

Rindviehställe im Berggebiet (Engadin)

Kaltstall oder Warmstall optimieren

Ludo Van Caenegem und Jean-Marc Anceau, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Stallgebäude im Berggebiet sind extremen klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Grosse Temperaturschwankungen mit strengem Nachtfrost wirken sich auf die Lebensbedingungen der Tiere, die Arbeitsbedingungen des Menschen und die Funktionstüchtigkeit der Stalltechnik aus. Eine gute Wärmedämmung und eine winddichte Bauhülle genügen nicht, um den Stall frostfrei zu halten. Ebenso sind ein regelbares Lüftungssystem und die Nutzung der Sonnenenergie unentbehrlich.

Eine ausreichende Lüftungsrate ist nicht nur für die Gesundheit der Tiere und des Landwirts, sondern auch für die Langlebigkeit des Gebäudes von grosser Bedeutung. Ein Unterschreiten der minimalen Lüftungsrate mit folglich hohen Schadgaskonzentrationen und hoher relativer

Feuchtigkeit ist nur während kurzer Perioden tolerierbar. Jeder Phase von Unterlüftung soll stets eine Periode mit stark erhöhtem Luftwechsel folgen. Wegen seiner ausgezeichneten hygroskopischen Eigenschaften empfiehlt sich der grossflächige Einsatz von Rohholz in Wänden, Decken oder Dach. Holz kann ohne Schaden beträchtliche Wassermengen (in der Nacht) aufnehmen, muss diese Feuchtigkeit allerdings auch wieder (am Tag) abgeben können. Die Trocknung der Bauhülle erfordert Energie, mehr als bei tiefen Aussentemperaturen aus der Tierwärme zur Verfügung steht. Die fehlende Energie ist jedoch im nebelfreien Berggebiet in Form von Sonnenstrahlung reichlich vorhanden. Es kommt nur darauf an, die Sonnenenergie durch die richtige Lage und Orientierung des Stalles maximal zu nutzen.

Klimamessungen während zwei Wintern zeigen, dass auch in Aussenklimaställen dank passiver Sonnenenergienutzung die Stalltemperatur tagsüber selten unter Null Grad verharrt und die Funktionstüchtigkeit der Technik auch während der kältesten Periode gewährleistet bleibt. Das Management des Bauern ist allerdings für das gute Funktionieren entscheidend, dies nicht nur in einem nichtwärmedämmten, sondern auch in einem wärmedämmten Stall.

Neben der allfälligen Wärmedämmung verursachen auch die wegen der hohen Schneelast erheblich grösseren Binderdimensionen beträchtliche Mehrinvestitionen. Dieser Bericht zeigt Möglichkeiten, wie sich diese Mehrkosten durch Optimierung von Konzept, Bauhülle und Dachstruktur stark verringern lassen.



Abb. 1: Hohe statische und klimatische Anforderungen verteuern die Rindviehställe im Berggebiet.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Methodik	2
Aussenklima	3
Frostfreier Stall möglich?	3
Klimamessungen	4
Diskussion	8
Kosteneinsparungen	8
Schlussfolgerungen	12

Problemstellung

Hohe statische und klimatische Anforderungen verteuern die Rindviehställe im Berggebiet. Dabei stellt sich die Frage, ob eine Wärmedämmung der Bauhülle für die Funktionstüchtigkeit des Stalles erforderlich ist. Kann man den Stall frostfrei betreiben, ohne dass die Lüftungsrate zu stark gedrosselt werden muss? Zu niedrige Lüftungsraten können die Gesundheit der Tiere und des Menschen gefährden und ausserdem Gebäudeschäden durch Kondenswasserbildung verursachen. Hohe Schneelasten erfordern grössere Binderdimensionen und schränken den Gebrauch von Massivholz ein. Verleimte Binder sind erheblich teurer als Massivholz, ermöglichen aber grössere Spannweiten. Lassen sich durch Konzept- und Materialwahl bei der Bauhülle sowie durch statische Optimierung bei der Dachstruktur wesentliche Kosten einsparen?

Methodik

Zur Abklärung der Notwendigkeit einer Wärmedämmung für die Funktionstüchtigkeit des Stalles erfolgten neben theoretischen Stallklimaberechnungen auch während zwei Wintern Klimamessungen in einem wärmegegedämmten Milchviehstall sowie einem nichtwärmegegedämmten Mutterkuhstall im Oberengadin. Unter Funktionstüchtigkeit ist nicht nur das problemlose Funktionieren der verschiedenen betrieblichen Vorgänge (Fütterung, Entmistung, Wasserversorgung, Melken...) zu verstehen, sondern auch das Fernbleiben von Bauschäden durch Feuchtigkeit. Die Klimamessungen waren notwendig, da der wirkliche Verlauf des Stallklimas sich aufgrund des Aussenklimas, der Wärmedämmung, des Tierbesatzes und der Lüftungsrate nur annähernd berechnen lässt. Einerseits schwanken die Wärme-, Feuchte- und Gasproduktion durch die Tiere im Tagesverlauf stark, andererseits kann der Landwirt die Hauptquelle der Wärmeverluste, die Lüftungsrate, beeinflussen.

Die Wärmedämmung verursacht einerseits Mehrkosten bei der Bauhülle, erlaubt andererseits wichtige Kosteneinsparungen in anderen Bereichen. Der tatsächliche Kostenunterschied zwischen einer wärme- und einer nichtwärmegegedämmten Bauweise geht aus einem Fallbeispiel hervor.

Statische Berechnungen im Rahmen einer Diplomarbeit zeigen, wie man durch Optimierung von Dachneigung und Binderabstand sowie durch Konzeptwahl die Baukosten senken kann.

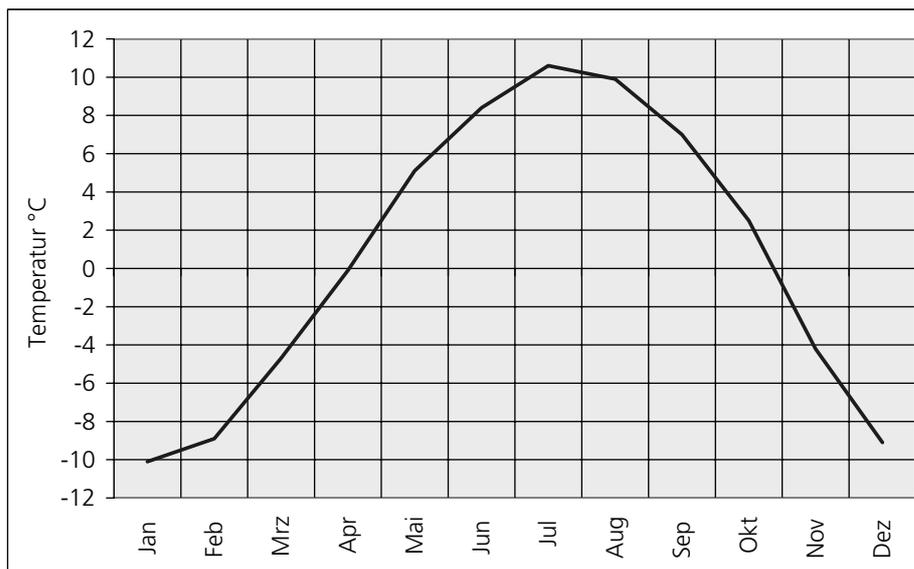


Abb. 2: Jahresgang der Temperatur (Tag-Nacht-Mittel) in Samedan (1961–1990).

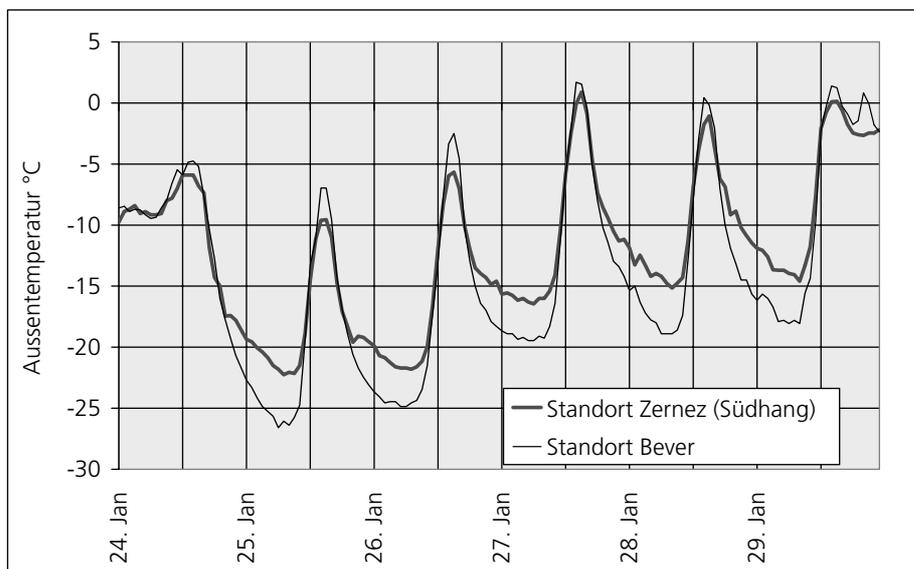


Abb. 3: Die Südhanglage des Standortes Zernez wirkt sich positiv auf die Minimumtemperatur aus. Messwerte Januar 2000.

Aussenklima

Das Winterklima im Oberengadin ist einerseits durch extrem tiefe Temperaturen, andererseits durch grosse Tag/Nacht-Schwankungen gekennzeichnet. Die mittlere Jahrestemperatur in Samedan-St. Moritz (1705 m ü.M.) beträgt lediglich 0,5°C (Abb. 2). Es gibt durchschnittlich 71,5 Tage mit einem Temperaturmaximum unter 0°C, davon 18,8 Tage im Dezember und 21,1 im Januar. Die Sonnenscheindauer (Samedan: 102 h im Dezember) im Winter ist bedeutend höher als im Flachland (Zürich: 30 h). Die Temperaturminima werden neben der Meereshöhe auch durch die topographische Lage beeinflusst. Messungen an zwei Betriebsstandorten in etwa gleicher Meereshöhe zeigen bis zu 4°C höhere Minimalwerte für die günstige Südhänglage (Abb. 3). Die Schneelast nimmt nach SIA-Norm 160 sehr stark mit der Meereshöhe zu (Abb. 4). Sie beträgt beispielsweise für eine Meereshöhe von 1600 m 8,6 kN/m² gegenüber 0,9 kN/m² für 400 m ü.M.

Frostfreier Stall möglich?

Verzichtet man auf eine Heizung, kann der Temperaturunterschied innen/aussen nur so stark ansteigen, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Wärmeproduktion und Wärmeverlusten bildet. Eine vereinfachte Berechnung der Energiebilanz pro GVE (Milchkuh) zwischen Wärmeproduktion und Wärmeverlusten zeigt, welche Temperaturdifferenz innen/aussen in Abhängigkeit der Wärmedämmung und Lüftungsrate möglich ist.

Beispiel wärmedämmter Milchviehstall 1600 m ü.M.

Wärmeverluste durch die Bauhülle pro Milchkuh

Bauhüllefläche (ausser Boden ¹⁾) pro Milchkuh	28 m ²
Mittlerer k-Wert der Bauhülle	0,4 W/m ² K
Wärmeverluste durch die Bauhülle pro Milchkuh und °C Temperaturdifferenz innen/aussen	11,2 W/°C

¹⁾ Der Wärmeaustausch mit dem Boden ist schwierig zu berechnen und bei der relativ konstanten Temperatur im wärmedämmten Stall nur von geringer Bedeutung.

Wärmeverluste durch die Lüftung pro Milchkuh

Minimale Lüftungsrate pro Milchkuh ([CO ₂] = 2000 ppm)	142 m ³ /h
Wärmekapazität der Luft	0,28 Wh/kg °C
Luftdichte (bei +7 °C und 1600 m ü.M.)	1,03 kg/m ³
Wärmeverluste durch die Lüftung pro Milchkuh und °C Temperaturdifferenz innen/aussen	41 W/°C

Mögliche Temperaturdifferenz innen/aussen, Lüftungsrate für [CO₂] = 2000 ppm

Fühlbare Wärmeproduktion pro Milchkuh von 650 kg mit 15 kg Milchleistung	850 W
Gesamte Wärmeverluste (Bauhülle + Lüftung) pro Milchkuh und °C Temperaturdifferenz innen/aussen	52,2 W/°C
Mögliche Temperaturdifferenz innen/aussen (850:52,2)	16,3 °C

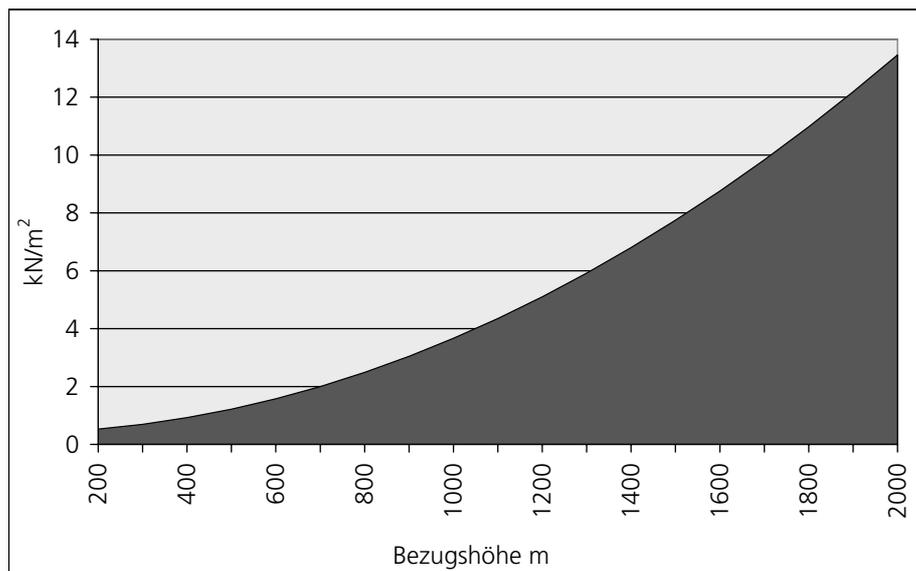


Abb. 4: Rechenwert für die Schneelast auf einer horizontalen Fläche nach SIA-Norm 160. Die Bezugshöhe ist die nach Region korrigierte Meereshöhe.

Aus dem Beispiel geht hervor, dass die mögliche Temperaturdifferenz innen/ausser weniger von der Bauhülle, sondern hauptsächlich von der Lüftungsrate bestimmt wird. Eine Verbesserung des mittleren k-Wertes um 37 % (0,25 statt 0,4 W/m² K) verringert die gesamten Wärmeverluste lediglich um 9 %. Eine Verringerung der Lüftungsrate um 37 % (89 statt 142 m³/h) reduziert dagegen die gesamten Wärmeverluste um 29 %. Durch die Herabsetzung der Lüftungsrate steigt die CO₂-Konzentration von 2000 auf 3000 ppm. Dank der verbesserten Wärmedämmung (0,25 W/m² K) und der reduzierten Lüftungsrate (89 m³/h) erhöht sich die mögliche Temperaturdifferenz innen/ausser auf etwa 26 °C.

Zur Überprüfung dieser theoretischen Erkenntnisse erfolgten während der Winter 1999–2000 und 2000–2001 Messungen in einem wärmegeprägten und einem nichtwärmegeprägten Stall im Oberengadin.

Klimamessungen

Wärmegeprägter Milchviehstall

Der wärmegeprägte Milchviehstall für 28 GVP (Abb. 5) befindet sich in Bever in einer sonnigen Lage auf 1700 m ü.M. Die Bauhülle besteht aus einer wärmegeprägten Holzkonstruktion (k-Wert 0,3 W/m² K) mit Flachdach (k-Wert 0,4 W/m² K). Das Flachdach ist mit einer Kiesschicht bedeckt. Während der Messperiode (Oktober 1999 – Juni 2000) befanden sich 13 Milchkühe, drei trächtige Rinder, ein Ochse, sechs Rinder (einjährig) und sechs bis acht Kälber im Stall.

Hohe Stalltemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die mittlere Aussentemperatur im Januar 2000 betrug -9,4 °C. Der tiefste Wert (-26,6 °C) wurde am 25. Januar gemessen. Die Stalltemperatur war in der gleichen Periode ausserordentlich ausgeglichen und schwankte geringfügig zwischen +8 und +10 °C (Abb. 6). Ausgenommen sind die Perioden am Tag, während welcher die Türen geöffnet wurden (Mittagszeit). Die gleichmässige Temperatur ist hauptsächlich der temperaturgeregelten mechanischen Lüftung



Abb. 5: Im wärmegeprägten Milchviehstall in Bever, Engadin, erfolgten von Oktober 1999 bis März 2001 Klimamessungen.

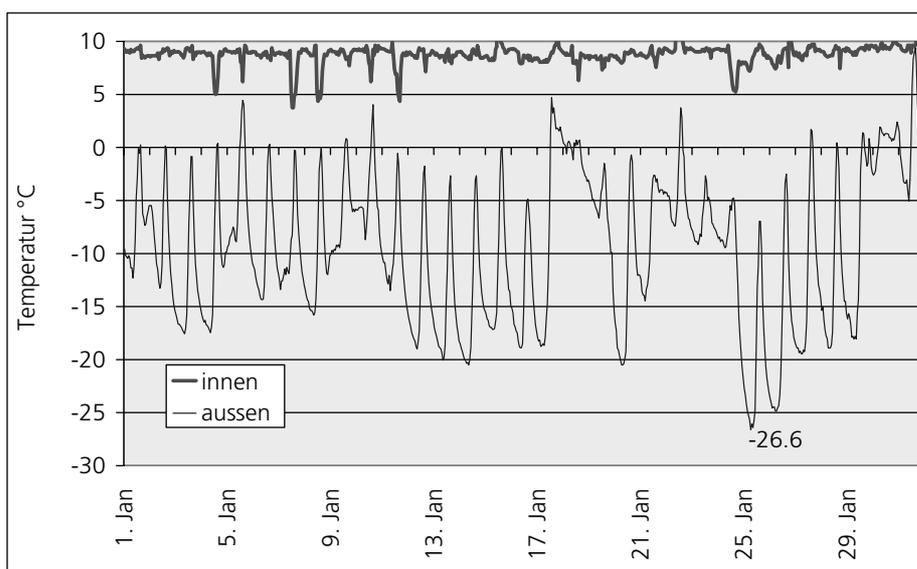


Abb. 6: Verlauf der Aussen- und Innentemperatur im wärmegeprägten Milchviehstall (Bever, Engadin) im Januar 2000.

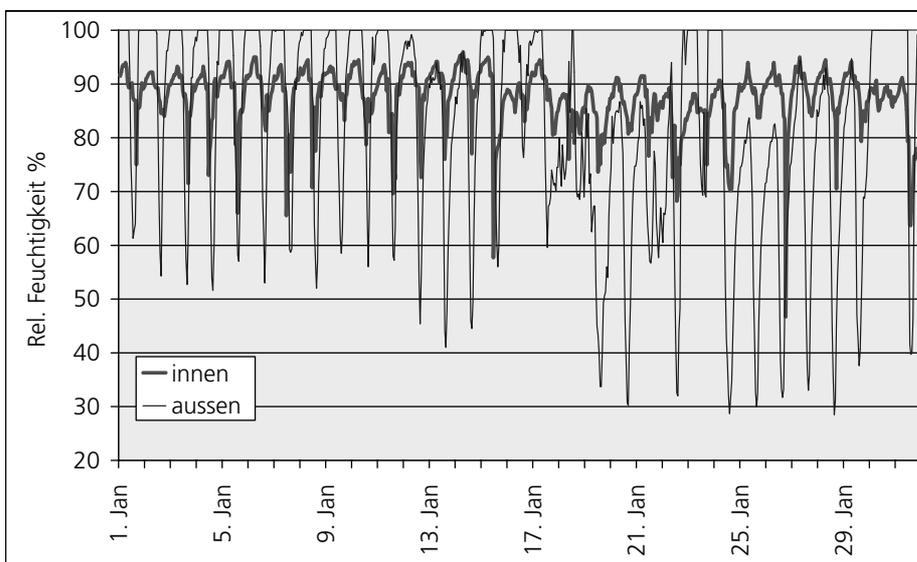


Abb. 7: Verlauf der relativen Feuchtigkeit im wärmegeprägten Milchviehstall (Bever, Engadin) im Januar 2000.

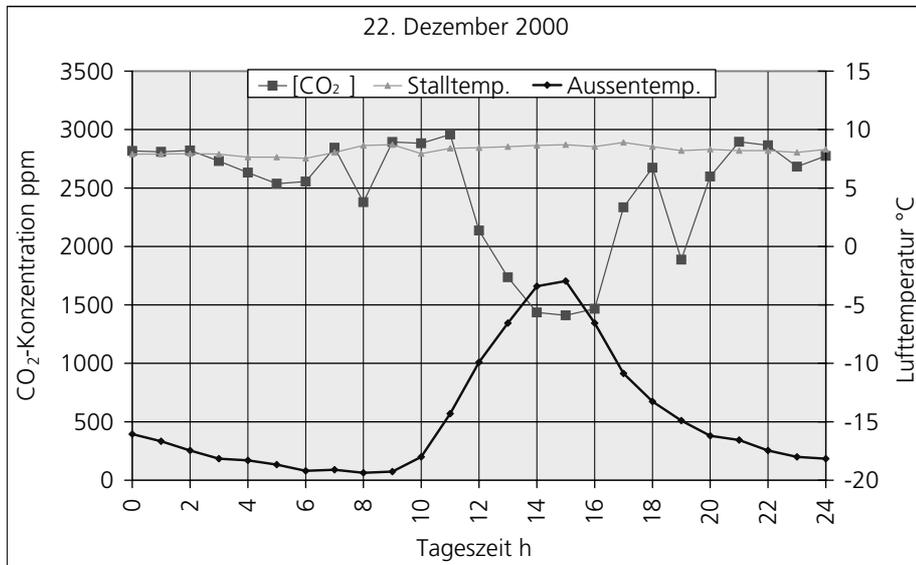


Abb. 8: Verlauf der CO₂-Konzentration sowie der Aussen- und Innentemperatur im wärmegeprägten Milchviehstall am 22. Dezember 2000.

zu verdanken. Sinkt die Stalltemperatur unter den Sollwert, wird die Drehzahl der Lüfter gedrosselt, das umgekehrte geschieht beim Anstieg der Stalltemperatur.

Die maximale Temperaturdifferenz innen/aussen betrug in dieser Periode 35°C. Die hohe Temperaturdifferenz innen/aussen deutet auf eine geringe Lüftungsrate hin. Die relative Feuchtigkeit im Stall war zeitweise sehr hoch (Abb. 7). Der Mittelwert im Januar betrug 87,5%. Während der Nacht lag die relative Feuchtigkeit oft über 90%. Tagsüber nahm sie jedoch meistens dank dem Öffnen der Türen zur Mittagszeit und der Windeinwirkung stark ab. Dass trotz der hohen relativen Feuchtigkeit auch nach drei Wintern keine Bauschäden ersichtlich sind, ist der sehr guten Wärmedämmung, der erhöhten Lüftungsrate tagsüber und der Materialwahl (Holz) zu verdanken. Die gesamte Holzfläche (Wände, Unterdach inklusive Sparren) in Kontakt mit der Stallluft beträgt etwa 1200 m².

Holz ist ein einzigartiger Feuchtigkeitsregler. Nimmt man an, dass die Holztiefe, die sich am Austausch von Feuchtigkeit beteiligt, 2 cm beträgt, können Wände und Unterdach etwa 100 l Wasser aufnehmen, bevor der Wassergehalt des Holzes um 1% zunimmt. Die Menge entspricht etwa der Hälfte der täglichen Wasserdampfabgabe der Tiere in diesem Stall. Allerdings, will man den Befall durch holzverfärbende Pilze ausschliessen, darf der Wassergehalt des Holzes 20% nicht übersteigen. Befeuchtungs-

perioden dürfen aus diesem Grunde nicht allzu lange andauern und müssen von Trocknungsperioden gefolgt werden. Wird das Holz zu feucht, ist es im Winter kaum mehr möglich, es nur mit der anfallenden Tierwärme zu trocknen. Der Energieaufwand für die Verdunstung der Feuchtigkeit ist zu gross (680 Wh/kg Wasser). Daher ist es besonders wichtig, dass die in grossen Meereshöhen reichlich vorhandene Sonnenenergie genutzt wird.

Im beschriebenen Stall beträgt die passive Energienutzung an sonnigen Wintertagen durch die Fensterfläche auf der Südseite (zirka 7,5 m²) etwa 25 kWh.

Diese Energie reicht theoretisch für die Verdunstung von etwa 37 l Wasser aus. Neben der direkten Sonneneinstrahlung durch die Fenster wird auch Sonnenenergie in der Aussenschale der Holzwand gespeichert. Hierdurch nehmen die Wärmeverluste durch die Bauhülle ab.

Hohe CO₂-Konzentration

Im zweiten Winter wurde neben der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit auch die CO₂-Konzentration (Kohlendioxid) gemessen. Gemäss der Schweizerischen Stallklima-Norm soll die CO₂-Konzentration längerfristig 3000 ppm (0,3 Volumenprozent) nicht überschreiten. Höhere CO₂-Konzentrationen sind an sich nicht giftig, deuten jedoch meistens auf hohe Gehalte an anderen Stallgasen (Ammoniak) und Schadstoffen (Staub und Keime) hin. CO₂ gilt deshalb als Indikator für die Luftqualität.

Am 22. Dezember 2000 variierte die CO₂-Konzentration zwischen 1400 und 3000 ppm (Abb. 8). Die Stalltemperatur lag nahezu konstant bei 8°C, unabhängig von der Aussentemperatur, die zwischen -19°C und -3°C schwankte. Die CO₂-Konzentration verlief nahezu parallel zur Temperaturdifferenz innen/aussen (Abb. 9). Die Senkung der CO₂-Konzentration in der Nacht ist auf die Ruhephase der Tiere zurückzuführen. Nach dem Melken bewirkt ein vermehrtes Lüften ebenfalls eine kurzfristige Reduktion des Kohlendioxids in der Luft.

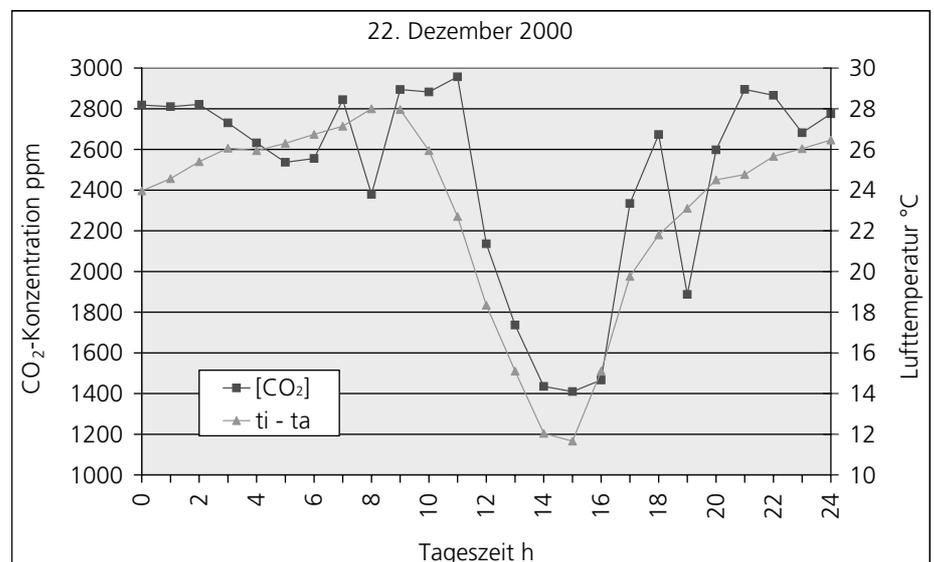


Abb. 9: Die CO₂-Konzentration verläuft praktisch parallel zur Temperaturdifferenz innen/aussen.



Abb. 10: Im nichtwärmegeädmmten Mutterkuhstall in Zernez, Engadin, erfolgten von Oktober 1999 bis März 2001 Klimamessungen.

Tab. 1: Vergleich der Innen- und Aussentemperatur zwischen dem wärmegeädmmten Milchviehstall in Bever und dem nichtwärmegeädmmten Mutterkuhstall in Zernez

	Temperatur °C Milchviehstall (wärmegeädmmt)		Temperatur °C Mutterkuhstall (nichtwärmegeädmmt)	
	Innen	Aussen	Innen	Aussen
Mittelwert Januar 2000	8,8	-9,4	-1,0	-8,0
Minimum Januar 2000	3,7	-26,6	-11,2	-22,3
Tagesmittel 25.01.2000	8,6	-20,0	-7,2	-18,1
Maximale Temperaturdifferenz innen/aussen	34,9 °C		13,9 °C	

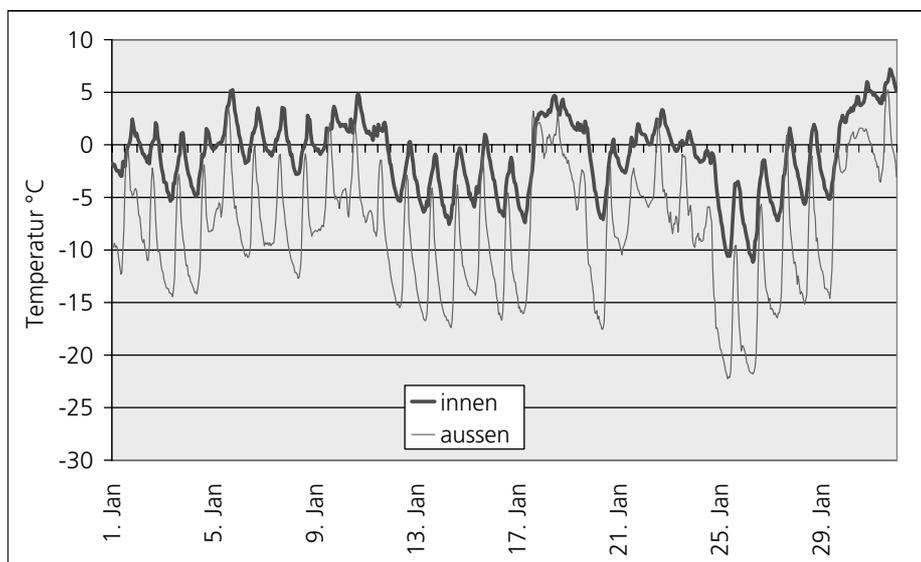


Abb. 11: Verlauf der Aussen- und Innentemperatur im nichtwärmegeädmmten Mutterkuhstall (Zernez) im Januar 2000.

Tiefer k-Wert erforderlich

Der maximal zulässige k-Wert zur Verhinderung von Kondenswasserbildung lässt sich aus der Temperaturdifferenz innen/aussen sowie aus der Taupunkttemperatur der Stallluft berechnen.

Für die extremen Stallklimabedingungen am 25. Januar (Temperaturdifferenz innen/aussen = 35 °C und relative Feuchtigkeit im Stall = 91,7 %) darf beispielsweise der k-Wert höchstens 0,22 W/m² K betragen.

Im Monat Januar sank an elf Tagen stundenweise der theoretisch erforderliche k-Wert unter 0,2 W/m² K. Da der k-Wert des Flachdachs bedeutend höher ist (etwa 0,4 W/m² K), muss es hier periodisch zu Kondenswasserbildung gekommen sein. Dass dies nicht zu Bauschäden am Holz geführt hat, ist auf die kurzen Befeuchtungsperioden zurückzuführen. Das Holz konnte jeweils während der darauffolgenden Tageszeit wieder austrocknen. Ein weiterer günstiger Umstand war zeitweise die Schneeschicht auf dem Flachdach, die für eine zusätzliche Wärmedämmung sorgte.

Nichtwärmegeädmmter Mutterkuhstall

Der nichtwärmegeädmmte Mutterkuhstall befindet sich in Zernez an einem Südhang 1575 m ü.M. Er bietet Platz für 20 Mutterkühe mit Kälbern und ist seitlich an der Heulagerhalle angebaut (Abb. 10). Der Liegebereich und Laufhof sind gegen Süden gerichtet. Die Südwand besteht aus Holzbohlen und einem Lichtband aus Doppelstegplatten. Betonziegel bilden die Dachhaut.

Stalltemperatur und Luftfeuchtigkeit schwanken stark

Obschon der Mutterkuhstall nur etwa 100 m tiefer, in einer Entfernung von weniger als 20 km liegt, war er milderen Aussentemperaturen als der Milchviehstall ausgesetzt. (Tab. 1). Dies dürfte auf die günstige Lage (Südhang) zurückzuführen sein.

Die mittlere Aussentemperatur im Januar 2000 betrug -8 °C. Der tiefste Wert, -22,3 °C, wurde am 25. Januar gemessen (Abb.11). Die Stalltemperatur schwankte im Januar zwischen +7,2 °C und -11,2 °C.

Vom 24. bis zum 27. Januar lag die Stalltemperatur kontinuierlich während etwa 90 Stunden unter 0°C . Während dieser Zeit betrug die maximale Temperaturdifferenz innen/ausen $13,9^{\circ}\text{C}$. Da zeitweise der Messfühler für die relative Feuchtigkeit ausfiel, fehlen in der Periode Januar-Februar zuverlässige Daten für den Verlauf der relativen Feuchtigkeit im Stall. Aus diesem Grunde wird die relative Feuchtigkeit für die vorherige Periode vorgestellt (Abb. 12). Sie betrug in der Periode 18.–28. November 1999 durchschnittlich 73 % (Minimum 55 %, Maximum 89 %). Die Aussentemperatur bewegte sich in der gleichen Periode zwischen $+2,5$ und -16°C , die Stalltemperatur zwischen $+5,4$ und $-6,9^{\circ}\text{C}$.

Die Differenz in absoluter Feuchtigkeit zwischen der Innen- und der Aussenluft ist ein Massstab für die Lüftungsrate. Je grösser diese Differenz, desto mehr Wasserdampf kann pro m^3 Luft abgeführt werden und desto geringer ist folglich die erforderliche Lüftungsrate für den Abtransport der Feuchtigkeit.

Im wärmegeprägten Milchviehstall in Bever betrug die Differenz während der Periode 18.–28. November 1999 durchschnittlich $5,5 \text{ g}$ (Abb. 13), im nichtwärmegeprägten Stall dagegen $1,33 \text{ g}$ pro kg Luft. Die Lüftungsrate pro GVE war somit im nicht isolierten Mutterkuhstall etwa viermal höher als im wärmegeprägten Milchviehstall.

Im nicht isolierten Stall war die Differenz in absoluter Feuchtigkeit zwischen der Innen- und der Aussenluft am tiefsten und folglich die Lüftungsrate am höchsten, wenn die Temperaturdifferenz innen/ausen am grössten war. Dies ist auf die natürliche Lüftung, die bekanntlich vom Temperaturunterschied innen/ausen abhängt, zurückzuführen. Bei einer mechanischen Lüftung, wie im Warmstall in Bever, ist der Verlauf umgekehrt. Je stärker die Aussentemperatur absinkt und folglich die Temperaturdifferenz innen/ausen zunimmt, desto stärker drosselt der Regler die Lüftungsrate.

Kondenswasserbildung ohne schädliche Folgen

Bei einer nicht isolierten Bauhülle verursacht schon eine relativ geringe Temperaturdifferenz innen/ausen, kombiniert mit einer hohen relativen Feuchtigkeit im Stall, Kondenswasserbildung. Es lässt sich

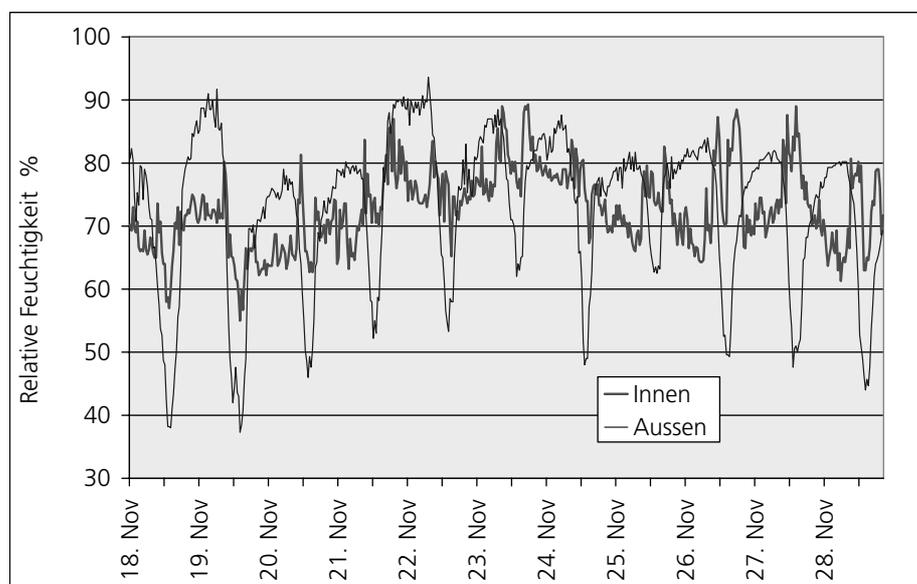


Abb. 12: Verlauf der relativen Feuchtigkeit im nichtwärmegeprägten Mutterkuhstall in der Periode 18.–28. November 1999.

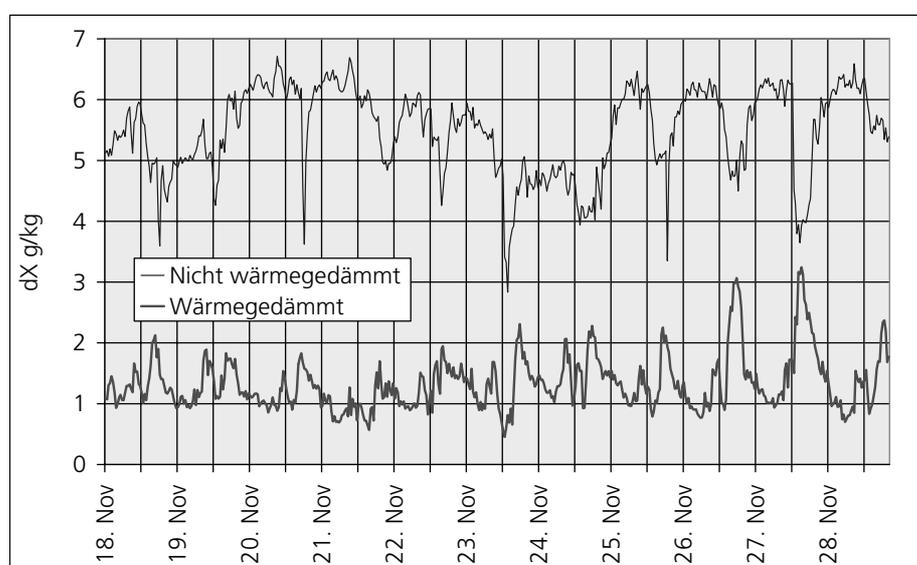


Abb. 13: Verlauf der Differenz in absoluter Feuchtigkeit (dX) zwischen der Stallluft und der Aussenluft im Aussenklimastall (Mutterkuhstall) und Warmstall (Milchviehstall).

berechnen, wie niedrig der k -Wert in Abhängigkeit der jeweiligen Temperatur und relativen Feuchtigkeit im Stall sein muss, damit es nicht zu Kondenswasserbildung kommt (Abb. 14). Während der Periode 18.–28. November lag der erforderliche k -Wert zeitweise unter dem effektiven k -Wert der Bauhülle (k -Wert Dachziegel $\approx 4,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Während dieser Zeit fand Kondenswasserbildung statt. Diese Perioden erstreckten sich aber nur über die Nacht. Am darauffolgenden Tag konnte der Stall dank der erhöhten Lüftung (offene Türen zum

Laufhof) und der Sonneneinstrahlung durch das Lichtband auf der Südseite abtrocknen.

Zeitweise bildete die Schneeschiicht auf dem Dach eine zusätzliche Wärmedämmung. Die Wärmeleitfähigkeit von Schnee variiert von $0,05$ (Pulverschnee) bis $0,58 \text{ W/m K}$ (schwerer Schnee). Geht man beispielsweise von einer Schneeschiicht von 20 cm mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,4 \text{ W/m K}$ aus, verringert sich der k -Wert des Dachs (Betonziegel) von $4,9$ auf $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

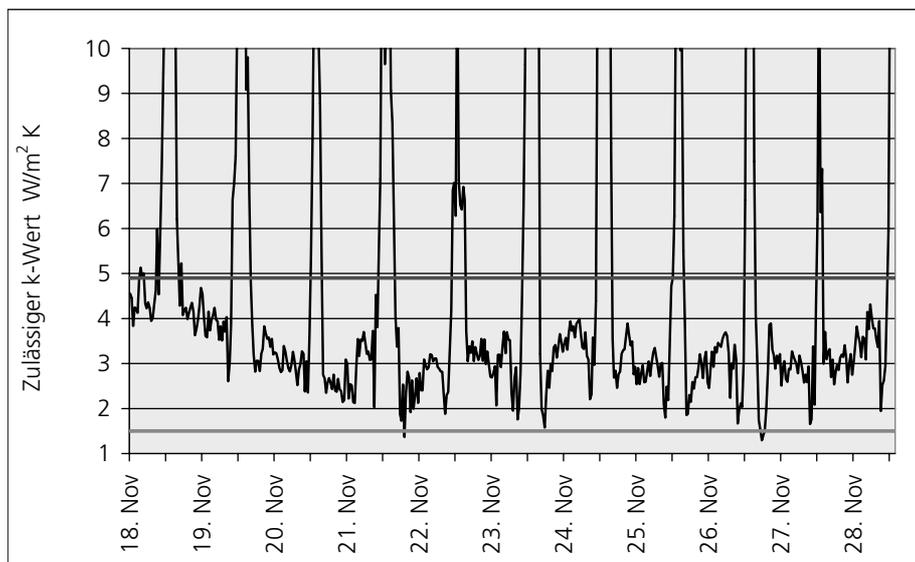


Abb. 14: Zulässiger k-Wert zur Verhinderung von Kondenswasserbildung. Der effektive k-Wert des Betonziegel-Dachs im Mutterkuhstall beträgt 4,9 W/m² K.

Tab. 2: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile einer wärmegegedämmten und einer nichtwärmegegedämmten Bauhülle unter bergklimatischen Bedingungen

Wärmegegedämmte Bauhülle	Nichtwärmegegedämmte Bauhülle
Vorteile	
<ul style="list-style-type: none"> • <input type="checkbox"/> Angenehmere Temperaturbedingungen für den Tierbetreuer im Winter. • <input type="checkbox"/> Funktionssicher im Winter (Tränken, Entmistung). • <input type="checkbox"/> Melkstand im Stall integrierbar, wenn der Stall frostfrei gehalten werden kann. • <input type="checkbox"/> Keine Heizkosten im Melkstand und für die Trinkwasserversorgung, wenn der Stall frostfrei gehalten werden kann. 	<ul style="list-style-type: none"> • <input type="checkbox"/> Niedrigere Investitionen für die Bauhülle. • <input type="checkbox"/> Einfachere Bauweise (für Selbstbau geeignet). • <input type="checkbox"/> Bessere Luftqualität im Winter, da wegen der tiefen Temperatur für die Abfuhr der Stallfeuchtigkeit grosse Luftvolumen erforderlich sind. • <input type="checkbox"/> Natürliche Lüftung ohne mechanische Regelung.
Nachteile	
<ul style="list-style-type: none"> • <input type="checkbox"/> Höhere Investitionen wegen der Wärmedämmung. • <input type="checkbox"/> Regelbare Lüftung notwendig (windunabhängig). • <input type="checkbox"/> Energiekosten für die Lüftung. • <input type="checkbox"/> Schlechte Luftqualität bei hohen Temperaturdifferenzen innen/aussern. Mögliche Gefährdung der Gesundheit für Mensch und Tier. • <input type="checkbox"/> Anspruchsvollere Bauweise (Winddichtigkeit der Bauhülle, Dampfsperre). 	<ul style="list-style-type: none"> • <input type="checkbox"/> Höhere Investitionen wegen des geschlossenen Melkstands und des Frostschutzes. • <input type="checkbox"/> Energiekosten für die Heizung Melkstand/Trinkwasser. • <input type="checkbox"/> Eventuell Probleme bei der Entmistung im Winter (Anfrieren von Mist). • <input type="checkbox"/> Eventuell Produktionseinbusse bei extremen Klimabedingungen (reduzierte Leistung, höherer Futterverzehr). • <input type="checkbox"/> Risiko für Bauschäden durch Kondenswasserbildung.

Empfehlungen Warmstall	Kaltstall
Sehr gute Wärmedämmung (k < 0,4 W/m² K)	Nur für Sonnenlagen geeignet, vorzugsweise auf einem Südhang
Winddichte Bauhülle	Laufgänge zugänglich für mobile Entmistungsgeräte
Mechanische Lüftung	Frostfreie Wasserversorgung
Erhöhte Lüftungsrate bei günstiger Witterung	Geschlossener und beheizbarer Melkstand

Diskussion

Wärmegegedämmte oder nichtwärmegegedämmte Bauhülle?

Der Entscheid Warmstall oder Kaltstall soll erst nach sorgfältiger Abwägung der Vor- und Nachteile erfolgen (Tab. 2). Einige dieser Vorteile, wie angenehmere Arbeitsbedingungen und Vermeidung von Stress bei extremen Situationen im Winter (beispielsweise Einfrieren von Wasserleitungen und Entmistungssystemen), lassen sich nur schwierig monetär beziffern.

Der Entscheid, ob ein Stall im Berggebiet isoliert werden soll, ist vor allem standortbedingt.

Eine Mulden- (Kältesee) und/oder Schattenlage spricht eher für eine wärmegegedämmte Bauhülle. In einer besonnten Südhanglage ist auch ein Aussenklimastall möglich. Ohne Sonneneinstrahlung muss in einem nichtwärmegegedämmten Stall während längeren Perioden mit einem Anfrieren des Mistes gerechnet werden.

Ein Aussenklimastall kommt nur in Frage, wenn der Landwirt bereit ist, zeitweise unter erschwerten Bedingungen (tiefe Temperaturen, Ausfall von Entmistungseinrichtungen, Anfrieren von Mist) zu arbeiten. Diesen Unannehmlichkeiten stehen beträchtliche Kosteneinsparungen gegenüber.

Kosteneinsparungen

Materialwahl

Warmställe sind wegen der wärmegegedämmten Bauhülle erheblich teurer als Aussenklimaställe. Die Mehrkosten der Wärmedämmung lassen sich allerdings durch eine geeignete Materialwahl und Bauweise in Grenzen halten. Ausserdem sind dank der Wärmedämmung wesentliche Kosteneinsparungen in anderen Bereichen möglich. Gelingt es, den Stall frostfrei zu betreiben, sind gegenüber dem Aussenklimastall dank dem Verzicht auf Frostschutz-Massnahmen (Trinkwasserversorgung) und einem offenen statt

geschlossenen Melkstand beträchtliche Einsparungen möglich.

Klassische wärmegeämmte Bauteile sind in der Regel mehrschalig. Gerade diese arbeitsaufwändige mehrschalige Bauweise (Innenschale, Dampfsperre, Wärmedämmungsmaterial, Aussenschale) ist für die hohen Kosten verantwortlich.

Erheblich Kosten lassen sich einsparen, indem man die mehrschalige Bauhülle durch ein einziges Bauteil mit gleichen Eigenschaften (Tragfähigkeit, Witterschutz, Wärmedämmung sowie Dampfdichtigkeit) ersetzt. Sandwichelemente, mit einer Innen- und Aussenschale aus verzinktem Stahl oder Aluminium sowie einem Polyurethan-Hartschaum-Kern, vereinigen alle diese Eigenschaften (Abb. 15). Da sie aber im Gegensatz zu Holz kein Wasser aufnehmen können, muss der k-Wert ausreichen, um Kondenswasserbildung zu verhindern.

Diese grossflächigen profilierten Elemente, in Industriebauten seit langem bestens bekannt, gibt es in verschiedenen Profilierungen für Wand- oder Dachkonstruktion. Je nach Stärke erreichen sie k-Werte von 0,54 bis 0,24 W/m² K.

Ein Beispiel zeigt, dass durch Verwendung dieser Platten als Dachhaut die Mehrkosten eines Warmstalles gegenüber einem Aussenklimastall stark reduziert werden. Die Berechnungen beziehen sich auf einen Milchviehstall für 38 GVE mit erdlastiger seitlicher Futterlagerung (Abb. 16). Das Dach besteht bei der wärmegeämmten Ausführung aus Sandwichelementen, die Wände aus einer wärmegeämmten Holzkonstruktion. Bei der nichtwärmegeämmten Variante bestehen die Wände aus einer einfachen Holzschalung, das Dach aus Faserzementplatten (ohne Unterdach).

Die Mehrkosten für die wärmegeämmte Bauweise werden teilweise durch die Kosteneinsparungen bei der Wasserversorgung (keine Heizung) und den Verzicht auf eine geschlossene Ausführung des Melkstands kompensiert (Tab. 3). Der Kostenunterschied zwischen einer wärmegeämmten und einer nichtwärmegeämmten Bauweise beschränkt sich in diesem Beispiel auf etwa Fr. 460.- pro GVP. Diese Mehrinvestitionen verursachen unter Berücksichtigung der Stromkosten für die Heizung und Lüftung etwa Jahreskosten von Fr. 30.- pro GVP.

Tab. 3: Kostenvergleich zwischen einem wärmegeämmten (Sandwichelemente) und einem nichtwärmegeämmten Milchviehstall

Mehrkosten	Wärmegeämmt	Nichtwärmegeämmt	Differenz
Investitionen Fr.			
Wände: Deckleistenschalung / Isolation 100 mm, Dampfsperre, Sperrholz statt einfacher Holzschalung	26 000		
Dach: Sandwichelemente statt Faserzementplatten	5300		
Decke: Untersicht Dämmplatte	3800		
Frostfreie Wasserversorgung		7000	
Geschlossener statt offener Melkstand		19 000	
Mechanische statt natürliche Lüftung	4400		
Isolierte statt nichtisolierte Tore	2000		
Lichtband: 3-fach Doppelstegplatten statt Windschutznetz	2000		
Gesamte Mehrkosten	43 500	26 000	17 500
Gesamte Mehrkosten der Investitionen pro GVP			461
Jahreskosten Fr.			
Abschreibung/Verzinsung/Reparatur 8 % der Investitionen	3480	2080	1400
Strom Lüfter (2x200W/250T à 40 %)	173		
Strom Heizung Wasser (2000Lx5°Cx90 T)		251	
Strom Heizung Melkstand (75m ² x5°Cx1x24hx90T)		194	
Zusätzliche Gesamtjahreskosten	3653	2525	1128
Zusätzliche Gesamtjahreskosten pro GVP			30

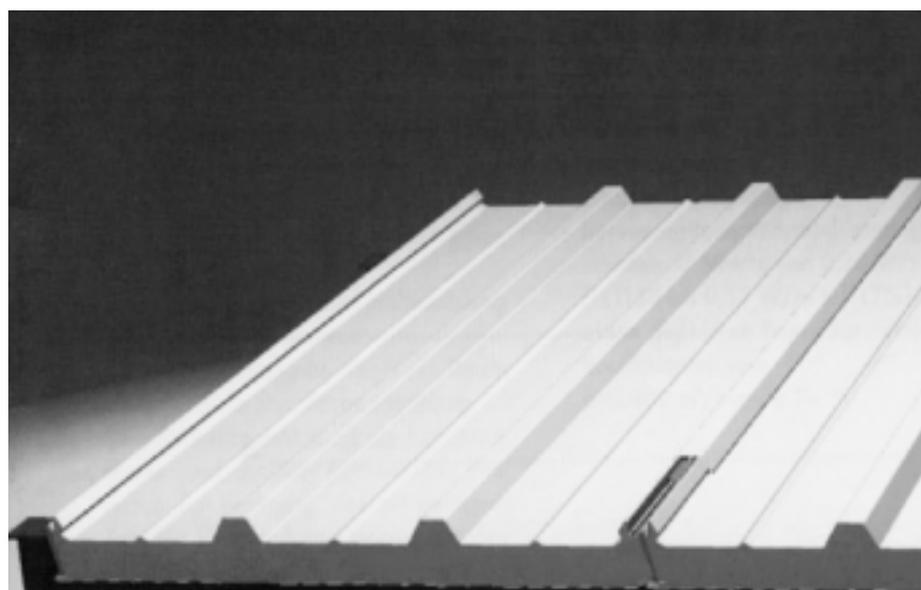


Abb. 15: Sandwichelemente, mit einer Innen- und Aussenschale aus verzinktem Stahl oder Aluminium sowie einem Polyurethan-Hartschaum-Kern.

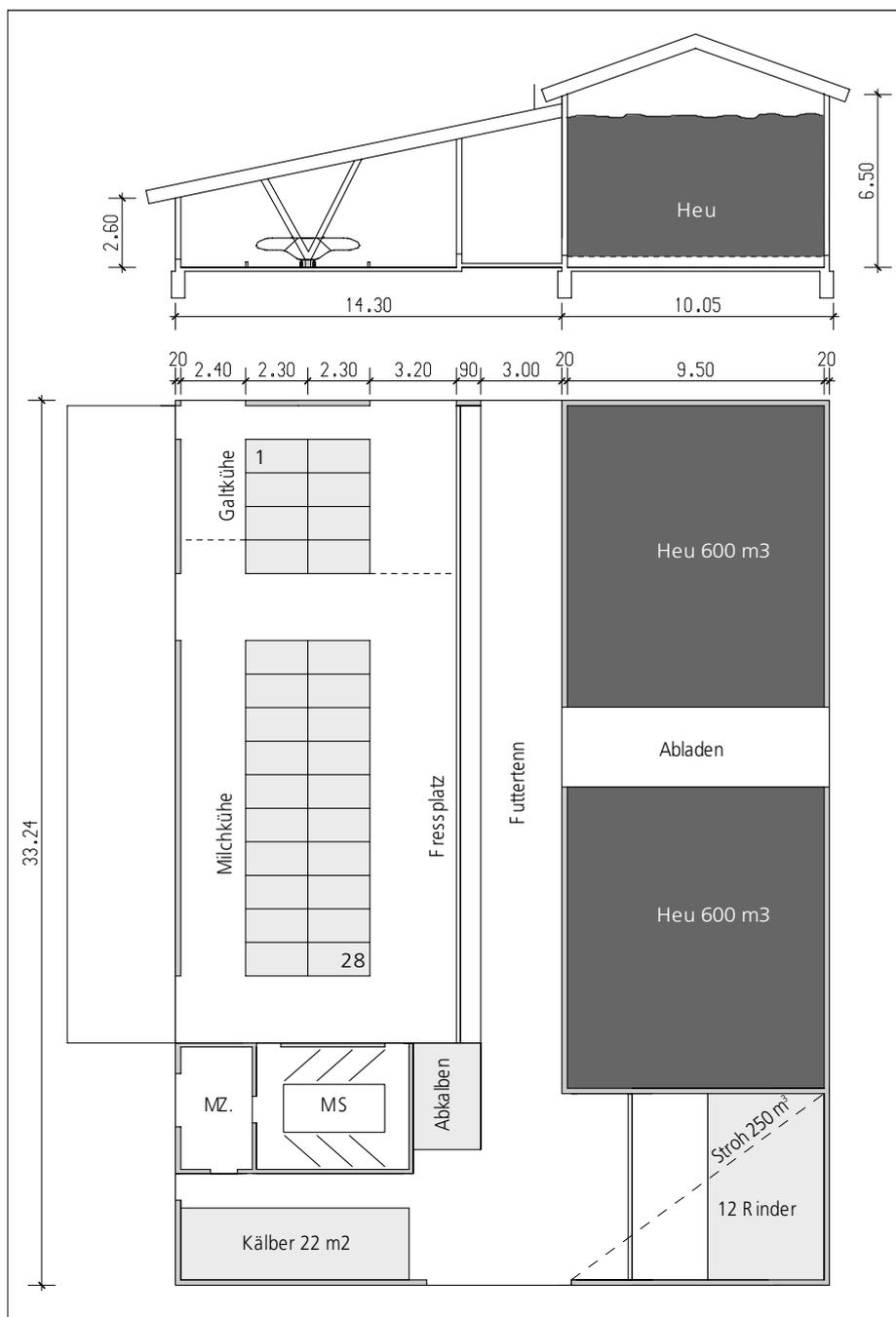


Abb. 16: Festgelegtes Konzept des Milchviehstalls für den Kostenvergleich zwischen einer wärme gedämmten und nichtwärme gedämmten Ausführung (Tab. 3).

Statische Optimierung

Die hohe Schneelast erfordert nicht nur erheblich grössere Binderdimensionen, sondern schränkt auch die Verwendung von kostengünstigem nicht verleimtem Vollholz ein. Durch Optimierung verschiedener Parameter wie Dachneigung, Binderabstand und Spannweite, lässt sich die Beanspruchung der Dachstruktur stark reduzieren und vermehrt Vollholz nutzen.

Dachneigung

Bei zunehmender Dachneigung steigt einerseits die gesamte Dachfläche und die Windbelastung, die Schneelast nimmt andererseits oberhalb von 30° wegen des Abgleitens des Schnees ab. (Allenfalls ist das Abgleiten im Aufenthaltsbereich von Menschen und Tieren zu verhindern.) Dies wirkt sich je nach Meereshöhe unterschiedlich auf das erforderliche Holzvolumen für Pfetten und Binder aus (Abb. 17). Das Pfettenvolumen nimmt oberhalb von 30° ab, obwohl die Anzahl Pfetten und die Windbelastung mit steigender Dachneigung zunehmen. Das Bindervolumen steigt bei 1000 m ü.M. mit zunehmender Dachneigung kontinuierlich an, bei 1500 m ü.M. bleibt es oberhalb von 30° praktisch konstant. Das Gesamtvolumen (Pfetten und Binder) zeigt für eine Meereshöhe von 1000 m eine quasi lineare Zunahme bis 40°, nachher wird der Anstieg steiler. Bei 1500 m ü.M. nimmt oberhalb von 30° das erforderliche Gesamtvolumen ab. Eine Dachneigung von 30° erfordert gegenüber einer Dachneigung von 15° je nach Meereshöhe zwischen 43 und 27 % mehr Holz. Die Berechnungen beziehen sich auf einen Dreigelenkrahmen mit Zwischenstützen (Abb.16).

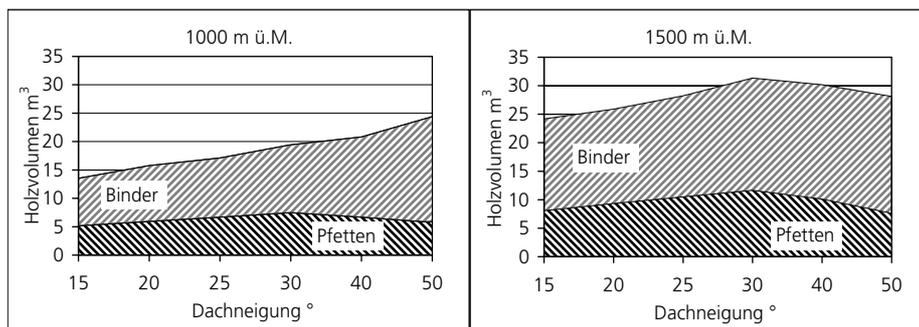


Abb. 17: Einfluss der Dachneigung auf das erforderliche Holzvolumen für Binder und Pfetten bei zwei Meereshöhen (1000 und 1500 m ü.M.).

Neben Mehrkosten für die Dachstruktur fallen bei steigender Dachneigung noch zusätzliche Kosten für die grösseren Dachhaut- und Wandflächen an. Will man die Kosten für Dachstruktur und Bauhülle minimieren, soll die Dachneigung möglichst klein sein. Die minimale Dachneigung ergibt sich aus dem notwendigen Lagerraum, den Vorschriften (Ortsbild) oder bautechnischen Gründen (Dichtigkeit, Lüftung).

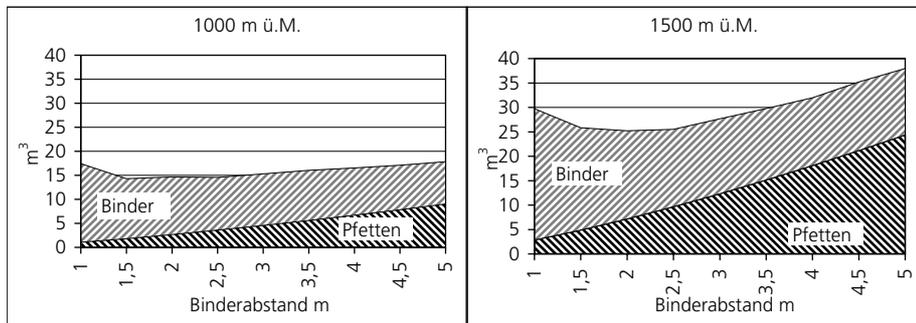


Abb. 18: Einfluss des Binderabstandes auf das erforderliche Holzvolumen für Binder und Pfetten bei zwei Meereshöhen (1000 und 1500 m ü.M.).

Binderabstand

Je geringer der Binderabstand, desto geringer werden die Abmessungen pro Binder und Pfette, desto grösser wird jedoch die Anzahl Binder. Eine Berechnung des Pfetten- und des Bindervolumens für die gleiche Dachstruktur zeigt, dass das Holzvolumen für die Pfetten mit zunehmendem Binderabstand sehr stark ansteigt (Abb. 18). Andererseits nimmt das Volumen für die Binder ab. Die Abnahme kann aber den Anstieg des Pfettenvolumens nicht kompensieren. Ein Vergleich bei zwei Meereshöhen zeigt, dass der günstigste Binderabstand hinsichtlich des Holzverbrauchs zwischen 1,5 und 2,5 m liegt. Der Anstieg des Gesamtverbrauchs wird für grössere Binderabstände desto steiler, je höher das Gebäude über Meer befindet. Bei 1000 m ü.M. beträgt der Unterschied im Holzverbrauch zwischen einem Binderabstand von 2 und 5 m etwa 22 %, bei 1500 m ü.M. dagegen etwa 50 %.

In der Praxis kann der Binderabstand nicht immer frei gewählt werden. Der Abstand zwischen den Bindern soll mindestens so gross sein, dass der notwendige Funktionsraum nicht beeinträchtigt wird. Eine wirtschaftliche Betrachtung soll nicht nur das Holzvolumen, sondern auch die Arbeit für die Anfertigung und die Montage der Binder sowie auch die Fundamente berücksichtigen. Stehen die Binder auf Einzelfundamenten, steigen die Kosten für den Unterbau mit abnehmendem Binderabstand. Bei Streifenfundamenten mit Sockel (30–50 cm), die im Stallbau üblich sind, beeinflusst der Binderabstand die Kosten für die Fundamente nur sehr gering.

Binder lassen sich nur in Vollholz ausführen, wenn der Binderabstand klein ist. Leimbinder weisen etwa einen dreifach höheren Kubikmeterpreis im Vergleich zu

Vollholz auf. Durch den Einbau von Streben und Zugbändern kann der Abstand erhöht werden. Allerdings wird die Konstruktion komplizierter. Neben der Verwendung von Vollholz plädiert auch, vor allem bei Selbstbau, das geringere Gewicht pro Binder für kleine Binderabstände. Der wirtschaftlichste Binderabstand muss von Fall zu Fall beurteilt werden. In der Regel wird er für Gebäude über 1000 m ü.M. unter 4 m liegen.

Gebäudekonzept

Ein bestimmtes Raumprogramm kann in silofreien Zonen mit unterschiedlichen Gebäudekonzepten realisiert werden. Die Konzepte unterscheiden sich grundsätzlich durch die Anordnung des Heulagers: deckenlastig, erdlastig seitlich des Futterterrens oder erdlastig in einer separaten Halle, in der Regel stirnseitig mit dem Stall verbunden (Abb. 19). Jede dieser Anordnungen hat Vor- und Nachteile. Die deckenlastige Lösung beansprucht am wenigsten Bauland (günstig im geneigten Gelände) und eignet sich am besten als Warmstall. Andererseits bietet eine solche Bauweise am wenigsten Flexibilität im Stallbereich (Abstützung der Decke) und ist mit Nachteilen bei der Heuentnahme verbunden. Befindet sich der Heustock ebenerdig entlang des Futterterrens, wird das Gebäude sehr breit. Andererseits bietet diese Baulösung die Möglichkeit, das Futter mit einer Greiferanlage vorzulegen. In der Regel wird das Dach des Hauptgebäudes (Heuraum/Futterterrenn) als Leimbinderkonstruktion, die Dachabschleppung (Stall) mit Vollholz ausgeführt. Wird das Futter in einem separaten Gebäude gelagert, ist der Baulandanspruch am höchsten. Demgegenüber steht, dass die Gebäude (Stall und Lagerhalle) einfacher sind und sich besser den spezifischen Bedürfnissen

anpassen lassen. Die Dachkonstruktion des Hallenstalles kann vollständig aus Vollholz bestehen. Die freigespannten Binder der Lagerhalle erfordern dagegen beim Einbau eines Krans eine Leimbinderkonstruktion.

Ein Kostenvergleich für einen Stall mit 39 GVP zeigt einen deutlichen Kostenvorteil für die deckenlastige Lösung gegenüber den beiden anderen Varianten (Abb. 20). Die Variante mit Heulagerung in einem separaten Gebäude ist am teuersten. Diese Mehrkosten sind vor allem auf die höheren Investitionen für Bodenplatte und Fundamente sowie für die Wandkonstruktion zurückzuführen. Bei der deckenlastigen Variante fallen vor allem die Kosten für die Decke ins Gewicht. Die Berechnungen beziehen sich für den Stallbereich auf eine isolierte Holzwand und eine Dachhaut aus Sandwichelementen. Im Heulagerbereich besteht die Wand aus einer einfachen Holzschalung (24 mm), das Dach aus Trapezblech.

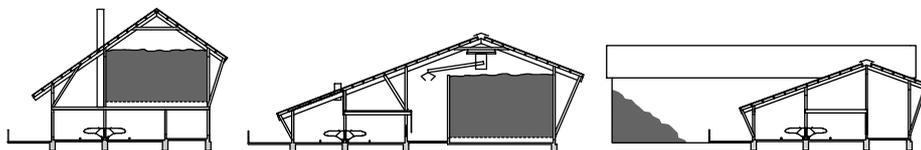


Abb. 19: Die Stallkonzepte unterscheiden sich durch die Anordnung des Heulagers: deckenlastig, erdlastig seitlich des Futtertrens oder erdlastig in einer separaten Halle, stirnseitig mit dem Stall verbunden.

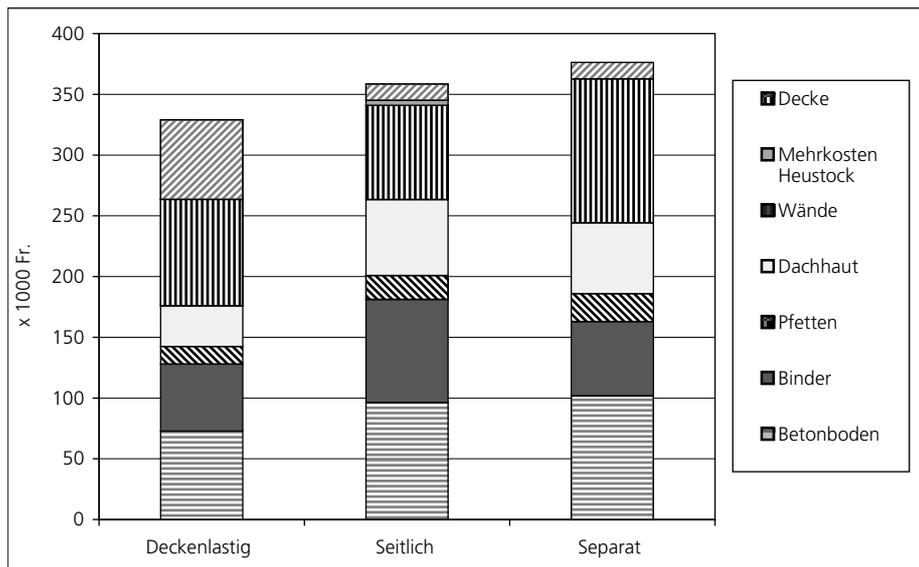


Abb. 20: Gesamtinvestitionen (Dach, Wand, Decke, Betonboden; inkl. Fundamente, exkl. Wert des Bodens) ohne Einrichtungen, für drei Varianten eines Milchviehstalles nach Abbildung 19 (Binderabstand 2,5 m, 1500 m ü.M.).

Schlussfolgerungen

Entscheidet man sich bei Rindviehställen im Berggebiet für eine wärmedämmte Bauhülle, soll der k-Wert so ausgelegt werden, dass ein frostfreier Betrieb des Stalles möglich ist. Andernfalls gehen wesentliche Vorteile des isolierten Stalles verloren. Ein frostfreier Betrieb setzt bei extremen Aussentemperaturen eine starke Herabsetzung der Lüftungsrate und folglich eine hohe relative Luftfeuchtigkeit im Stall voraus. Bauschäden durch Kondenswasserbildung lassen sich dank einer sehr guten Wärmedämmung, einer erhöhten Lüftungsrate tagsüber, grossflächigen Holzflächen als Feuchtigkeitspuffer und Sonnenenergienutzung vermeiden. Auch nichtwärmedämmte Ställe können auf grosser Meereshöhe das ganze Jahr durch zufriedenstellend funktionieren, unter den Bedingungen,

dass sie sich auf einem sonnigen Südhang befinden und der Landwirt bereit ist, als Gegenleistung für die bessere Luftqualität und die niedrigeren Investitionen zeitweise erschwerte Arbeitsbedingungen auf sich zu nehmen.

Die Wärmedämmung macht die Bauhülle teurer, erlaubt aber andererseits in anderen Bereichen wesentliche Einsparungen. In einem frostfreien Stall kann man auf Frostschutz-Massnahmen (Trinkwasserversorgung, Entmistung) verzichten und den Melkstand offen statt geschlossen ausführen. Weiter lassen sich die Kosten für die Wärmedämmung des Dachs durch den Einsatz von Sandwichplatten stark reduzieren. Berechnungen an einem Fallbeispiel zeigen, dass es möglich ist, die Mehrkosten für eine wärmedämmte gegenüber einer nichtwärmedämmten Ausführung auf weniger als Fr. 500.– pro GVP zu beschränken. Weitere wesentliche Kosteneinsparun-

gen lassen sich bei Rindviehställen durch Optimierung der Dachstruktur sowie des Gebäudekonzeptes realisieren. Die erforderliche Holzmenge für Binder und Pfetten verringert sich bei abnehmender Dachneigung und abnehmendem Binderabstand. Geringe Binderabstände haben ausserdem zusätzliche Vorteile. Sie erlauben die Verwendung von Vollholz und eignen sich besonders für den Selbstbau. Das Gebäudekonzept beeinflusst die Gebäudekosten. Die klassische deckenlastige Heulagerung verursacht in der Regel geringere Investitionen als die erdlastige Heulagerung entlang des Trens oder in einer separaten Halle. Weiter wird am wenigsten Bauland beansprucht. Diesen Vorteilen stehen bei der deckenlastigen Variante jedoch Nachteile bei der Futterentnahme gegenüber.