der Öffnung wurde die Schwelle mit einem Rohr „überbrückt“, um die Stabilität der Konstruktion zu gewährleisten (s. Abbildung 5). Die Aufhängung der Hütte zum Transport erfolgt an zwei Metallwinkeln, die an den beiden Dachplatten fest geschraubt sind. Zum erstmaligen Transport und Aufbau wurden die in der Fertigungshalle erstellten LNS-Hütten (s. Abbildung 7) in zwei Hälften vormontiert und vor Ort zusammengebaut.

Für die Lackierung der Hütten wurde nach eingehender Beratung mit dem Bereichsleiter Entwicklung und Anwendung der Fa. Auro (Naturfarbenhersteller in Braunschweig) Decklack Nr. 250 (glänzend) verwendet. Für beide Hütten wurden 3 Anstriche durchgeführt, für die insgesamt 48 l Decklack benötigt wurden (3 Farben). Der Lack entspricht gutem ökologischem und gesundheitlichem Standard, und ist geprüft nach EN 927 (Holzbeschichtungsnorm für Außen), EN 71, Teil 3 („Kinderspielzeugnorm“), DIN 53 160 (Schweiß- und Speichelechtheit),

EN 13300, Klasse 1 (Abriebbeständigkeit) und DIN 54900 bzw. DIN 53739 hinsichtlich Kompostierung und Verhalten im Erdreich.



Abbildung 5: Details der Befestigung der LNS-Platten in selbsttragender Modulbauweise



Abbildung 6: LNS-Hütte nach Zusammenbau und Lackierung in der Montagehalle



Abbildung 7: *Erstmontage der Hütten nach Transport*

2.3 Gründach

Für die LNS-Großraumhütte war im Versuchsplan eine Dachbegrünung vorgesehen. Diese wurde nach dem Aufbau und Aufstellung der Hütten im Frühjahr zum Vegetationsbeginn als Fertiglösung realisiert, um die Zeitvorgaben zu erfüllen. Die fertige Begrünung wurde in Form eines Moos-/Sedumvegetationsteppichs auf dem Dach befestigt. Zum Schutz der LNS-Konstruktion wurde eine 2 mm starke Teichfolie als Wurzelschutz zwischen Dach und Begrünung befestigt. Auf dieser Folie wurden Moos-/Sedumvegetationsteppich ausgelegt. Die Rollen waren 1 m breit und 5 m lang und wurden ähnlich wie Rollrasen, auf Palette geliefert. Die einzelnen Bahnen wurden auf dem Dach mit Bindedraht „vernäht“ und das ganze Dach mit Bindedraht überspannt und an der Dachunterseite befestigt, um ein Wegfliegen der Matten in trockenem Zustand zu verhindern. Laut Herstelleranweisung sollte das Gründach nur zu Anfang einmal gründlich gewässert werden und dann dem natürlichen Niederschlag überlassen werden. Aufgrund der trockenen Witterung wurden die Dächer aber in bestimmten Zeitabständen zusätzlich gewässert. Das Gründach belastete die LNS-Konstruktion mit etwa 15 kg / m². Bei einer Dachfläche von 20 m² entspricht dies einer zusätzlichen Last von 300 kg / Hütte. Einen Überblick über die wesentlichen Eigenschaften des Gründachs gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: *Eigenschaften des Vegetationsteppichs als Gründach für LNS-Hütten*

Beschreibung	Moos-Sedum-Dach 15
in kg/m ²	15
in Grad	2 bis 10
in cm	1
in l/m ²	9
Bezeichnung	XF 303
Pflanzen	Trockenmoose Sedum

Durch die Vorkultivierung der Vegetationsmatten konnte in kürzester Zeit ein funktionsfähiges Gründach realisiert werden (s. Abbildung 8). Die Matte hatte nach dem Aufbau im März bereits zwei Monate später eine Stärke von ca. 8 – 10 cm erreicht, so dass für die Messungen in den



Abbildung 8: *Gründach auf einer LNS-Hütte Mai 2003*

Sommermonaten mit einem Effekt auf das Innenraumklima gerechnet werden konnte.

2.4 Tiere

Für die Vergleichsuntersuchung wurden 96 Kälber insgesamt im Versuchszeitraum vom 20.2.03 bis 15.1.2004 zufällig in Gruppen zu je 6 Kälbern auf die unterschiedlichen Großraumhütten verteilt. Die weiblichen Kälber stammen aus ein und demselben Betrieb und haben die letzten 12 Wochen im Teilprojekt „optimierte Kälbergruppenhaltung“ verbracht. Nach Ende des Versuchs Hüttenhaltung wurden die Kälber wieder zurück in ihren Betrieb gebracht. Die Tiere wurden im Kälberhüttenversuch mit Gewichten zwischen 128 und 136 kg aufgestellt und mit einem Gewicht von 195 bis 204 kg ausgestallt. Das Alter der Tiere betrug zum Zeitpunkt der Einstallung 14 – 15 Wochen, zum Zeitpunkt der Ausstallung 25 – 26 Wochen.

Tabelle 4: Gruppenwechsel im Versuch Kälberhütten, Mittleres Gewicht für 24 Tiere zum Zeitpunkt der Ein- und Ausstallung

Einstallung Hütten	Ausstallung Hütten	Einstallung Hütten	Ausstallung Hütten
[Datum]	[Datum]	[kg]	[kg]
20.02.03/28.02.03	08.05.03/12.05.03	136,58	202,17
08.05.03/12.05.03	23.07.03/24.07.03	136,44	203,96
23.07.03/25.07.03	16.10.03/15.10.03	128,48	194,29
25.11.03	15.01.04/03.02.04	133,19	196,56*

2.5 Versuchsaufbau

Die vier Kälberhütten wurden auf einer abgeteilten Weidefläche innerhalb der Versuchsstation Braunschweig der FAL aufgestellt (s. Abbildung 2). Dabei wurde auf folgende Punkte besonders geachtet:

- ☒ gleich große umgebende Fläche der Hütten
- ☒ gleiche Entfernungen zu Tränken und Fressplätzen
- ☒ Schattenbäume für jede Gruppe
- ☒ Gleiche Ausrichtung der Hütteneingänge nach Südost

Die Teilflächen für die Hütten wurden mit leichtem Elektrozaun getrennt, die Tiere wurden zuvor mit dem Elektrozaunsystem vertraut gemacht. In der Mitte der Fläche wurde eine Wetterstation aufgebaut, um Windrichtung und Windgeschwindigkeit vor Ort zu erfassen. In den einzelnen Hütten wurden Sensoren zur Messung von Temperatur und Luftfeuchte angebracht,

deren Daten per Funk an einen zentralen PC im Prozessrechnerhaus übermittelt wurden. Zur Tierbeobachtung wurden Überwachungskameras montiert, deren Videosignal ebenfalls per Funk übermittelt wurde. Zur Messung der Schadgase in den Hütten wurden von einem Multigasmonitor aus PTFE-Leitungen mit einem Schutzrohr in der Erde verlegt und das Ende in der Hütte wieder heraus geführt und befestigt. Rund um die Flächen bzw. zentral wurden Passivsammler angeordnet, um Emissionen (NH₃) bestimmen zu können. Die beiden überdachten Fressplätze konnten von außen ohne Öffnen des Zauns befahren werden. An den Standflächen der Tiere zum Fressplatz hin wurden 10 – 15 cm Rindenmulch aufgebracht, der in (dokumentierten) Abständen ergänzt oder gewechselt wurde.

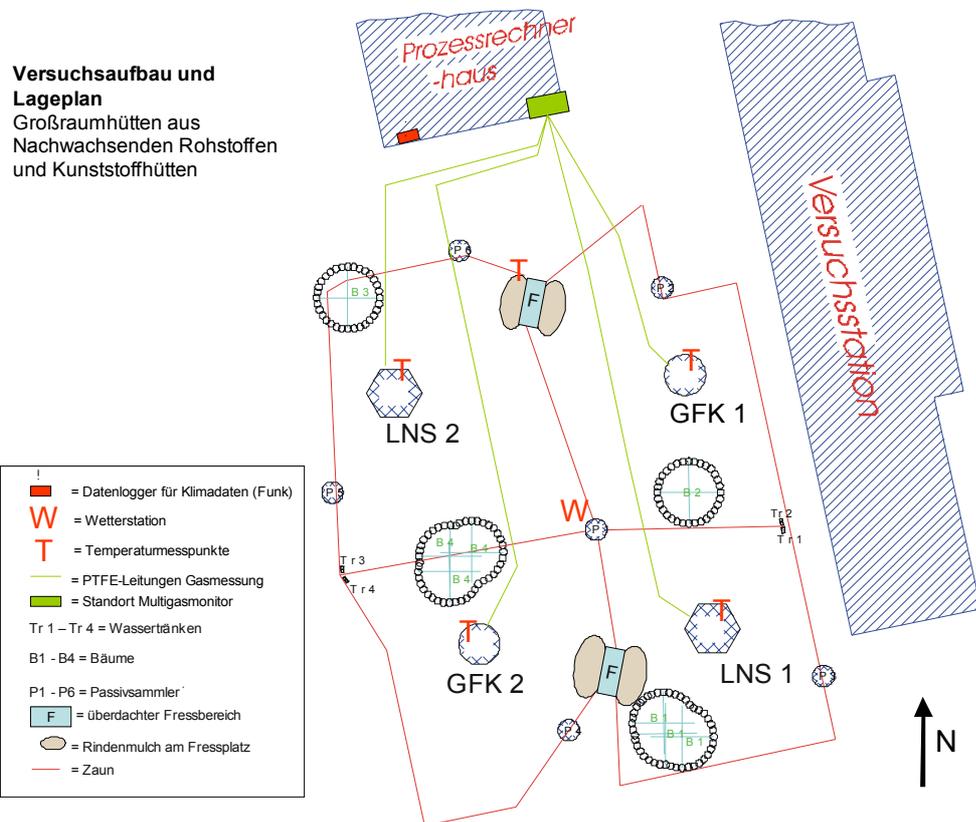


Abbildung 9: Versuchsaufbau zur Vergleichsuntersuchung von Großraumhütten aus ökologischen Baustoffen im Hinblick auf Stallklima und Funktionalität

2.6 Messmethodik

2.6.1 Hüttenklima

In den vier Kälberhütten wurden mit Hilfe eines telemetrischen Verfahrens Temperatur und Luftfeuchte gemessen. Zur Absicherung der Daten waren zusätzlich Mini-Datenlogger zur parallelen Messung der gleichen Parameter im Einsatz. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte über den gesamten Versuchszeitraum auf einem PC-gesteuerten Datenlogger. Das Intervall für die Aufzeichnung der Daten betrug 7 Minuten. Zur Überprüfung der Messgenauigkeit wurden die Sensoren vor Versuchsbeginn über einen Zeitraum von 3 Tagen in der Klimakammer des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung kalibriert. Zur Absicherung der eigenen Daten konnte auch auf Daten des deutschen Wetterdienstes (DWD), Agrarmeteorologische Forschungsstelle, zurück gegriffen werden. Die Wetterstation des DWD befindet sich in einer Entfernung von 200 m zum Versuchsstandort.

2.6.2 Schadgase

Die Messungen der Schadgasbelastungen in den Hütten erfolgte mit Hilfe eines Multigasmonitors (System Brüel und Kjaer) und eines Messstellenumschalters. Die Hütten wurden durch PTFE-Leitungen mit dem Messstellenumschalter verbunden und konnten im Abstand von 5 Minuten beprobt werden. Die maximale Leitungslänge für Gasmessungen beträgt ca. 90 Meter. Die Entfernung Gasmonitor – Kälberhütten im Versuch war maximal 40 m. Die Entfernung kann über eine variable Pumpenleistung im System berücksichtigt werden. Die Anzahl der Messstellen war trotz des Messstellenumschalters beschränkt, so dass nur jeweils drei Hütten und eine Referenzmessstelle (Frischlufte) im Takt von 5 Minuten angesteuert werden konnten. Der Multigasmonitor arbeitet nach dem photoakustischen Prinzip der Gasmessung. Querempfindlichkeiten, wie sie zwischen Gasen wie CO₂ und CH₄ auftreten können, werden durch ein entsprechendes Filtrerrad kompensiert. Das Gerät besitzt einen eigenen Datenspeicher zur Ablage der Daten. Dieser wurde im Versuch aber nicht genutzt. Vielmehr wurde durch das zur Steuerung des Messstellenumschalters verwendete Programm jeder Datensatz über die serielle Schnittstelle auf einen PC übertragen und auf Festplatte gespeichert. Abbildung 10 zeigt den Aufbau.



Abbildung 10: Multigasmonitor zur Schadgasmessung mit Messstellenumschalter und PC

2.6.3 Emissionen

Die Ammoniakmessungen in der Außenluft wurde mit Passivsammlern nach Fern durchgeführt. Ihre Sammelwirkung beruht ausschließlich auf Diffusion. Mit Zitronensäure beschichtete Filter nehmen das Ammoniak auf, das dann nach einer Extraktion einer quantitativen Analyse zugeführt wird.

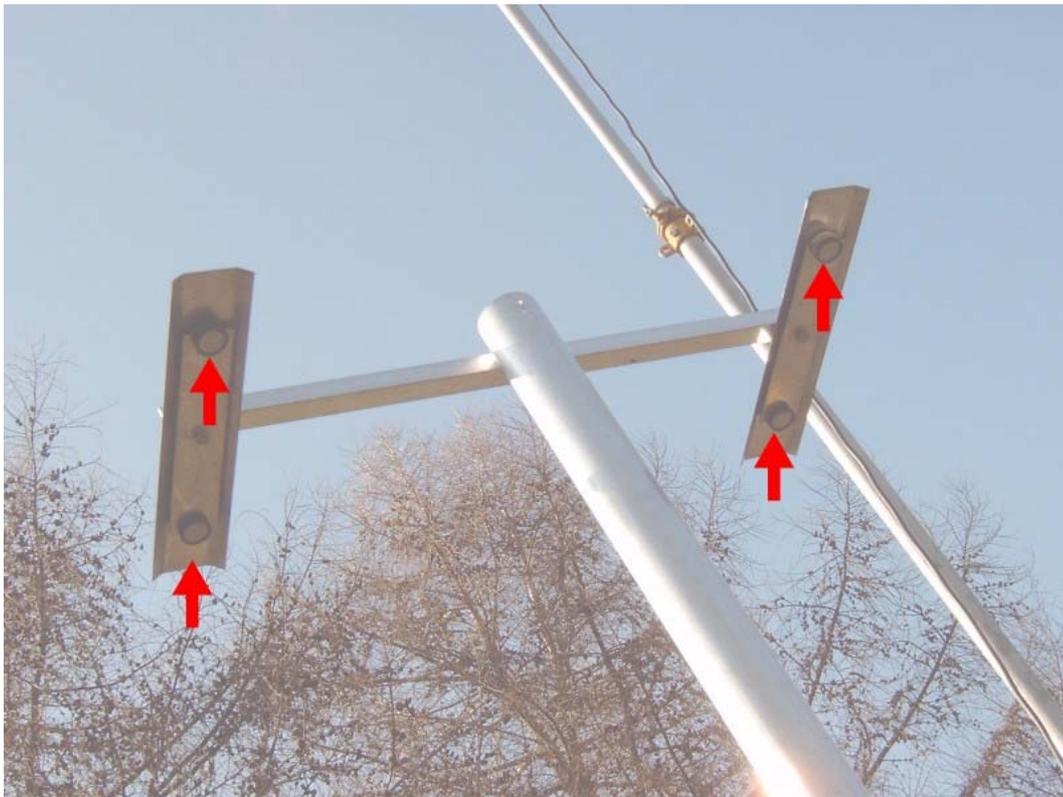


Abbildung 11: Mast mit Halterungen für Passivsammler (Pfeil)

Die Sammler wurden im 14-tägigen Wechsel im Zeitraum vom 4.6.2003 bis 16.3.2004 ausgetauscht. Pro Mast sind stets 4 Sammler installiert. Eine detaillierte Zusammenstellung dieser Messtechnik findet sich bei DÄMMGEN (2004).

2.6.4 Hitzestress/Herzfrequenz

Für die Messungen der Herzfrequenz (HF) wurden Herzfrequenzmonitore der Firma Polar, Typ S810 beschafft. Diese Geräte können die Herzfrequenz EKG-genau aufzeichnen und speichern. Die Daten können nach der Messung am PC mit Hilfe einer Infrarot-Schnittstelle ausgelesen werden. Einfache und preisgünstige Pulsuhren haben diese Möglichkeit nicht. Zur Auswertung der HF-Daten liefert Polar eine Software mit, die Artefakte (kurze technische Aussetzer) beseitigt und die Daten grafisch darstellen kann. Zur Weiterverarbeitung können die aufgenommenen HF-Daten nach Excel exportiert werden. Neben den 4 beantragten Polar Systemen wurden weitere Systeme von der FAL ausgeliehen, dadurch konnte jeweils eine Gruppe in GfK bzw. LNS Hütten zeitgleich untersucht werden.



Abbildung 12: Kalb mit Herzfrequenzmonitor (Halsgurt) und Elektroden (Bauchgurt)

2.6.5 Thermografie

Für die Thermografie wurde die Thermo-Kamera VARIO SCAN COMPACT 3011 verwendet. Sie ist ein Slow-Scan-Thermografiesystem für die Wellenlängenbereiche 8 bis 12 μm . Der Temperatur-Messbereich liegt bei $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ und der Einsatztemperaturbereich der Kamera beträgt $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Kamera arbeitet nach dem Prinzip des objektseitigen Scannings. Das Objekt wird durch einen zweidimensionalen Spiegelscanner abgetastet.

Abbildung 26 zeigt den Aufbau der Thermo-Kamera. Der Horizontalscanner realisiert die zeilenweise Abtastung (300 Pixel pro Zeile) und der Vertikalscanner baut aus den einzelnen Zeilen (200 Zeilen pro Bild) das komplette Bild auf. Nach jeweils einem aufgenommenen Bild wird ein Referenzstrahler (Chopper) in den Strahlengang eingebracht, dessen Temperatur durch ein Thermoelement gemessen wird. Zwischen der abbildenden Optik und dem Detektor befindet sich ein Filtrerrad mit Blenden verschiedenen Durchmessers, die bei höheren Objekt-Temperaturen in den Strahleneingang gebracht werden.

Als Detektor wird ein MCT-Empfänger mit einer Kantenlänge von 50 x 50 mm verwendet, der durch Flüssigstickstoff (Füllmenge: ca. 0,5 Liter) gekühlt wird. Das Detektorausgangssignal wird verstärkt, mit 16 Bit digitalisiert und mit Hilfe des PC-104 Moduls und einer Auflösung von 8 Bit (256 Farben) visualisiert. Jede Farbe des dargestellten Thermogramms repräsentiert eine bestimmte Temperatur. Die Thermokamera kann die Aufnahmen intern oder aber auf eine Memory-Card speichern. Mit Hilfe eines Computers können die Daten anschließend gelesen werden.

Mit der Thermo-Kamera VARIO SCAN COMPACT 3011 wurden Wärmefotografien von der gesamten Innenoberfläche der Hütten vorgenommen. Dieser Versuch wurde im Nachgang zum geförderten Projekt ergänzend im Sommer 2004 durchgeführt, um zusätzliche Informationen, wie die Auswirkung des Gründachs auf die Innenraumtemperatur, nachweisen zu können.

Die Wärmeaufnahmen in den Hütten begannen jeweils rechts von dem Eingang, d. h. bei der Position 1 und wurden schließlich im Uhrzeigersinn fortgeführt.

Die Wärmeaufnahmen in den GfK-Hütten begannen ebenfalls jeweils rechts von dem Eingang (Position 1) und wurden auch im Uhrzeigersinn fortgeführt.

Die Thermo-Aufnahmen aller Wand- und Dachelemente wurden an folgenden Tagen gemacht.

- | | |
|-------------------|-------------------|
| ➤ 04. August 2004 | ➤ 09. August 2004 |
| ➤ 05. August 2004 | ➤ 10. August 2004 |
| ➤ 06. August 2004 | ➤ 12. August 2004 |

und alle zwei Stunden wiederholt:

- | | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| ➤ 08 Uhr | ➤ 12 Uhr | ➤ 16 Uhr | ➤ 20 Uhr |
| ➤ 10 Uhr | ➤ 14 Uhr | ➤ 18 Uhr | ➤ 22 Uhr |

Nach der Thermografie wurde die Memory-Card mit den gespeicherten Daten in einen PC eingelesen und mit einer Spezial-Software bearbeitet. Die Software IRBIS ist eine 32-Bit-Spezialsoftware für alle Windows-Betriebssysteme zur Auswertung von Infrarot-Thermografiebildern.

IRBIS gestattet außerdem die Definition von zehn Messpunkten und zwei Messgebieten innerhalb des Thermobildes. Zu den Messgebieten gehören Linien, Ellipsen, Rechtecke und Polygone. Für jedes Messgebiet werden die Messergebnisse „Mittelwert“, „Minimum“, „Maximum“ und „Standardabweichung“ angezeigt.

Bis zu zehn Isotherme lassen sich in ein Thermografiebild einfügen, um die Darstellung einzelner Temperaturbereiche farblich hervorzuheben. Das gesamte Thermobild kann hinsichtlich des Emissionsgrades und der Transmission der Messstrecke korrigiert werden (NN, 2004 e).

Mit IRBIS wurde anschließend jedes einzelne aufgenommene Thermobild bearbeitet. Bei den Thermobilder-Aufnahmen wurden auch so genannte Störgrößen mit aufgenommen, die die Messwerte beeinflussen können.

Diese Störgrößen können z. B. die Metallwinkel sein mit denen die Wände der LNS-Hütten verschraubt wurden, die in den Hütten installierten Messgeräte oder auch die Lüftungsöffnungen der LNS- und GfK-Hütten. Mit Hilfe eines manuell eingegebenen Messgebietes können so die Störfaktoren ausgeschnitten werden.

Anschließend werden die Messergebnisse „Mittelwert“ und „Standardabweichung“ von jedem aufgenommenen Element, LNS-Hütte: Zwölf Wand- und zwei Dachelemente, GfK-Hütte: Neun Wand- und zwei Dachelemente, ermittelt und in eine Excel-Tabelle übertragen.

Abbildung 13 zeigt ein solches Auswertebild der Thermografie-Software mit Temperaturskala und Messpunkt-Tabelle für die Temperaturmessung ausgewählter Sektoren.

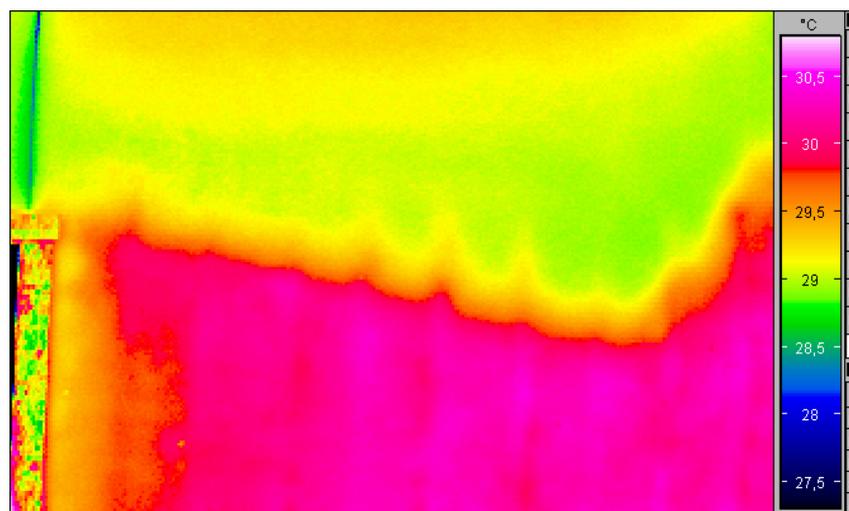


Abbildung 13: : Thermobild der Wärmeverteilung auf der Seitenwand einer LNS-Hütte (innen)

2.7 Datenerfassung und Statistik

2.7.1 Datenaufnahme

Soweit möglich wurden Messdaten elektronisch aufgezeichnet. Dies gilt für die Schadgasmessungen, Klima, Herzfrequenzdaten und Thermografie. Die Beobachtungen zur Herzfrequenzmessung zur Erfassung der Liege- und Aktivitätsphasen wurde durch direktes Beobachten der Tiere ermittelt.

2.7.2 Datenbearbeitung

Eine Bearbeitung der Daten erfolgte mit Hilfe der Tabellenkalkulationssoftware Excel. Die Bearbeitung diente der Überprüfung der Vollständigkeit der Daten und zur Vorbereitung der Datenauswertung mit statistischen Programmpaketen. Die Datentabellen wurden in der Regel dazu mit der Pivot-Funktion verdichtet und wenn notwendig, neu gegliedert.

2.7.3 Datenauswertung

Zur Auswertung der Daten wurde das Statistikprogramm SAS in der Version 9.1 verwendet. Die grafische Darstellung der Ergebnis erfolgt zum Teil mit Excel oder mit dem grafischen Statistikpaket Origin.

Die einzelnen Arbeitsschritte sind in der Tabelle 5 dargestellt. Methoden der schließenden Statistik werden erst nach Prüfung der Voraussetzungen (normalverteilt, nicht normalverteilt) durchgeführt.

Tabelle 5: *Vorgehensweise bei der statistischen Auswertung der Versuchsdaten mit SAS 9.1*

<i>Vorgang oder Voraussetzung</i>	<i>SAS-Prozedur oder Anwendung</i>
<i>Einfache beschreibende Statistik zu Fehlerkontrolle und Einschätzung der Daten</i>	proc means, proc freq
<i>Test auf Normalverteilung</i>	Prozedur Univariate mit der Option „normal“
<i>Wenn Normalverteilung vorliegt</i>	Mittelwertvergleiche (t-test) proc means Option „T“
<i>Wenn Normalverteilung vorliegt</i>	oder Varianzanalyse mit proc Anova
<i>Keine Normalverteilung</i>	Anwendung nichtparametrischer Verfahren, proc Npar1way mit Option „Wilcoxon“ zur Durchführung des Mann-Whitney-U-Tests, Kruskal-Wallis-Tests oder Wilcoxon-Rangsummen-Tests
<i>Keine Normalverteilung</i>	bivariate Korrelationen (Rangkorrelationen) mit der Prozedur Corr

3 Ergebnisse

3.1 Funktionalität

Mobilität der Großraumhütten ist ein wesentliches Merkmal dieser Haltungsform für Kälber. In der Zielsetzung war dieses Merkmal daher auch ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Funktionalität einer neu zu konstruierenden Großraumhütte aus nachwachsenden Rohstoffen.

Die im Rahmen des Projekts gestaltete LNS-Großraumhütte kann auf die gleiche Art wie die GFK-Hütte mit dem Traktor-Frontlader angehoben und bewegt werden (s. Abbildung 14). Für verschiedene Versuchszwecke wurden beide Hüttenvarianten an unterschiedliche Stellen des Betriebsgeländes FAL Braunschweig versetzt und damit auch im praktischen Betrieb die Mobilität unter Beweis gestellt



Abbildung 14: GFK- und LNS-Großraumhütte wurden zur einfachen Entmistung beiseite gehoben

Ein weiteres Merkmal zur Bewertung der Funktionalität ist das **Eigengewicht** der Konstruktion. Das Gewicht der GFK-Variante liegt bei 200 kg, dasjenige der LNS-Hütte bei 410 kg ohne Gründach (Abbildung 15). Mit Gründach ist die LNS-Konstruktion etwa doppelt so schwer, also ca. 820 kg, wobei das Gewicht dann vom Feuchtigkeitsgehalt der Gründachmatte abhängt. In der Landwirtschaft verwendete Frontlader heben standardmäßig etwa 1 – 1,5 t. Die LNS-Variante wäre also auch unter extremen Bedingung „tragbar“. Aller Voraussicht nach wird sich in der Praxis die Gewichtsfrage kaum stellen, da eine LNS-Variante mit Gründach wahrscheinlich nur in den seltensten Fällen zum Einsatz kommt.



Abbildung 15: Gewichtsbestimmung mit einer Zugwaage für beide Großraumhütten

3.2 Preisvergleich

Eine Frage, die bei Vorträgen bzw. Diskussionen mit Landwirten häufig gestellt wird, ist die Frage nach dem Preis und der Materialverfügbarkeit. Auf der Basis der realen Kosten für die beiden LNS-Prototypen und der voraussichtlichen Produktionskosten für die im Schaumkern verwendeten Triarrhena-Halme wurde eine Kostenschätzung für eine LNS-Großraumhütte erstellt (Tabelle 6).

Eine GFK-Großraumhütte, wie sie im Versuch verwendet wurde, kostet aktuell 2.010,40 €, alternative Anbieter nennen Preise zwischen 2.385,25 und 2.601,46 €. Dieser Vergleich zeigt, dass die Voraussetzungen für eine praktische Nutzung auch aus ökonomischer Sicht durchaus gegeben sind.

Tabelle 6: *Kostenkalkulation für eine Großraumhütte aus LNS*

	Kosten €
Platte	1.080,00 €
<i>(60 qm/Hütte</i>	
<i>Sperrholz</i>	
<i>Kernstoff)</i>	
Dach	200,00 €
Herstellung	
Lackieren	200,00 €
Montage	400,00 €
Gewinnansatz	300,00 €
Summe	2.180,00 €

3.3 Material/Haltbarkeit

Die Lackierung der LNS-Hütten wurde mit Biolacken der Fa. Auro, Braunschweig, durchgeführt. Nach einem Beratungsgespräch wurde ein Lack verwendet, der im Außenbereich üblicherweise für Holzfassaden und –verkleidungen eingesetzt wird. Die Hütten wurden mit diesem Lack viermal gestrichen, gemäß Anweisung. Allerdings ist bereits nach einem Jahr im Freien erkennbar, dass die Lacke durch das Sonnenlicht angegriffen werden (s. Abbildung 16). Die Oberfläche wird stumpf und spröde und bietet damit die Möglichkeit für Pilze und andere Mikroorganismen, sich festzusetzen. Aufgrund dieser Erfahrungen wurden einige LNS-Platten

versuchsweise mit anderen Lacken auf Naturölbasis behandelt. Weitere Ergebnisse dazu müssen noch abgewartet werden.

Beschädigungen der LNS-Hütten durch die Kälber konnten im Versuchszeitraum nicht festgestellt werden. Empfindliche Stellen wie der Eingangsbereich wurden bereits beim Aufbau konstruktiv geschützt (s. Abbildung 16). In diesem Fall mit einem rostfreien Blech gegen Verbiss. Im Versuch wurde die LNS-Hütte auf mehreren Gehwegplatten abgesetzt, die an den Kanten platziert wurden. Dadurch wurde gewährleistet, dass die Plattenunterkanten trocken blieben und keine Fäulnis auftrat (rechte Bildhälfte Abbildung 16).



Abbildung 16: LNS-Hütte im zeitlichen Abstand von einem Jahr (Versuchsanfang – Versuchsende)

An der Oberfläche der GFK-Hütten sind nach einem Betriebsjahr Rissbildungen erkennbar (Abbildung 17). Dadurch wird die Oberfläche weiter angreifbar, die Risse füllen sich mit Wasser, bei Frost platzen dann erste Schichten ab. Ein weiteres Problem der GFK-Hütten ist die Bildung von Kondensat an der Innenoberfläche. Bedingt durch die fehlende Wärmedämmung bildet sich im Frühjahr und Herbst Kondenswasser, das im Winter zu Eis gefriert. Diese feuchte Umgebung schädigt auf Dauer auch Metallteile in der Hütte (s. Abbildung 17). Konstruktiv waren an den GKF-Hütten keine Schäden erkennbar.

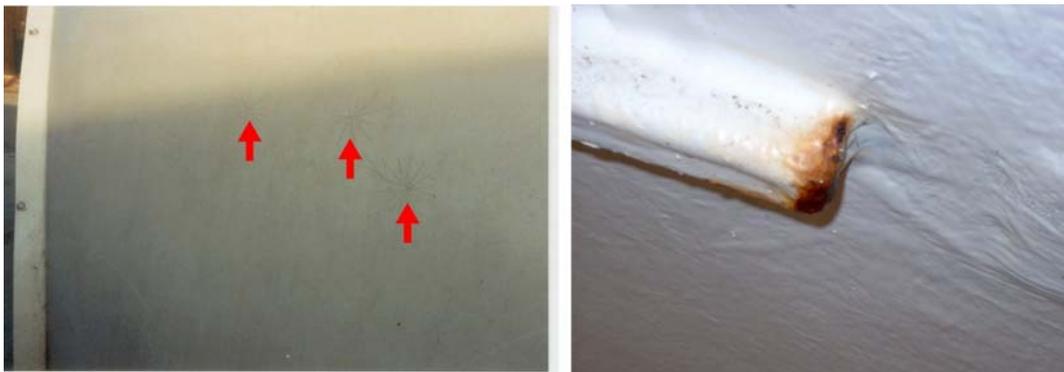


Abbildung 17: GFK-Großraumhütte nach 26 Monaten mit kleinen Rissen in der Oberflächenbeschichtung (links) und Rost an der Armierung (Befestigung Aufnahmeöse)

3.4 Klima

Zur Ergebnisdarstellung wurden die Klimadaten jeweils für die Sommer- und Wintersituation getrennt dargestellt. Dadurch kann man besser auf die spezifischen Eigenschaften der unterschiedlichen Materialien eingehen. Alle Daten waren nicht normalverteilt, so dass für Mittelwertvergleiche auf nicht-parametrische Verfahren zurückgegriffen wurde. Auf die Darstellung des ebenfalls gemessenen Schadgases Methan wurde verzichtet. Der Methan-Gehalt der Innenraumluft sowohl im Sommer als auch im Winter korreliert stark ($r=0,72$ bis $0,85$) mit dem CO_2 Gehalt. Die Korrelation wurde mit Hilfe der SAS-Prozedur Corr als Rangkorrelation (Spearman und Kendalls τ -b) berechnet. Beide sind für ordinal oder metrisch skalierte Daten ohne Normalverteilungsannahme geeignet. Methan wird aus dem Pansen beim Wiederkauen freigesetzt und wird als Treibhausgas für die globale Erwärmung mit verantwortlich gemacht. Beide Gase sind aber nicht vom Stallgebäude abhängig, sondern von der Fütterung, daher die Einschränkung auf CO_2 , dass als „Frischlufte-“ oder „Lüftungsindikator“ gelten könnte.

3.4.1 Schadgase - Sommerklima

Das Klima im Sommer ist gekennzeichnet durch hohe Temperaturspitzen am Tag, die auch für die Aufheizung von Stallgebäuden verantwortlich gemacht werden können. Daher rührte auch die Annahme, dass ungedämmte Gebäude bzw. Hütten, wie z. B. die GFK-Hütten, temperaturbedingt auch höhere Ammoniakemissionen aufweisen. Die Mittelwerte der NH_3 Emissionen der verschiedenen Hütten (Abbildung 15) unterscheiden sich signifikant. Allerdings liegen die Mittelwerte (Mediane) in etwa auf der Höhe der Nachweisgrenze oder Messgenauigkeit des Multigasmonitors. Die Signifikanzen sind vorhanden, weil z. B. Das 99 % Quantil für NH_3 bei GFK1 doppelt so groß ist wie für LNS1. Berücksichtigt man, dass die Grenzwerte für die Haltung von Kälbern bei 20 ppm liegen (s. Tabelle 1), so ist ein Mittelwert für alle Hüttenvarianten unter 2 ppm, also einem Zehntel des Grenzwerts, als positiv anzusehen. Als eine Ursache für diese niedrigen Werte muss wahrscheinlich die tägliche Entmistung und

Einstreu der Hütten angesehen werden. Eine weitere Ursache liegt darin begründet, dass der größte Anteil Kot und Harn beim Fressen anfällt und daher die Fressplätze als Emissionsquelle anzusehen sind.

Betrachtet man die Verteilung der Werte für Kohlendioxid im Sommer (Abbildung 16), erkennt man auch hier anhand der Boxplots, dass die Verteilungen sehr unterschiedlich sind. Alle drei Hüttenvarianten unterscheiden sich bezüglich des CO₂ Gehalts in der Umgebungsluft der Tiere signifikant. Das Niveau der Werte ist auch hier wieder sehr gering, wenn man bedenkt, dass der Grenzwert beim 10fachen der hier dargestellten Maximalwerte liegt. Die Werte für die Frischluft, die zwischen 500 und 560 ppm liegen, entsprechen dem Normalgehalt der Luft an CO₂ und bestätigen zusammen mit der geringen Schwankungsbreite die Genauigkeit der Messung.

Beim Vergleich der Temperaturwerte (s. Abbildung 17) erkennt man gut die Gleichmäßigkeit der zugrunde liegenden Verteilungen. Sinngemäß gibt es auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Temperaturverteilungen der Hütten. Ein signifikanter Unterschied besteht aber zwischen Außentemperatur (Referenz, gemessen im Schatten) und der Innenraumtemperatur der GFK1- und der GFK2-Hütte. Damit kommt zum Ausdruck, dass speziell im Sommer die Aufheizung der Hütten sogar den Tagesmittelwert der Temperatur gegenüber der Referenz signifikant erhöht. Würde man die Mittelwerte nur über 12 h tagsüber mit einander vergleichen, entstünden auch signifikante Unterschiede in der mittleren Temperatur zwischen LNS- und GFK-Hütten. Bei einer 24 h Betrachtung wird dieser Unterschied durch die nächtliche Abkühlung abgeschwächt.

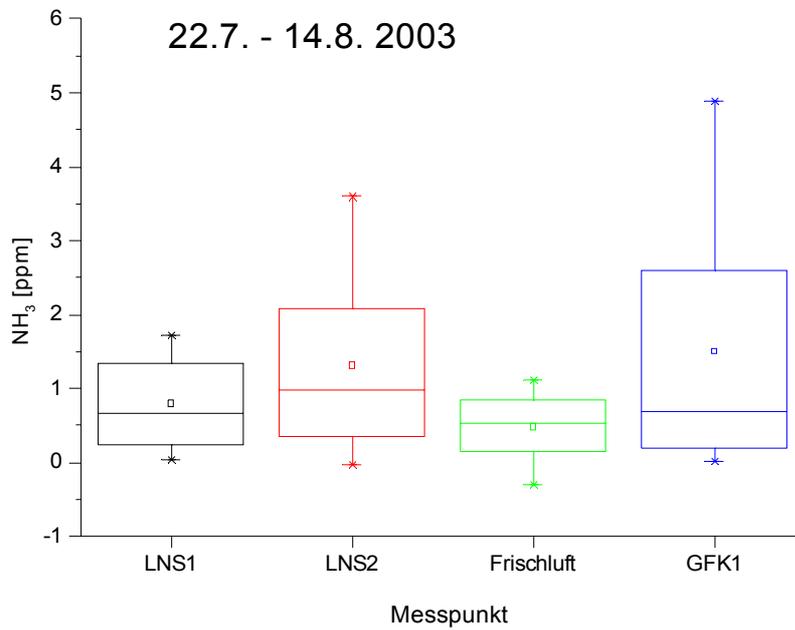
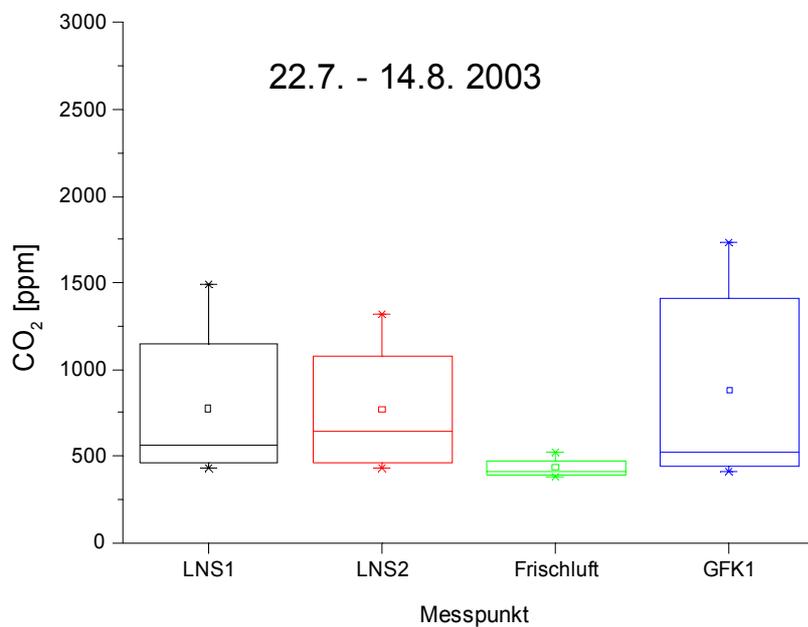


Abbildung 18: Anteil der NH_3 -Konzentration in der Umgebungsluft und den verschiedenen



Großraumhütten (Sommer-Situation)

Abbildung 19: Anteil CO_2 in den Kälberhütten und der Umgebungsluft (Sommer-Situation)

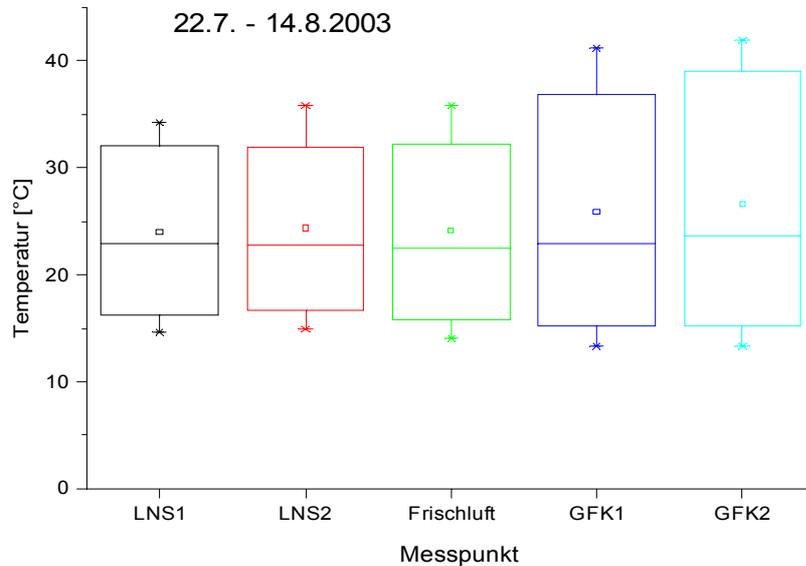


Abbildung 20: Temperaturverteilung in den untersuchten Kälberhütten und der Umgebungsluft (Sommer-Situation)

3.4.2 Schadgase - Winterklima

Gegenüber den im Sommer gemessenen Daten besteht der größte Unterschied bei der Temperaturverteilung (Abbildung 20). In diesem Fall gibt es keine signifikanten Unterschiede sowohl zwischen den Temperaturverteilungen der einzelnen Hüttenvarianten als auch der Außentemperatur. Ursache dafür ist die fehlende Aufheizphase tagsüber.

Für NH_3 ergibt sich folgende Situation: Geringe, aber noch signifikante Unterschiede zwischen LNS1 und GFK1, hoch signifikante Unterschiede zwischen LNS2 und LNS1 sowie zwischen LNS2 und GFK1.

Analysiert man die Verteilung der CO_2 Konzentrationen, so ergibt sich ein signifikanter Unterschied von LNS1 zu GFK1 und LNS1 zu LNS2. Kein signifikanter Unterschied bezogen auf das Merkmal CO_2 besteht zwischen LNS2 und GFK1. Die Werte liegen auf einem ähnlichen Niveau wie in der Sommerphase.

Grenzwerte, wie sie in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung zu finden sind, werden in keinem Fall erreicht. CO_2 als auch NH_3 betragen etwa 1/10 des erlaubten Grenzwertes.

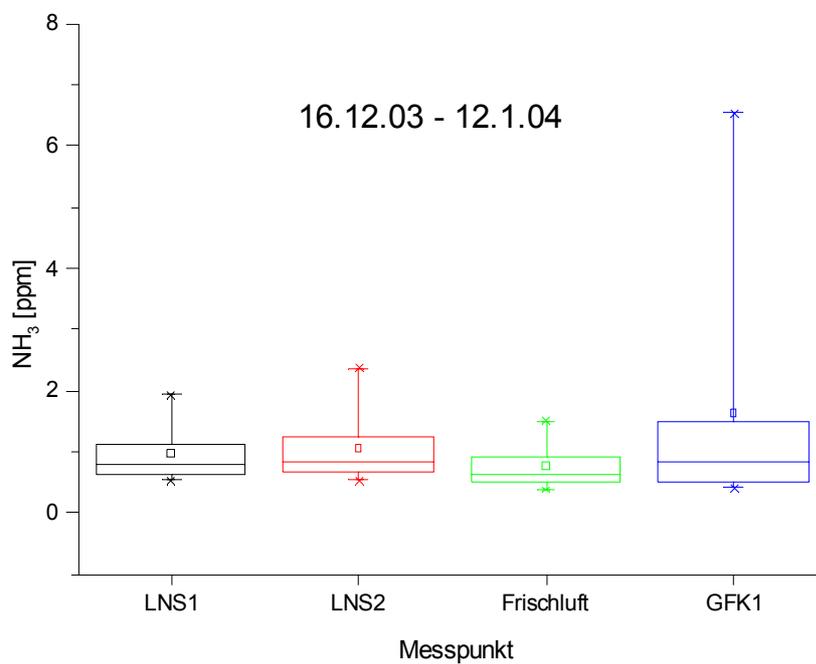


Abbildung 21: Verteilung der NH_3 Konzentration in den Kälberhütten und der Umgebungsluft (Winter-Situation)

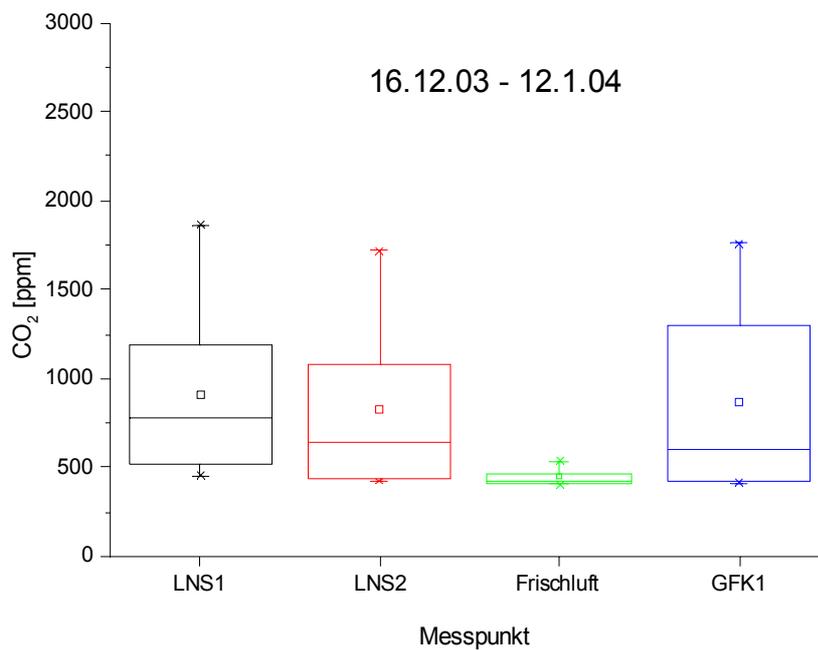


Abbildung 22: CO₂ Konzentration in den Kälberhütten und der Umgebungsluft (Winter-Situation)

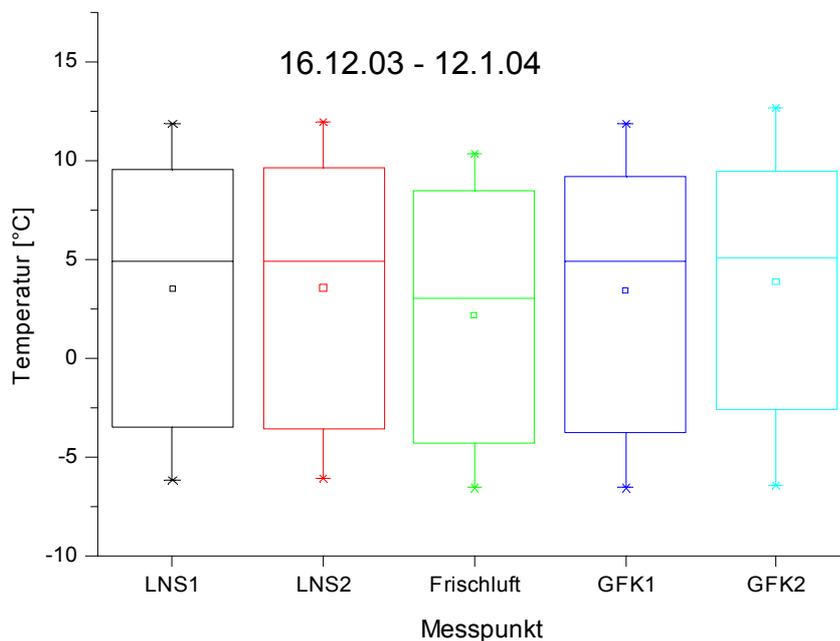


Abbildung 23: Temperaturverteilung in den Kälberhütten und am Referenzmesspunkt (Wintersituation)

3.4.3 Emissionen – Passivsammler

Als Ergänzung zu den NH_3 – Messungen in den Kälberhütten wurden die Passivsammler zusätzlich in das Versuchsprogramm aufgenommen. Die Werte für die Passivsammler liegen als Mittelwerte je Pfahl und Abnahmedatum vor. Zur Interpretation der Daten sollte man den Lageplan (Abbildung 9 auf Seite 17) zu Hilfe nehmen. Dort sind die Standorte der einzelnen Pfähle verzeichnet. In Abbildung 24 sind vier ausgewählte Passivsammler mit den entsprechenden NH_3 – Gehalten dargestellt. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wurden nur 4 von 6 Messpunkten dargestellt. Die Werte liegen in der Sommerphase generell höher, dies scheint temperaturbedingte Ursachen zu haben. Die Unterschiede zwischen den Messpunkten zum gleichen Termin aber können nur auf unterschiedliche Emissionsstärken zurückgeführt werden. Betrachtet man die Standorte der Pfähle 1 und 6, so sieht man, dass diese in der Nähe der Fressplätze stehen, die unserer Meinung die am stärksten emittierenden Quellen sind. Pfahl 3 und 5 hingegen stehen am Rand der Umzäunung und sind, wenn man die vorherrschende Windrichtung Süd-West berücksichtigt, kaum stärkeren NH_3 Emissionen ausgesetzt.

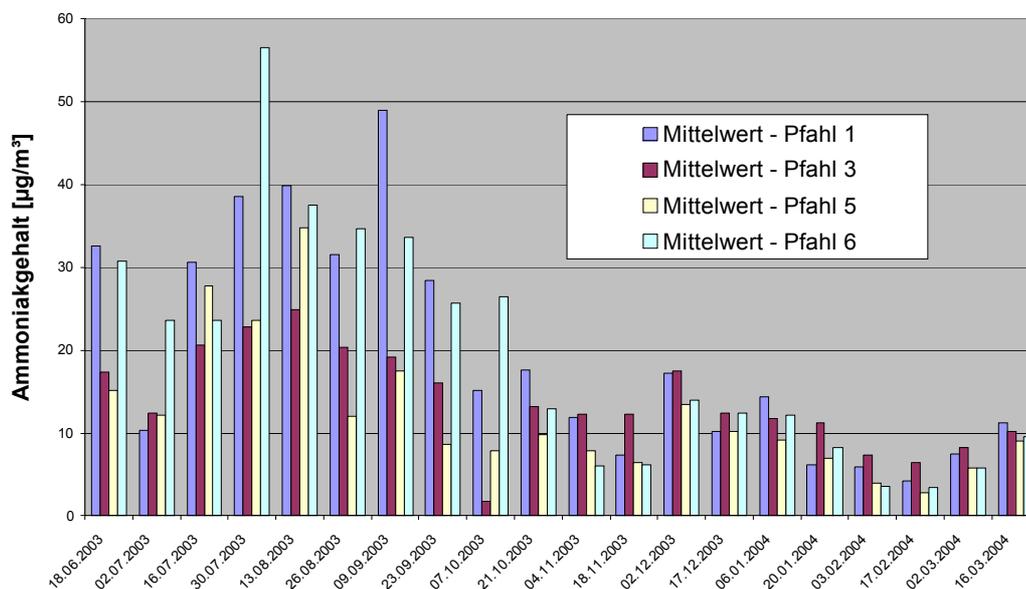


Abbildung 24: Mittlere NH₃ Gehalte ausgewählter Passivsammler (Juni 03 bis März 04)

3.4.4 Hitzestress/Herzfrequenz

An insgesamt 10 Tagen wurden im August 2003 Herzfrequenzmessungen durchgeführt. Verwendet wurden 6 Polar Sport Tester S810, mit denen je 3 Kälber für eine Hüttenvariante ausgerüstet wurden. Die Kälber wurden um ca. 11 h mit Kraftfutter gelockt, um die HF-Monitore anzubringen. Danach konnten die Tiere in Ruhe weiter fressen. Im Normalfall legen sie sich dann ab 12 h in die Hütten, auch bei größter Hitze. Nur in Ausnahmefällen nutzten die Tiere die Schattenbäume auf ihren Auslauflächen für ihre „Mittagsruhe“. Nach dem Ende der Liegephasen wurden die HF-Monitore wieder abgenommen und die Daten auf einen PC ausgelesen. Zur weiteren Verarbeitung mit SAS wurden die Daten zunächst mit Excel bearbeitet, um die Liegeperioden zu charakterisieren. Danach wurden für die unterschiedlichen Hütten LNS und GFK Klassen gebildet und die Varianten über Mittelwerte mit einander verglichen. Für die Hälfte der Aufnahmetage war das Wetter kühl und auch etwas regnerisch. Die Aufnahmetage wurden nach den Wetterbedingungen kühl oder warm in zwei Kategorien klassifiziert. Zur Auswertung kamen aufgrund fehlender Normalverteilungsvoraussetzung nicht-parametrische Verfahren in Frage. In diesem Fall der Kruskal-Wallis Test durch die SAS-Prozedur „Npar1way“. Die Daten wurden mit Excel nach den beiden Faktorvariablen Hütte und Wetter aufgearbeitet, indem die Liegephasen der Tiere entsprechend kodiert wurden. Interessanterweise wurde ein signifikanter Unterschied in der Herzfrequenz der Tiere nachgewiesen: Zwischen warmen und kühlen Tagen, allerdings war die Herzfrequenz an kühlen Tagen höher (Abbildung 25). Eine weitere Bearbeitung der Daten zeigt, dass die Unterschiede mehr oder weniger tierindividuell waren und der Parameter Herzfrequenz erschien daher nicht geeignet,

Unterschiede der thermischen Eigenschaften der Kälberhütten nachzuweisen. Wahrscheinlich ist der Hitzestress nicht groß genug, um entsprechende Reaktionen auszulösen. Als Ergebnis kann aber fest gehalten werden, dass die Kälberhaltung in Großraumhütten anscheinend weniger thermische Klimaprobleme mit sich bringt, als die Einzelhüttenhaltung.

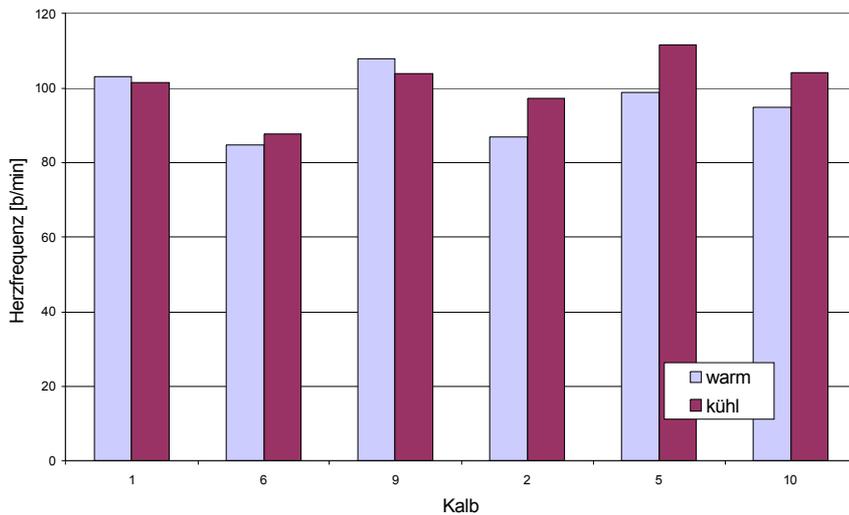


Abbildung 25: Mittlere Herzfrequenz für sechs Kälber bei unterschiedlicher Witterung

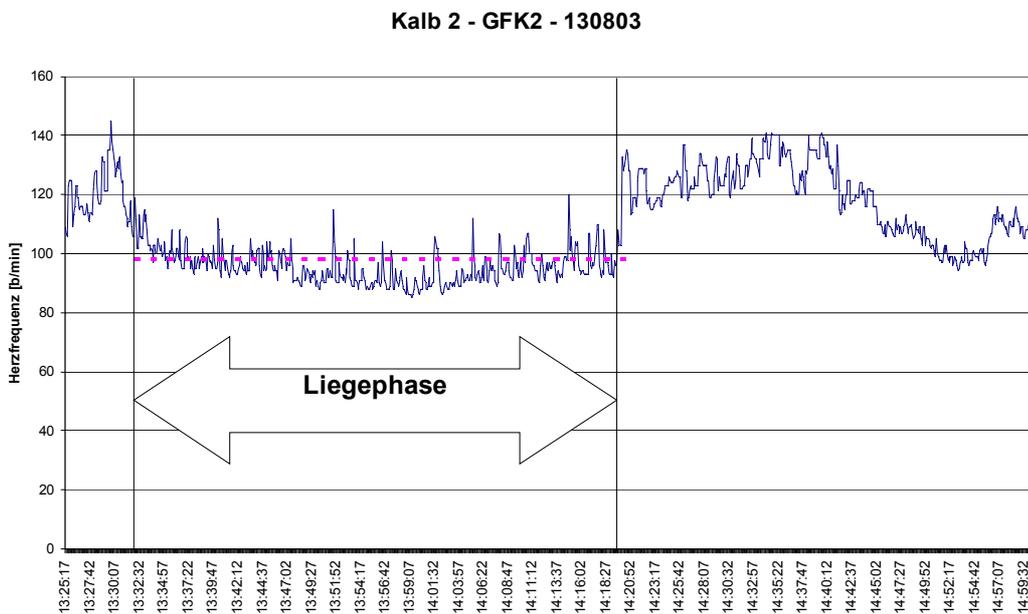


Abbildung 26: Herzfrequenzmessung für ein Kalb der GFK-Gruppe (Liegephase markiert)

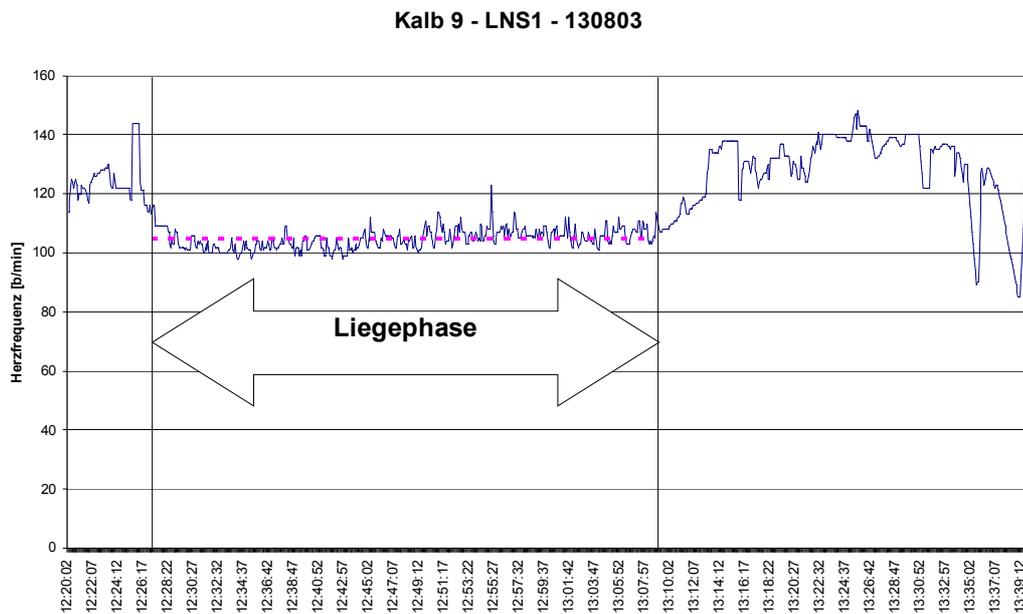


Abbildung 27: Herzfrequenzmessung für ein Kalb der LNS-Gruppe (Liegephase markiert)

3.4.5 Thermografie

Um den Einzeleffekt des Gründachs auf das Klima in der LNS-Hütte zu isolieren, wurde im Anschluss an den Vergleichsversuch mit Kälbergruppen eine Untersuchung zur Bestimmung des Gründacheffekts durchgeführt. Diese Nachuntersuchung wurde ohne Tiere durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 im Überblick dargestellt. Als Referenztemperaturen sind die Außentemperatur im Schatten und in der Sonne aufgeführt. Die Variante LNS1 (mit Gründach) kommt sehr nah an die charakteristischen Werte für die Temperatur im Schatten heran. Korrelationsberechnungen bestätigen dies auch mathematisch. Die Gründach-Variante hat ähnliche niedrige Standardabweichungen wie die Außentemperatur im Schatten, auch Minima und Maxima sind ähnlich. Diese Werte bestätigen die gemäßigten Temperaturverläufe an heißen Tagen in den LNS-Hütten, das Gründach verstärkt diese Temperaturspitzen glättung noch.

Die Variante LNS2 (ohne Gründach) hat höhere Innenraumtemperaturen und auch eine höhere Standardabweichung. Allerdings muss bei diesen Daten auch berücksichtigt werden, dass die Dachoberfläche aus schwarzer Teichfolie bestand (Unterbau des Gründachs) und aus Kostengründen nicht gegen eine sinnvollere helle Dacheindeckung getauscht werden konnte.

Die Hütte GFK1 stand unter gleichen Bedingungen wie LNS1 und LNS2 in der prallen Sonne. Die mittlere Innenraumtemperatur ist in dieser Hütte am höchsten, ebenso die Standardabweichung mit 5,61°C, was auf extreme Temperaturschwankungen hindeutet.

Stellt man eine GFK-Hütte direkt unter die ausladenden Äste eines Baums als Schattenspender, erreicht man in etwa den Effekt, den die LNS1-Variante ohne Zusatzschatten in der prallen

Sonne bewirkt. Die Variante GfK2 stand mehr aus technischem Interesse komplett im Schatten, in der Praxis würde ein Landwirt einen anderen Standort bevorzugen (Bodenplatte usw.).

Als Schlussfolgerung aus diesen Daten bleibt, dass eine LNS-Hütte mit Gründach in der Sonne die gleiche beschattende Wirkung hat wie eine Hütte, die direkt unter einem schattigen Baum platziert wird.

Tabelle 7: Außen- und Innenraumtemperaturen für verschiedene Hütten (AT-Sch = Außentemperatur Schatten, AT-So = Außentemperatur Sonne)

Variablen	Einheit	Anzahl [n]	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
AT - Sch	°C	90	26,06	3,24	17,7	30,74
AT - So	°C	90	28,54	4,63	19,58	38,75
LNS 1	°C	90	26,71	2,75	19,85	30,84
LNS 3	°C	90	27,73	3,64	19,85	33,1
GfK 2	°C	90	29,04	5,61	19,39	37,8
GfK 4	°C	90	26,96	2,54	21,16	29,35

Um den Gründach-Effekt isoliert betrachten zu können, wurden die bereits beschriebenen Thermografieaufnahmen an Wand und Decke der vier Hütten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Innenwandtemperaturen der beiden LNS-Varianten kaum unterschiedlich sind, während die LNS2-Variante ohne Gründach bei Innenoberflächentemperatur des Dachs höhere Durchschnittswerte bringt. Auch die anderen Kenngrößen wie Standardabweichung und Maximalwert weichen hier ab.

Tabelle 8: Mittlere Temperaturen an der Innenoberfläche von Dach und Wand (DT und WT) sowie Innenraumtemperaturen (LT) bei vier verschiedenen Kälberhütten

Variablen	Einheit	Anzahl	Mittelwert	Standard-	Minimum	Maximum
		[n]		abweichung		
AT - Sch	°C	48	25,77	3,52	17,7	30,69
AT - So	°C	48	28,89	4,93	19,58	38,75
LT	°C	90	26,71	2,75	19,85	30,84
LNS 1 WT	°C	48	26,72	3,03	20,25	30,69
DT	°C	48	27,15	3,38	19,75	32,45
LT	°C	90	27,73	3,64	19,85	33,1
LNS 3 WT	°C	48	27,34	3,33	20,5	31,66
DT	°C	48	28,45	4,15	20,8	34,35
LT	°C	90	29,04	5,61	19,39	37,8
GfK 2 WT	°C	48	29,38	5,14	19,69	36,06
DT	°C	48	29,33	5,29	20	37,2
LT	°C	90	26,96	2,54	21,16	29,35
GfK 4 WT	°C	48	27,74	2,66	21,22	32,41
DT	°C	48	27,45	2,47	21,25	31,75

Das Gründach hat auf das thermische Verhalten der Kälberhütten einen zusätzlichen mäßigenden Effekt, der auch im Vergleich der Tagesmitteltemperaturen (Abbildung 28) gut zu erkennen ist.

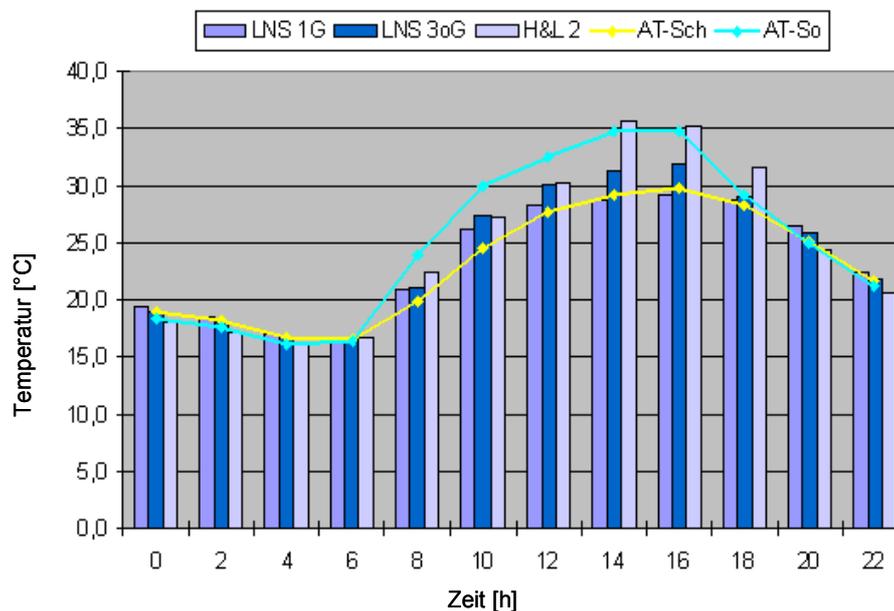


Abbildung 28: Temperaturverläufe in LNS-Hütten mit ohne Gründach sowie GfK im Vergleich zur Außentemperatur gemessen in der Sonne bzw. im Schatten (LNS 1 G = LNS mit Gründach, LNS 3 oG = LNS ohne Gründach, H & L 2 = GfK ohne Beschattung)

4 Zusammenfassung

Die Untersuchung zeigt, dass auch ein an und für sich gutes Haltungsverfahren für Kälbergruppen in Großraumhütten noch verbessert werden kann. Der neuartige ökologische Baustoff LNS wurde erstmals für die landwirtschaftliche Tierhaltung eingesetzt. Das Material hat dabei unter harten Bedingungen mindestens die gleichen Qualitäten gezeigt wie vergleichbare Kunststoffe. Durch die natürlichen Dämmeigenschaften wurde das Klima in den LNS-Kälberhütten verbessert, indem schnelle Aufheizung vermieden wird und kein Kondensat an den Innenwänden gebildet wird.

Ökologisches Bauen in der Landwirtschaft ist möglich geworden, ohne dabei auf Funktionalität verzichten zu müssen. Selbsttragende LNS-Hütten können genauso leicht versetzt werden wie Hütten aus glasfaserverstärkten Kunststoffen und sind auch genauso lange haltbar. Neben der technischen Machbarkeit von Großraumhütten aus nachwachsenden Rohstoffen konnte auch gezeigt werden, dass LNS nicht nur ökologisch sinnvoll ist, sondern auch ökonomisch machbar ist.

5 Schlussbilanz

5.1 Soll- / Ist-Vergleich

Tabelle 9: Gegenüberstellung von Zielsetzungen und Ergebnissen

Soll	Ist
Großraumhütten aus nachwachsenden Rohstoffen mit Gründach	Wurden wie geplant konstruiert, gebaut und im praktischen Betrieb verwendet
Ersatz von GFK durch ökologische Baustoffe	Wurde demonstriert, Ersatz ist auch ökonomisch machbar
Versuchsaufbau	Konnte wie im Projektantrag dargestellt realisiert werden
Verbesserung des Stallklimas durch Verwendung natürlicher Baustoffe und Gründach	Effekte der natürlichen Sandwich-Elemente (LNS) konnten nachgewiesen werden, der Effekt des Gründachs wurde zusätzlich isoliert betrachtet und nachgewiesen
Untersuchungsmethoden	Hier gibt es kleine Abweichungen vom Versuchsplan: - Emissionsmessungen wurden (wie geplant) durchgeführt, aber durch Passivsammler für NH ₃ ergänzt - auf eine Videoauswertung wurde verzichtet - eine zusätzliche Untersuchung zur Bestimmung des Gründach-Effekts wurde durchgeführt - Herzfrequenzmessungen wurden durchgeführt, eignen sich aber nicht als Merkmal

5.2 Ausblick

Ein interessante Fragestellung für die Zukunft wäre die Problematik der Befestigung und Umweltwirkung der Fressplätze bei der Außenhaltung von Rindern. Dieses Problem ist einer der Schwachpunkte bei dieser eigentlich optimalen Haltungsform.

5.3 Abweichungen vom Versuchsplan

s. Tabelle 9

6 Wissenstransfer

6.1 Medien

- Sendung „DAS“ im NDR vom 6.11.2003
- „Hochtechnologie vom Acker“ Beitrag Braunschweiger Zeitung 5.7.2003
- „Kälberhütten – Alternativen zu GfK und PE“ Zeitschrift Bioland, 05/2004

6.2 Fachvorträge Zielgruppe Landwirte

- Vorträge Milchviehtag Bioland Kloster Plankstetten am 26.1.2005
- Vortrag Naturland Verband Oberdarching 1. Juni 2005
- Vortrag Naturland Verband in Miesbach 2. Juni 2005
- Vortrag Ökomilchviehtag Amt für Landwirtschaft und Forsten, Bamberg, Beratung ökologischer Landwirtschaft, am 5.12. 06 in Veitsaurach, Mittelfranken
- Demeter Erzeugerring Kranzberg am 11.1.2006 in Berg-Farchach

Bereits zugesagte Vorträge:

- Demeter e. V. am 14.2.2006 Chiemgau

6.3 Vorträge Zielgruppe Wissenschaft und Beratung

Ammoniakmessungen in einer Auslaufhaltung für Kälber (Ammonia measurements in a free range calf housing system)Hinz, Torsten; Eisenschmidt, Richard; Linke, Stefan; Georg, Heiko; Ude, Gracia 7. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005 in Braunschweig

7 Literatur

- BARTUSSEK, H., LENZ, V., WÜRZL, H. und ZORTEA, W.: 2002, Rinderstallbau, Leopold Stocker Verlag, Graz
- EIDNER, S.: 2003, Diplomarbeit an der Fachhochschule Hannover - Fachbereich Bioverfahrenstechnik Datensammlung zur ökologischen Bewertung von LNS-Plattenmaterialien
- ERNST, E. und E. KALM: 1994, Grundlagen der Tierhaltung und Tierzucht Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin S. 77 - 78
- HAUTMANN: 2004, Die Entsorgung von Windkraftanlagen bereitet Probleme Die Welt 15.7.2002
- HOFMANN: 2004, Weichmacher – Göttinger Umweltlabor <http://www.gul-umweltlabor.de/>
<http://www.agoef.de/>
- LAMMERS, B.P., VAN KOOT, J.W., HEINRICHS, A..J., UND R.E. GAVES: 1996, The effect of plywood and polyethylene calf hutches on heat stress American Society of Agricultural Engineers
- MÖLLER, F.: 2004, Infoblatt: Leichtbauwerkstoff – LNS Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL
- NN: 2004b GfK-Recycling: Das „European Composite Recycling Concept“
<http://www.dsm.com/>
- NN, 2004e, Thermografiesoftware IRBIS [http://infratec.de/thermographie/53 de.html](http://infratec.de/thermographie/53_de.html)
- LIPPMANN, I.: 2005, Kälberhaltung im Außenklima, Forschungsbericht Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, August-Böckstiegel-Str. 1, 012326 Dresden
- MACAULEY, A.S., G.L. HAHN, D.H. CLARK UND D.V. SISSON: 1995, Comparioson of calf housing types and tympanic temperature rhythms in Holstein calves. J. Dairy Sc. 78:856 - 862

8 Kurzfassung

8.1 Deutsch

In einer Untersuchung wurden Großraumhütten aus GFK und nachwachsenden Rohstoffen (Leicht-Natursandwich LNS) im Hinblick auf Mikroklima sowie Haltbarkeit und Funktionalität miteinander verglichen. 96 Kälber ab einem Alter von 13-14 Wochen wurden im Versuch zufällig auf 16 Gruppen zu je sechs Kälbern aufgeteilt. Vier Gruppen wurden parallel für einen Zeitraum von 3 Monaten in 4 Großraumhütten gehalten, dadurch wurden 8 wiederholte Durchgänge je Hüttenvariante in 12 Monaten möglich. Unter sonst gleichen Bedingungen (Fläche und Funktionsbereiche) wurden zwei GFK- und zwei LNS-Großraumhütten verwendet. Zur Bewertung der Hütten wurden Schadgase in Hütten gemessen, Klimaparameter (Temperatur und Luftfeuchte) bestimmt und Funktionalität und Haltbarkeit im praktischen Betrieb erprobt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass auch ein an und für sich gutes Haltungsverfahren für Kälbergruppen in Großraumhütten in Teilbereichen noch verbessert werden kann. Der neuartige ökologische Baustoff LNS wurde erstmals für die landwirtschaftliche Tierhaltung eingesetzt. Das Material hat dabei unter harten Bedingungen mindestens die gleichen Qualitäten gezeigt wie vergleichbare Kunststoffe. Durch die natürlichen Dämmeigenschaften wurde das Klima in den LNS-Kälberhütten verbessert, indem schnelle Aufheizung vermieden wird und kein Kondensat an den Innenwänden gebildet wird. Für das verwendete Gründach konnte ein zusätzlicher Klimaeffekt in der Sommerphase nachgewiesen werden.

Ökologisches Bauen in der Landwirtschaft ist möglich geworden, ohne dabei auf arbeitssparende Funktionalitäten verzichten zu müssen. Selbsttragende LNS-Hütten können genauso leicht versetzt werden wie Hütten aus glasfaserverstärkten Kunststoffen und sind auch genauso lange haltbar. Neben der technischen Machbarkeit von Großraumhütten aus nachwachsenden Rohstoffen konnte gezeigt werden, dass LNS nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern auch ökonomisch realistisch ist.

8.2 Englisch

Superhutches for calves made of fibre reinforced plastic (GFK) and renewable raw materials (Light-Natural-sandwich = LNS) with a green roof were studied concerning microclimate, durability and practical functions. 96 calves aging from 3 to 6 months were randomly assigned to 16 groups with 6 calves each. 8 groups per treatment (two hutch type) were realized within 12 months. The superhutches, two LNS-type and two GFK-type, were placed under similar conditions on pasture at FAL-Braunschweig experimental station. Temperature measurements were made of inside and outside air, interior and exterior surface as well as relative humidity inside and outside the hutches. In addition, ammonia, carbondioxide and methan was measured with a multigas monitoring system.

The microclimate of superhutches could be improved by using sandwich panels (LNS) and covering the roof with a plant carpet. LNS was used for the first time in livestock buildings and is convincing regarding durability and practical functions. Inside air temperature in LNS-hutches was significantly lower than GFK in summer and an additional effect of the green roof could be measured.

Eco-buildings for agriculture can be realized in that way, without loosing practical functions. Load bearing LNS-superhutches could be moved in the same way as GFK-type hutches in order to remove solid manure. From economical point of view, eco-superhutches for calves made of LNS renewable raw materials can compete with GFK plastic based hutches.