ART-Berichte
Früher: FAT-Berichte
Nr. 667 | 2006

Kälber brauchen Aussenluftqualität

Empfehlungen für natürliche und mechanische Lüftung in Kälberställen

Ludo Van Caenegem, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Abb. 1: Je nach Standort, Ausrichtung und Gebäude ist eine natürliche Lüftung (Offenfrontstall links) oder eine mechanische (Rieselkanallüftung) vorzuziehen.

Viele Betriebe kämpfen mit gesundheitlichen Problemen bei der Kälbermast und -aufzucht. Untersuchungen im Ausland zeigen, dass in einzelnen Regionen die Kälbersterblichkeit bis zu 25 % beträgt. Genaue Daten sind für die Schweiz nicht bekannt. Die Verluste durch Krankheit und Ausfall sind auch hierzulande beträchtlich.

Für die gesundheitlichen Probleme gibt es zweierlei Gründe: die Krankheitsanfälligkeit der Kälber in den ersten Lebenswochen einerseits und der hohe Infektionsdruck durch ungünstige Haltungsbedingungen andererseits. Grossgruppenhaltung in Einraumlaufställen, mangelhafte Liegebettpflege, fehlende periodische Reinigung und Desinfizierung der Buchten sowie auch Kontakt mit älteren Tieren sind neben ungenügender Stallklimakontrolle für den hohen Infektionsdruck verantwortlich.

Die Stallluft soll hinsichtlich Schadgasbelastung möglichst das ganze Jahr nahezu Aussenluftqualität aufweisen. Dies ist jedoch nicht immer einfach möglich. Wenn man auf aktive Steuerungsmassnahmen verzichtet, wie das in der Regel in natürlich gelüfteten Ställen der Fall ist, hängt der Luftwechsel von den Witterungsbedingungen ab. Dies hat zur Folge, dass die Luftqualität stark schwankt und unerwünschte Luftströmungen in Tiernähe entstehen können.

Eine witterungsunabhängige Lüftung bedingt den Einsatz von Ventilatoren. Diese ermöglichen neben einer konstanten Lüftungsrate auch eine feinere Luftverteilung als bei natürlicher Lüftung. Wenn mechanisch gelüftet wird, besteht auch die Möglichkeit Temperaturextreme abzuschwächen, indem die Aussenluft nicht direkt in den Stall geführt, sondern vorgängig durch einen Erdwärmetauscher geleitet wird.

Ob diese Vorteile die zusätzlichen Investitionen und Stromkosten aufwiegen, ist von Fall zu Fall zu beurteilen. Viele stallklimatische Probleme bei natürlicher und mechanischer Lüftung lassen sich verhindern, wenn die lüftungstechnischen Grundsätze bei der Planung und Handhabung befolgt werden.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Junge Kälber sind krankheitsanfällig	2
Aufstallungsbedingte Stressfaktoren	2
Stallklimatische Stressfaktoren	3
Natürliche Lüftung	5
Mechanische Lüftung	7
Aufbereitung der Zuluft	10
Schlussfolgerungen	12
Literatur	13

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD
Forschungsanstalt
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problemstellung

Das Stallklima spielt bei der Vorbeugung von Krankheiten in Kälberställen eine grosse Rolle. Die Auffassung, dass man Kälber vor tiefen Temperaturen schützen muss, führt dazu, dass man die direkte Frischluftzufuhr zu den jungen Tieren einschränkt und Kälber in der Nähe von älteren Tieren oder in einer dunklen Stallecke aufstallt. Aufstallungs- und stallklimabedingter Stress erhöhen den Infektionsdruck und schwächen den Widerstand der Tiere. Viele stallklimatische Probleme sowohl bei natürlicher als auch bei mechanischer Lüftung sind auf Planungsfehler beim Lüftungskonzept oder auf falsche Handhabung der Lüftung zurückzuführen.

Abb. 2: Kälber in Grossgruppen weisen mehr Atemwegerkrankungen und geringere Wachstumsraten als in Kleingruppen auf.

Junge Kälber sind krankheitsanfällig

Die aktive Immunität des Kalbes entwickelt sich ab der dritten Lebenswoche und bietet frühestens mit sechs bis acht Wochen einen wirksamen Schutz gegen Angreifer (Viren, Bakterien). Biestmilch (Kolostrum) ist für das Kalb in den ersten Lebenstagen die einzige Quelle von Abwehrstoffen (Immunglobuline) gegen eine mögliche Infektion. Ältere und länger im Tierbestand stehende Kühe haben eine höhere Konzentration an Abwehrstoffen in der Biestmilch als Erstlaktierende. Es ist deshalb sinnvoll, überschüssiges Kolostrum tiefzukühlen (haltbar mindestens ein Jahr), es später bei Bedarf im Wasserbad wieder aufzutauen und dem neugeborenen Kalb zu verabreichen. Eine erste Gabe von etwa zwei Litern sollte möglichst sofort nach der Geburt stattfinden. Weitere Gaben müssen in den nächsten Stunden folgen, da nur in dieser Zeitspanne eine Aufnahme der Abwehrstoffe durch das Kalb möglich ist.

Im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht und ihrer Körperoberfläche besitzen Rinder eine kleine Lungenfläche. Deshalb fallen Schäden am Lungengewebe besonders stark ins Gewicht. Da ausserdem Querverbindungen zwischen den einzelnen Lungensegmenten fehlen, können diese bei schweren Infektionen durch das restliche Lungengewebe nicht mehr ausgeglichen werden. Die irreparablen Schäden führen zu Leistungseinbussen.

Ob ein Kalb dem Angriff der Krankheitserreger widersteht, hängt von seiner Widerstandskraft und dem Infektionsdruck ab. Der Infektionsdruck wird von aufstallungs- und stallklimatischen Stressfaktoren mitbestimmt.

Aufstallungsbedingte Stressfaktoren

Kälber werden in der Regel in **Einraumställen** auf Tiefstreue gehalten. Das gesetzlich minimale Platzangebot (1,2–1,5 m^2/Kalb bis vier Monate, 1,8 m^2 bis 6 Monate) ist vor allem in Kleingruppen mit engen Platzverhältnissen verbunden. Dazu kommt, dass die gesamte Kot- und Harnmenge ins Liegebett gelangt, was mit zunehmendem Alter der Mistmatratze zur vermehrten Schadstofffreisetzung führt. Ammoniakbelastung schädigt die Schleimhäute, die natürlichen Abwehrbarrieren und ebnet den Weg für bakterielle Sekundärinfektionen. Da man wegen des Liegekomforts und der Vorschriften auf eine Strohmatratze nicht verzichten kann, sind häufiges Entmisten und reichliches Einstreuen notwendig. Noch besser wären Ställe mit befestigtem Fressplatz oder dauernd zugänglichem Auslauf. Indem ein grosser Teil des Kots und Harns auf der befestigten Fläche anfällt, nimmt

Abb. 3: Das Risiko, dass eine Krankheit rasch auf alle Tiere übergreift, ist bei der individuellen Igluhaltung am geringsten.

Abb. 4: Ältere Tiere (Mastvieh, Milchvieh) können immunschwache Jungtiere mit Keimen anstecken.

die Belastung der Liegefläche ab, und es verringert sich der Strohbedarf. Ausläufe bieten den Kälbern ausserdem Sonnenlicht und Bewegungsfreiheit, welche die körpereigenen Abwehrkräfte stimulieren.

Die beste Voraussetzung für einen guten Start ist die Geburt des Kalbes in einem hygienischen Umfeld. **Abkalbebuchten** dürfen deshalb nicht als Krankenstall oder alternative Kälberbucht genutzt werden. Da Dauerbelegungen zu explosionsartiger Ausbreitung der Krankheitserreger führen können, sind Abkalbebuchten regelmässig zu reinigen. Die Reinigung gestaltet sich einfacher, wenn die Abkalbebucht für Traktor oder Hoflader zugänglich ist.

Die **Gruppengrösse** beeinflusst die Produktionsergebnisse (Abb. 2). Gemäss ausländischer Untersuchungen weisen Kälber in Grossgruppen (> 15 Tiere) mehr Atemwegerkrankungen und tiefere Wachstumsraten als Kälber in Kleingruppen auf. Durch Aufteilung der Kälber nach Alter entstehen Gruppen mit etwa gleicher Immunitätslage. Das Risiko, dass eine Krankheit rasch auf alle Tiere übergreift, ist bei der individuellen Igluhaltung am geringsten (Abb. 3). Dass die Igluhaltung bei grösseren Kälberzahlen in der Praxis nur beschränkt Eingang gefunden hat, hängt mit den arbeitswirtschaftlichen Nachteilen zusammen (mehr Arbeit unter ungünstigen Arbeitsbedingungen).

Abb. 5: Durch Verkleidung der Betonaussenwand verhindert man zu starken Wärmeabfluss bei Tieren, die an dieser Wand sich hinlegen.

Erschwerend für die Igluhaltung können auch der Hitzestress im Sommer und für kranke Tiere extreme Kälte im Winter sein.

Die **kontinuierliche Belegung** des Stalls oder Gruppenabteils mit Kälbern unterschiedlichen Alters und damit unterschiedlicher Immunitätslage führt zu einer Steigerung der Virulenz (krankmachende Eigenschaften) der Erreger und schliesslich zum Keimaufbau in der Bucht mit schweren Krankheitsausbrüchen. Damit man von Zeit zu Zeit die Kälberbucht leeren und desinfizieren kann, ist eine zweite Bucht notwendig, oder es muss die Kälbermast als Rein-Raus betrieben werden.

Ältere Tiere (Mastvieh, Milchvieh) können immunschwache Jungtiere mit Keimen anstecken (Abb. 4), wogegen sie selber resistent sind. Kälber sind deshalb in einem separaten Gebäude aufzustallen. Ist dies nicht möglich, ist dafür zu sorgen, dass kein direkter Kontakt stattfinden kann und Frischluft direkt und nicht über Milch- oder Jungvieh in die Kälberbucht geführt wird.

Stallklimatische Stressfaktoren

Die primäre Ursache von Atemwegserkrankungen ist eine Vielzahl von viralen und bakteriellen Erregern. Das Stallklima beeinflusst die Entwicklung und Konzentration der Erreger einerseits und die Widerstandskraft der Kälber andererseits. Das Stallklima sollte möglichst günstig für die Nutztiere und ungünstig für die Vermehrung der Mikroorganismen sein. Je tiefer die Stalltemperatur und die relative Feuchtigkeit, desto stärker wird die Entwicklung der Erreger gebremst.

Hohe Luftfeuchtigkeit hat zur Folge, dass das Fell der Tiere feucht ist, was sie für Luftzug anfälliger macht. Sie verursacht an nicht wärmegedämmten Wand- und Dachflächen Kondenswasser mit Schimmelpilzbildung. Pilzsporen gelangen in die Stallluft und gefährden die Gesundheit von Mensch und Tier. Bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit kann auch die Liegefläche nicht mehr abtrocknen. Hohe Lüftungsraten verringern zwar das Risiko auf Kondenswasserbildung, können es jedoch periodisch an unisolierten Dachflächen nicht vollständig verhindern.

Nicht isolierte Ställe in Leichtbauweise, die der Sonnenstrahlung ausgesetzt sind, heizen sich wegen der fehlenden thermischen Trägheit schnell auf. Tiere mit starker Wachstumsrate haben bei **hohen Umge-**

Abb. 6: Das Tageslicht kann wegen seiner breiten spektralen Zusammensetzung nicht vollständig durch Kunstlicht ersetzt werden.

bungstemperaturen Mühe, ihre Körperwärme abzugeben, insbesondere wenn sie zusätzlich noch der Strahlungswärme der Dachhaut (50–60 °C) ausgesetzt sind und auf Tiefstreue, die praktisch keine Wärme ableitet, liegen müssen. Der Hitzestress lässt sich durch eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um die Tiere reduzieren.

Tiefe Temperaturen sind bei ruhigen Luftverhältnissen für gesunde Kälber kein Problem. Kälber, die durch Krankheit geschwächt sind, können sich jedoch bei grosser Kälte nur schwierig erholen. Kälber haben die Neigung, an Wänden sich hinzulegen. Durch direkten Kontakt mit Aussenwänden in Beton kann im Winter zu viel Wärme abfliessen. Das Problem lässt sich durch das Verkleiden der Betonwand mit einer feuchtebeständigen Platte lösen (Abb. 5).

Die Frischluft muss direkt in den Tierbereich gelangen, ohne dass sie **Luftzug** verursacht. Die Angst vor Luftzug ist oft der Grund, dass man Kälber in einer geschützten Ecke im Milchviehstall und ohne direkte Luftzufuhr von aussen aufstallt. Hierdurch vermeidet man zwar unerwünschte Luftströmungen und im Winter tiefe Umgebungstemperaturen, setzt aber die Kälber einem hohen Infektionsdruck aus, indem sie die schon durch ältere Tiere verbrauchte Luft einatmen müssen.

Ein weiteres Problem in vielen Kälberställen ist das **ungenügende Tageslicht** (Abb. 6). Das Tageslicht kann wegen seiner breiten spektralen Zusammensetzung nicht vollständig durch Kunstlicht ersetzt werden. Unzureichendes Tageslicht im Stall kann durch einen Auslauf teilweise kompensiert werden. Hierdurch profitieren die Tiere ausserdem von der Sonnenstrahlung, die eine desinfizierende Wirkung ausübt und die Abwehr der Tiere stärkt.

Nicht isolierte Dachflächen sind nicht nur verantwortlich für Kondenswasserbildung und Hitzestress, sondern können auch **Kaltluftabfall** verursachen. Dies ist insbesondere bei grosser Raumhöhe der Fall (Abb. 7). Die Luft kühlt sich an der kalten Dachhaut ab, fällt entlang der kalten Aussenwand herunter und nimmt mit zunehmender Fallhöhe an Geschwindigkeit zu. Durch Wärmedämmung des Dachs kann man dieses Problem lösen und gleichzeitig den Hitzestress im Sommer verringern. Die Mehrkosten für die Wärmedämmung halten sich durch die Verwendung von Sandwichpaneelen in Grenzen. Im Vergleich zum einfachen Trapezblech verteuern Sandwichpaneele den Stall um etwa Fr. 60.– pro Mastkälberplatz. Angesichts der erwähnten Vorteile ist dies eine Investition, die sich in den meisten Fällen lohnt.

Tab. 1: Richtwerte für die minimale Winterlüftungsrate zur Verhinderung von Kondenswasserbildung und maximale Sommerlüftungsrate in Kälberställen mit und ohne Dachwärmedämmung.

Gewicht Kalb kg	Wärmegedämmtes Dach ($U < 1\,W/m^2\,K$)[1]	Nicht wärmegedämmtes Dach
	Minimale Winterlüftungsrate m^3/h pro Kalb	
50	70	150
75	80	180
100	90	220
150	105	260
200	120	300
	Maximale Sommerlüftungsrate	
	1 m^3/h pro kg LG	2 m^3/h pro kg LG

[1] Zur Begrenzung der relativen Feuchtigkeit im Stall kann eine höhere Lüftungsrate erforderlich sein.

Tab. 2: Richtwerte für die Lüftungsöffnungen bei natürlicher Lüftung. Angaben pro Mastkalb von 200 kg.

	Dach	
	Nicht wärmegedämmt	Wärmegedämmt
Offenfrontstall: freie Öffnung m^2	0,7	0,3
Offenfrontstall: Windschutzfläche m^2 [1) 2)]	2	0,7
Trauf-First-Lüftung: Firstöffnung m^2 [2)]	0,15	0,08

[1] Im Sommer muss das Windschutznetz (Lochanteil 20 %) entfernt werden, da der Luftdurchsatz bei windstillem Wetter und geringer Temperaturdifferenz innen-aussen nicht ausreicht.

[2] Bei heissem Wetter ist zusätzlich für eine Querlüftung zu sorgen, indem man gegenüberliegende Fenster und Türen öffnet.

Lüftungsraten

Die Stallluft soll hinsichtlich Schadgasbelastung möglichst das ganze Jahr nahezu Aussenluftqualität aufweisen. Dies bedingt die kontinuierliche Abfuhr von Schadgasen und Wasserdampf. Ein Mastkalb von 150 kg produziert bei 10 °C Umgebungstemperatur etwa 1,8 m^3 CO_2 und 4 kg Wasserdampf pro Tag. Zusätzlich zur Wasserdampfproduktion der Tiere können je nach Stalltemperatur und Zustand der Tiefstreue erhebliche Wassermengen aus dem Liegebett verdunsten. Die für die Wasserdampfabfuhr erforderliche Lüftungsrate hängt von der Stalltemperatur und dem Wasserdampfgehalt der Aussenluft ab. Je tiefer die Stalltemperatur, desto weniger Wasserdampf kann die Stallluft pro m^3 aufnehmen (Abb. 8). Desto grösser muss folglich die Lüftungsrate sein. Aus diesem Grund erfordern Aussenklimaställe im Winter höhere Lüftungsraten als wärmegedämmte Ställe (Tab. 1). Hohe Lüftungsraten wirken sich günstig auf die Konzentration an Schadgasen und Keimen in der Stallluft aus.

Im Sommer muss die Lüftungsrate neben dem Wasserdampf auch die Wärme der Tiere und der Einstreue abführen. In nicht wärmegedämmten Ställen ist zusätzlich die Wärmeeindringung durch sonnenexponierte Dach- und Wandflächen zu berücksichtigen. Ein Dach ohne Wärmedämmung kann eine zusätzliche Wärmelast von bis zu 200 W/m² verursachen. Solche Ställe fordern deshalb nicht nur im Winter, sondern auch im Sommer grössere Lüftungsraten als Ställe mit wärmegedämmtem Dach. Es empfiehlt sich im Sommer, sofern dies möglich ist, die Zuluft auf der Schattenseite zu entnehmen. Die Temperaturunterschiede zwischen besonnter und Schattenseite können bis zu 5 °C betragen.
Wenn möglich sollten Kälberställe natürlich gelüftet werden. Natürliche Lüftung ist jedoch nicht überall die beste Lösung. Insbesondere in deckenlastigen Ställen oder bei grösseren Tierbeständen können die Vorteile einer mechanischen Lüftung die zusätzlichen Kosten aufwiegen. Auch eine kombinierte Lüftung ist möglich: im Winter mechanisch und im Sommer natürlich. Dadurch verringern sich nicht nur die Stromkosten, sondern auch die Investitionen, da die Anlage auf eine geringere Lüftungsrate ausgerichtet werden kann.
Eine tiergerechte Lüftung sowohl natürlich wie auch mechanisch bedingt die Einhaltung von lüftungstechnischen Grundsätzen bei der Planung und Handhabung.

Natürliche Lüftung

Bei natürlicher Lüftung hängt die Lüftungsrate stark vom Aussenklima ab. Da in Aussenklimaställen wegen der geringen Temperaturdifferenz innen-aussen weitgehend der thermische Auftrieb fehlt, sind sehr grosse Zu- und Abluftöffnungen notwendig, damit auch noch bei Windstille der Luftwechsel ausreicht (Tab. 2). Wird der Querschnitt der Zuluftöffnungen nicht ständig den Windverhältnissen angepasst, schwankt die Lüftungsrate stark. Unterbelüftung und Überbelüftung wechseln sich ab. Die ständig wechselnde Lüftungsrate ist am unregelmässigeren Verlauf der relativen Stallfeuchtigkeit im Vergleich zur mechanischer Lüftung ersichtlich (Abb. 9).

Je nach dem, ob Zu- und Abluftöffnungen getrennt sind, unterscheidet man zwischen Offenfront-Lüftung und Trauf-First-Lüftung/Schachtlüftung.

Abb. 7: Kaltluftabfall kann ein Problem sein bei grosser Raumhöhe und nicht isoliertem Dach.

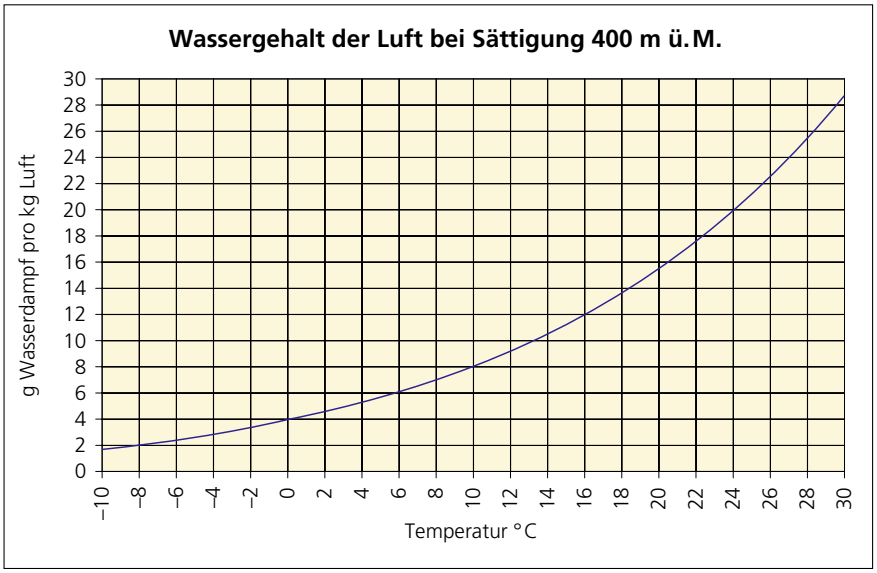

Abb. 8: Je tiefer die Temperatur, desto geringer der maximale Wassergehalt in der Luft.

Offenfront-Lüftung

Bei der Offenfront-Lüftung fliessen die Zu- und Abluft durch die gleiche Öffnung (Abb. 10, 19). Die drei anderen Stallseiten müssen, um Durchzug zu vermeiden, im Winter dicht sein. Dies hat zur Folge, dass der Zugang zum Laufhof in der offenen Front anzuordnen ist. Der Stall ist so auszurichten, dass der Auslauf im Winter besonnt ist. Genügend grosse Vordächer verhindern im Sommer die Sonneneinstrahlung im Stallinnern. Da die Eindringtiefe der Frischluft maximal das Vierfache der Stallhöhe beträgt, eignet sich eine Offenfrontlüftung nicht für tiefe Ställe. Lange schmale Ställe sind, um Längsströme im Stall zu verhindern, mit geschlossenen Buchtentrennwänden zu unterteilen. Eine solche Unterteilung verringert ausserdem die Ansteckungsgefahr zwischen den einzelnen Gruppen. Je nach Breite-Länge-Verhältnis und Exposition kann es notwendig sein, im Winter die offene Front mit einem Windschutznetz oder spaced boards (Schlitzbretter) zu schliessen, um Windeinwirkung zu verhindern (Abb. 11). Spaced boards haben den Vorteil, dass sie nicht wie Windschutznetze vor den Tieren geschützt werden müssen. Andererseits bremsen sie weniger den Wind als Windschutznetze. Da die Bremswirkung erst ab einem Meter hinter dem Windschutz etwa 90 % beträgt, soll der Liegeplatz nicht zu knapp bemessen sein, damit alle Tiere in ausreichendem Abstand zum Netz sich hinlegen können. Ist das Dach nicht wärmegedämmt, muss man bei natürlicher Lüftung pro Mastkalb von 200 kg mit einer Netz- (übliches Windschutznetz mit etwa 20 % Lochanteil) oder Spaced-boards-Fläche (10 cm Bretter mit 2 cm Spalt) von 2 m² rechnen (Tab. 2). Ist das Dach wärmegedämmt, reicht im Winter etwa 0,7 m² aus.

Im Sommer ist das Windschutznetz oder die Spaced-boards-Wand zu entfernen, da der Luftdurchsatz (Abb. 12) wegen der fehlenden Temperaturdifferenz innen-aussen ungenügend wird. Bei heissem Wetter ist ausserdem zur Vermeidung von Hitzestau zusätzlich die gegenüberliegende Wand zu öffnen, damit eine Querlüftung zustande kommt.

Tab. 3: Planungsdaten einer mechanischen Lüftung bei Mastkälbern bis 200 kg.

Ventilator (220 V, Drehzahl 1300U/min)	bis 8 Kälber: ∅ 30 cm 8–12 Kälber: ∅ 35 cm 12–18 Kälber: ∅ 40 cm 18–24 Kälber: ∅ 45 cm 24–30 Kälber: ∅ 50 cm 30–42 Kälber: ∅ 56 cm
Strahllüftung (Wandschlitze)	Luftgeschwindigkeit Schlitze Winter: 1 m/s Luftgeschwindigkeit Schlitze Sommer: 4 m/s Querschnitt der Zuluftschlitze: 150 cm² pro Kalb
Rieselkanallüftung	Lochplattenfläche pro Kalb: 1 m² Anzahl Löcher d10 mm: ca. 190 Löcher/m² d12 mm: ca. 130 Löcher/m² Querschnitt Kanal mind. 1,5 x Σ(Löcher) (siehe Abb. 18)

Trauf-First-Lüftung

Ist wegen der Stalltiefe eine Offenfront-Lüftung nicht möglich, kann nach dem Trauf-First-Prinzip gelüftet werden. Um Kaltluftabfall auf Tiere unter der Trauföffnung zu verhindern, ist eine Luftleitplatte einzubauen (Abb. 13). Erfahrungsgemäss sollte die Luftleitplatte etwa ein Zehntel der Stallbreite, mindestens aber 1 m Länge aufweisen. In wärmegedämmten Ställen muss die Luftleitplatte wärmegedämmt sein. Bei einer Trauf-First-Lüftung ist eine grobe Reglung der Lüftungsrate möglich, wenn bei der Traufe Klappen eingebaut werden. Windabweiser beidseitig des Firstes sorgen für eine Sogwirkung und verhindern, dass

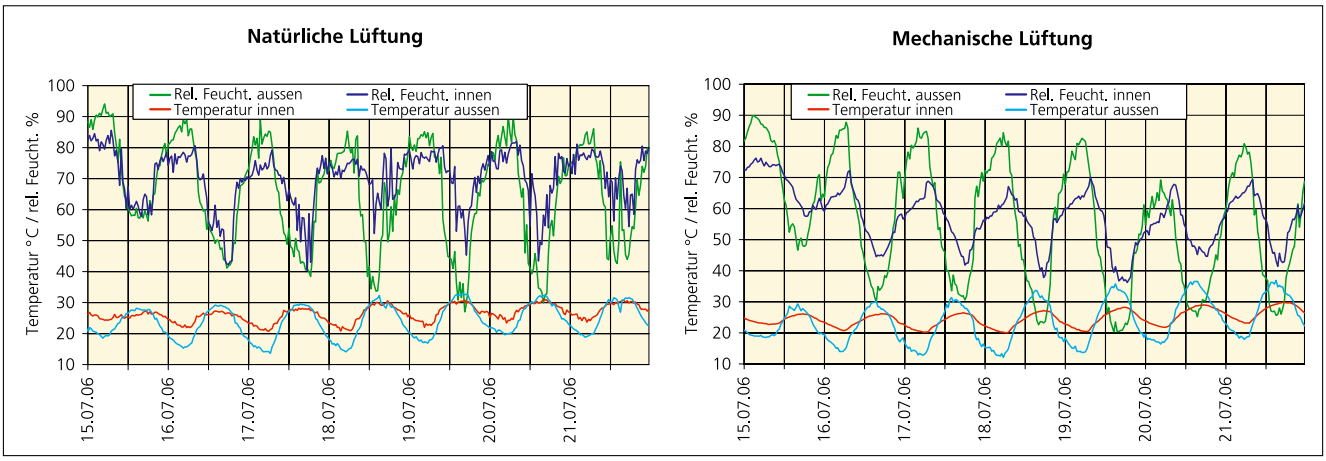

Abb. 9: Bei natürlicher Lüftung schwankt die Lüftungsrate sehr stark. Dies ist am unregelmässigeren Verlauf der relativen Stallfeuchtigkeit im Vergleich zur mechanischen Lüftung ersichtlich.

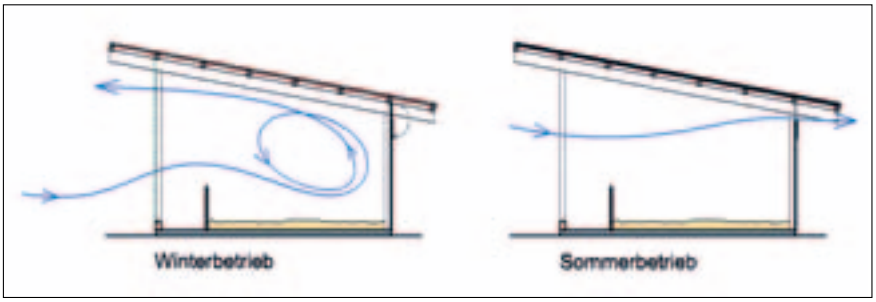

Abb. 10: Erwünschtes Luftströmungsbild in einem Offenfrontstall im Winter und Sommer.

der Wind durch den First in den Stall eindringt. Bei nicht wärmegedämmtem Dach sollte man 0,15 m² Firstöffnung pro Kalb vorsehen (Tab. 2). Bei wärmegedämmtem Dach reicht etwa 0,08 m² pro Kalb aus.

Schachtlüftung

In deckenlastigen Ställen strömt die Frischluft oft durch Kippfenster herein und verlässt den Stall über Kamine. Da sich im Winter Kaltluftabfall unter den Fenstern nicht vermeiden lässt, sollten Tiere dort nicht sich hinlegen müssen. Die Luftmenge, die durch ein Kamin gefördert werden kann, hängt von dessen Höhe und der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen ab (Abb. 14). Besteht nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen (beispielsweise bei hohen Aussentemperaturen) und herrscht Windstille, wird der Luftdurchsatz der Kamine unzureichend und müssen gegenüberliegende Fenster und Tore geöffnet werden, damit der Wind quer durch den Stall strömen kann.

Mechanische Lüftung

Mit Hilfe eines Ventilators lässt sich die gewünschte Lüftungsrate nahezu unabhängig vom Aussenklima realisieren. Übliche Stalllüfter erreichen eine Druckerhöhung von 70 bis 100 Pa (Pascal, Druckeinheit) und ermöglichen feine Luftverteilsysteme mit hohem Widerstand. Natürliche Lüftungssysteme bringen dagegen bei Windstille je nach Temperaturdifferenz innen-aussen und Höhenunterschied zwischen Zu- und Abluftöffnung Druckunterschiede von lediglich 0,1 bis 2 Pa zustande. Ist die Bauhülle luftdicht, kann die Lüftung nach dem Unterdruckprinzip erfolgen. Die Lüfter saugen die Frischluft durch die Zuluftöffnungen an. Bei undichter Bauhülle oder bei dauernd offenen Türen zum Laufhof ist eine Über- oder Gleichdrucklüftung zu empfehlen.
Den Vorteilen der mechanischen Lüftung stehen zusätzliche Investitionen und Stromkosten gegenüber. Die Investitionen betragen je nach Lüftungssystem zwischen Fr. 100.– und Fr. 300.– pro Kälberplatz. Der jährliche Stromverbrauch liegt je nach Ventilatortyp zwischen 30 bis 70 kWh pro Kälberplatz.
Bei einer idealen Luftverteilung gelangt im Winter die Frischluft gleichmässig, mit niedriger Luftgeschwindigkeit und geringer Untertemperatur zu den Tieren. Bei der

Abb. 11: Je nach Breite-Länge-Verhältnis und Exposition kann es notwendig sein, im Winter die offene Front mit einem Windschutznetz oder spaced boards zu schliessen.

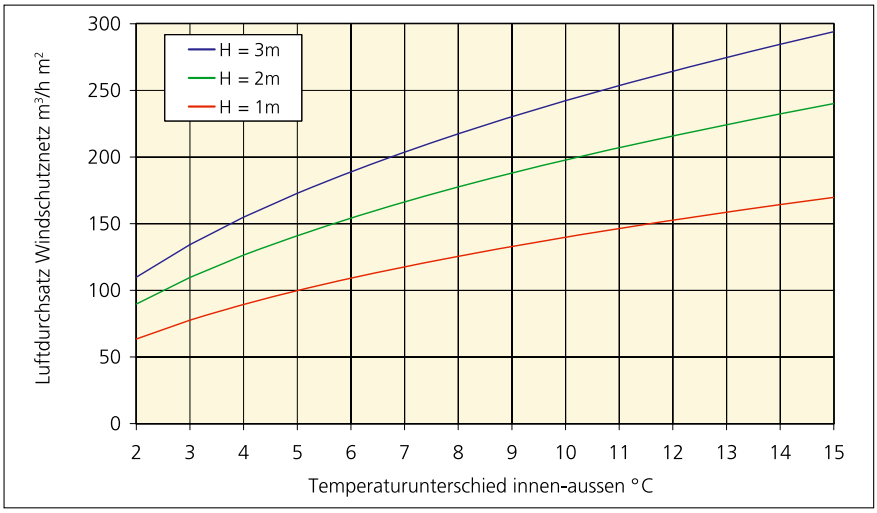

Abb. 12: Luftdurchsatz in m³/h m² eines üblichen Windschutznetzes (20 % Lochanteil) oder einer Spaced-boards-Wand (100 x 25 mm) bei Windstille in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz innen-aussen. (H = Höhe des Windschutznetzes oder der Spaced-board-Wand).

Abb. 13: Kaltluftabfall in den Liegebereich der Tiere lässt sich bei Trauf-First-Lüftung durch eine Luftleitplatte verhindern.

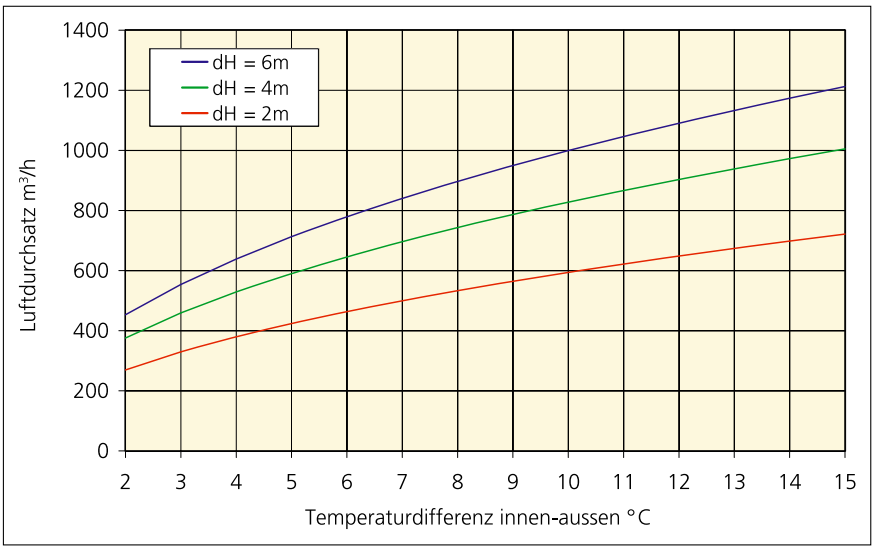

Abb. 14: Luftdurchsatz eines Abluftkamins mit Innendurchmesser von 53 cm in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz innen-aussen (dH = Kaminhöhe).

Abb. 15: Wandauslässe sollten möglichst nahe zur (glatten) Decke angeordnet sein, um den sogenannten Coanda-Effekt auszunutzen.

Abb. 16: Ähnlich wie Wandluftauslässe sind auch Deckenluftauslässe in Bezug auf eine zugfreie Luftführung heikel.

Verteilung der Zuluft unterscheidet man in Kälberställen zwischen Strahllüftung (Wand- oder Deckenauslässe) und Verdrängungslüftung (Rieselkanal oder Porendecke).

Wandluftauslässe

Das einfachste und kostengünstigste Luftverteilungssystem besteht aus gleichmässig verteilten Schlitzen in einer oder mehreren Seitenwänden. Solche Öffnungen sollten möglichst nahe zur (glatten) Decke angeordnet sein, um den sogenannten Coanda-Effekt auszunutzen (Abb. 15). Unter Coanda-Effekt versteht man die Eigenschaft eines Luftstrahls, sich an einer Fläche anzulehnen. Durch die Anlehnung an die Decke vergrössert sich die Eindringtiefe des Luftstrahls. Die Zuluft kann allmählich die Raumtemperatur annehmen, und es verringert sich die Zugluftgefahr für die Tiere. An der Decke dürfen sich keine Hindernisse wie quer zum Luftstrahl verlaufende Balken, Leitungen oder Rohrlampen, die den Luftstrahl nach unten ablenken, befinden. Die Wurfweite des Luftstrahls hängt von dessen Eintrittsgeschwindigkeit und der Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Stallluft ab. Je grösser die Temperaturdifferenz und je geringer die Eintrittsgeschwindigkeit, desto schneller fällt die Luft herunter. Diese Situation tritt vor allem im Winter auf, wenn geringe Luftmengen gefordert werden. Damit die Einströmgeschwindigkeit jederzeit hoch genug bleibt (>1 m/s), ist eine Reglung des Querschnitts der Zuluftöffnungen unentbehrlich. Entweder verschliesst man einzelne Öffnungen oder baut freipendelnde Klappen ein. Bei Wandluftauslässen sind trotz Einhaltung der Empfehlungen Zuglufterscheinungen periodisch nicht auszuschliessen.

Deckenluftauslässe

Bei Deckenluftauslässen (Abb. 16) wird die Zuluft durch eine darunter liegende Prallplatte mehr oder weniger in waagerechte Richtung abgelenkt. Seitliche Lamellen sollen sich je nach Druck oder Sog so öffnen, dass die Luft stets mit einer minimalen Luftgeschwindigkeit herausströmt. Wie bei den Wandauslässen dürfen sich in der Nähe der Lüfter keine Hindernisse befinden, die den Coanda-Effekt zerstören und den Luftstrahl nach unten ablenken. Da die Klappen verstauben, ist ihre Funktion regelmässig zu überprüfen. Ähnlich wie Wandluftauslässe sind auch Deckenluftauslässe heikel in Bezug auf eine zugfreie Luftführung.

Rieselkanallüftung

Im Gegensatz zur Strahllüftung fliesst bei der Rieselkanallüftung (Abb.17) die Zuluft dank einer sehr grossen Anzahl feiner Luftstrahle vollkommen turbulenzarm in den Stall. Befindet sich der Rieselkanal über dem Liegebereich, ist der vertikale Luftstrom im Winter bei jungen Tieren auf etwa 75 m^3/h pro m^2 Lochplatte zu begrenzen. Im Sommer soll eine Luftmenge von etwa 250 m^3/h pro m^2 möglich sein. Die erforderliche Lochplattenfläche beträgt etwa 1 m^2 pro Kalb von 200 kg (Lochanteil 1,5 %). Damit die Zuluft gleichmässig über der ganzen Länge aus dem Rieselkanal strömt, muss dessen Querschnitt mindestens 1,5 Mal die Summe aller Löcher betragen. Hieraus ergibt sich die erforderliche Kanalhöhe (Abb. 18). Kann die Luft in der Mitte oder von beiden Seiten in den Kanal eingespeist werden, halbiert sich die erforderliche Kanalhöhe. Der Rieselkanal muss wärmegedämmt sein, um Kondenswasserbildung zu verhindern (U-Wert < 1,2 W/m^2 K). Durch innere Rundungen kann man bei Richtungs- und Querschnittsänderungen im Kanal den Strömungswiderstand und folglich auch den Stromverbrauch bedeutend senken.

Da die Luftverteilung mittels Rieselkanäle bei voller Lüfterleistung einen Widerstand von 25 bis 35 Pa verursacht, kann die Lüftung ohne Falschluft nur in Unterdruck betrieben werden, wenn die Bauhülle genügend dicht ist. Ist dies nicht der Fall oder gibt es Öffnungen, die man nicht verschliessen kann (Zugang zum Auslauf), ist eine Überdruck- oder Gleichdrucklüftung vorzuziehen. Die Überdrucklüftung hat den Vorteil, dass durch das Austreten von Stallluft die Windeinwirkung durch offene Türen (Laufhof) stark verringert wird. Ist ein bodennaher Luftaustritt jedoch aus Emissionsgründen (Geruch) nicht erwünscht, wird eine Gleichdrucklüftung notwendig.

Bei grossen Temperaturunterschieden zwischen Zuluft- und Stallufttemperatur können kalte Bodenströme auftreten, wenn die Luftmenge pro m^2 zu gross ist (Lochanteil zu gross) und die Abluftöffnung sich nicht in der Stallmitte, sondern in einer Stallecke befindet.

Abb. 17: Bei einer Rieselkanallüftung fliesst die Frischluft ohne Turbulenzen in den Stall.

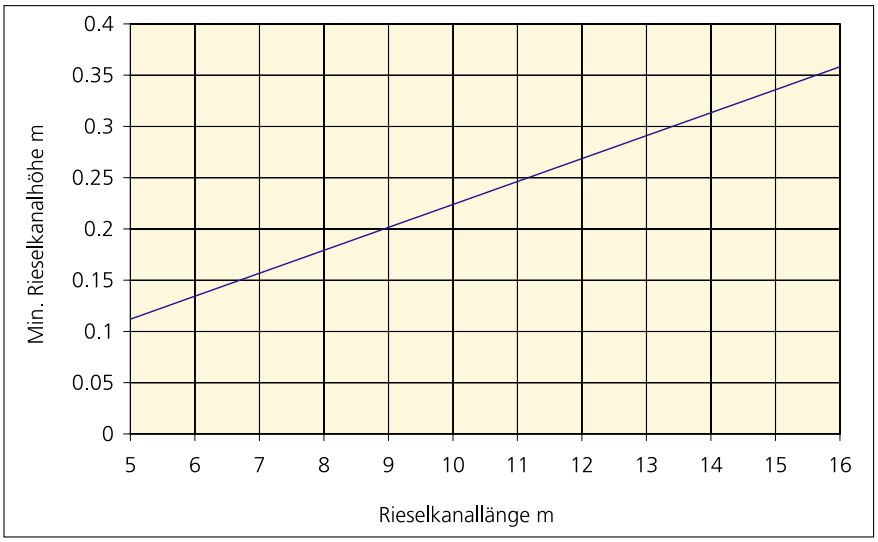

Abb. 18: Damit die Luft gleichmässig über der ganzen Länge aus dem Rieselkanal strömt, braucht es in Abhängigkeit der Kanallänge eine minimale Kanalhöhe (Lochanteil der Lochplatten 1,5 %).

Praktisches Beispiel

Das Beispiel (Abb. 19) bezieht sich auf einen Stall mit zwei Buchten in Rein-Raus-Verfahren für je 15 Kälber bis 200 kg. Der Tränke-

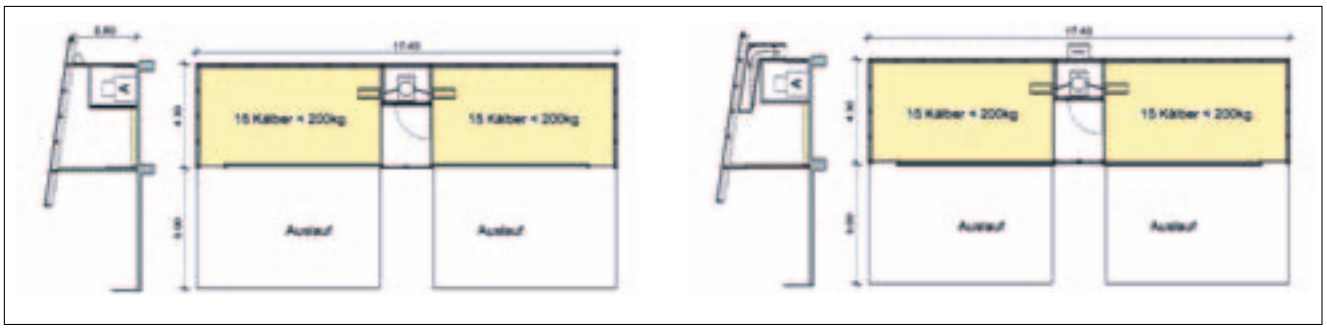

Abb. 19: Beispiel: Kälberstall für 30 Kälber als Offenfrontstall (links) oder geschlossen mit mechanischer Lüftung (rechts).

Tab. 4: Planungsdaten für die natürliche und mechanische Lüftung des Beispiels (Stall für 30 Mastkälber bis 200 kg, siehe Abb.19).

	Dach nicht wärmegedämmt	Dach wärmegedämmt
Aussentemperatur °C	0	0
Stalltemperatur °C	3,5	8
Relative Feuchtigkeit Stall %	80	75
CO_2-Konzentration Stall ppm	670	1130
Fühlbare Wärmeproduktion der Tiere kW	12,4	11,9
Wasserdampfproduktion der Tiere l/h	4,7	5,1
Wasserdampfproduktion aus dem Tiefstreubett l/h [1]	1,1	2,1
Wasserdampfabfuhr in g/m³ Lüftungsrate	0,64	2,00
Minimale Lüftungsrate Winter bei Vollbelegung m³/h	9000	3600
Min. Lüftungsrate Sommer bei Vollbelegung m³/h	12000	6000
	Natürliche Lüftung	
Erforderliche Windschutznetzfläche m² [2]	60	21
Erforderliche Öffnungen bei Querlüftung Sommer m²	6	3
	Mechanische Lüftung	
Lochplattenfläche m²		30
Rieselkanalmasse m, Einspeisung in der Mitte		2:2,0 x 7,5
Min. Rieselkanalhöhe m		0,17
Lüfterdurchmesser cm		50

[1] Die Wasserdampfabgabe aus der Liegefläche ist ein Schätzwert und hängt neben der Temperatur und relativen Feuchtigkeit im Stall von der täglichen Einstreumenge ab.
[2] Im Sommer ist das Netz zu entfernen.

Tab. 5: Mittlere Temperaturschwankung zwischen Tag und Nacht in der Aussen-, Zu- und Stallluft des ART-Kälberstalls für die kälteste und wärmste Periode 2006.

	Temperatur °C					
	19.12.05 – 03.01.06			14.07.06 – 07.08.06		
	Aussen	Zuluft	Stall	Aussen	Zuluft	Stall
Mittlere Tag-Nacht-Schwankung	6,1	2,9	1,5	14,7	8,9	4,9
Maxim. Tag-Nacht-Schwankung	19,3	11,8	5,7	22,1	13,6	7,7

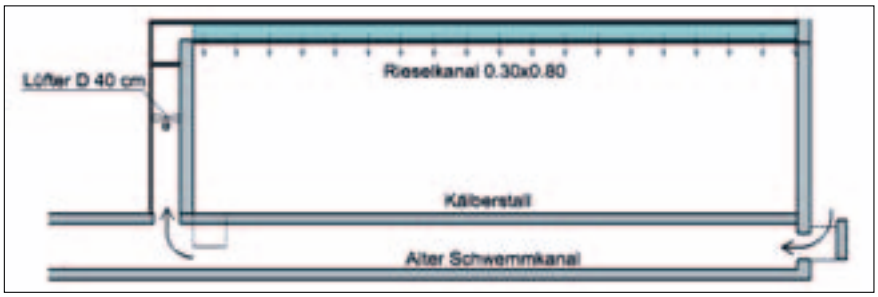

Abb. 20: In einem ehemaligen Anbindestall, der in einen Kälberstall umgebaut wurde, wird die Zuluft durch einen nicht mehr benötigten Schwemmkanal angesaugt und in Überdruck in den Stall geblasen.

automat befindet sich zentral in einem isolierten Raum. Die Wände bestehen aus einer einfachen Holzschalung (U = 2,8 W/m² K), das Dach aus Zementfaserplatten/Trapezblech (U = 5,3/5,7 W/m² K) oder Sandwichplatten mit PUR-Hartschaumkern (U = 0,6 W/m² K). Je nachdem, ob das Dach wärmegedämmt ist oder nicht, beträgt die minimale Lüftungsrate bei Vollbelegung (30 Kälber à 200 kg) 3600 oder 9000 m³/h (Tab. 4). Die Lüftung kann sowohl natürlich (Offenfront) als auch mechanisch erfolgen.

Variante 1: Offenfrontstall mit natürlicher Lüftung

Für eine Lüftungsrate von 9000 m³/h errechnet sich bei Windstille (v <0,5 m/s) eine Windschutznetzfläche (Perforation 20 %) von etwa 60 m² (Tab. 4). Verzichtet man auf ein Windschutznetz, genügt eine freie Öffnung von etwa 21 m² (Höhe der Öffnung: 1,4 m). Ist das Dach wärmegedämmt, reduziert sich die erforderliche Windschutznetzfläche ebenfalls auf etwa 21 m². Die Stalltemperatur ist etwa 5 °C höher, die relative Feuchtigkeit etwa 5 % tiefer im Vergleich zum Stall mit nicht isoliertem Dach.

Im Sommer sollte das Windschutznetz entfernt und die gegenüberliegende Seite geöffnet werden, damit durch Windeinwirkung eine Querlüftung zustande kommt.

Variante 2: Stall mit mechanischer Lüftung

Bei einer mechanischen Lüftung ist die Bauhülle geschlossen. Weiter wird angenommen, dass das Dach wärmegedämmt ist, da sonst wegen der Lüftungsrate die Rieselkanalfläche zu gross würde. Wegen des dauernd zugänglichen Laufhofs empfiehlt sich eine Überdrucklüftung. Der Lüfter befindet sich in der Stallmitte und drückt die Frischluft beidseitig in den Rieselkanal. Die verbrauchte Luft entweicht durch die Streifenvorhänge in den Auslauf. Der Überdruck im Stall verhindert Falschluft und verringert die Windeinwirkung durch die Streifenvorhänge. Der Rieselkanal weist eine Lochplattenfläche von etwa 30 m² auf. Bei einer Perforation von etwa 1,5 % (130 Löcher ∅ 12 mm oder 190 Löcher ∅ 10 mm pro m²) können mit einem Lüfter von 50 cm Durchmesser je nach Gesamtwiderstand 6000 bis 7000 m³/h gefördert werden. Mit Hilfe eines Steuergeräts lässt sich je nach Besatzdichte (Anzahl kg Lebendgewicht) und Aussentemperatur die gewünschte Lüftungsrate über die Lüfterdrehzahl regeln. Die Investitionen für den Lüfter, die Luftverteilung (Rieselkanal) sowie den Lüfterregler betragen etwa Fr. 6000.–. Gegenüber der natürlichen Lüftung ergeben sich bei ganzjährigem Betrieb zusätzliche Jahreskosten von etwa Fr. 32.– pro Mastkälberplatz.

Aufbereitung der Zuluft

Grosse Temperaturschwankungen und extreme Temperaturen können vermieden werden, wenn die Aussenluft nicht direkt in den Stall geführt, sondern vorgängig durch einen Erdwärmetauscher geleitet wird. Klassische Erdwärmetauscher mit Rippenrohren neben dem Stall, die sich vor allem bei Schweineställen bewährt haben, sind mit erheblichen Investitionen verbun-

den. Aus diesem Grunde wurde eine einfachere und kostengünstigere Version an der ART Tänikon erprobt. In einem ehemaligen Anbindestall, der in einen Kälberstall umgebaut wurde, wird die Zuluft durch einen nicht mehr benötigten Schwemmkanal angesaugt und in Überdruck in den Stall geblasen (Abb. 20).

Beim Durchströmen des 10 m langen Kanals erwärmt sich die Frischluft im Winter bis zu 8 °C (Abb. 21) und kühlt sich im Sommer bis zu 6 °C ab (Abb. 22). Die mittleren Tag-Nacht-Schwankungen der Aussenlufttemperatur reduzieren sich im Winter um 50 %, im Sommer um etwa 40 % (Tab. 5). Der Hauptvorteil der unterirdischen Luftzufuhr liegt in der Reduzierung der Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Stallluft, wodurch die Gefahr von Kaltluftströmen und Luftzug stark reduziert wird. Ausserdem wird durch die indirekte Luftführung der Windeinfluss praktisch ausgeschaltet. Dank der Anwärmung der Zuluft sind im Winter höhere Lüftungsraten und eine tiefere relative Feuchtigkeiten im Stall möglich. Während die durchschnittliche relative Feuchtigkeit draussen in der Periode Dezember 2005 bis Februar 2006 über 90 % lag, blieb sie im Stall unter 75 %. Werden bei einem Neubau einige Rohre unter der Bodenplatte des Stalls verlegt, sind folgende Punkte zu beachten: Der Untergrund rings um die Rohre muss frostsicher sein, sonst besteht Gefahr für Frostschäden. Da die Bodenplatte über den Rohren durch die darunter strömende Aussenluft abkühlt, ist im Winter für eine genügend dicke Einstreumatratze zu sorgen.

Wird der Stall im Hang eingebaut, ergibt sich die Möglichkeit, die Böschung als Erdwärmetauscher zu nutzen (Abb. 23). Dies führt gegenüber einem herkömmlichen Erdwärmetauscher zu erheblichen Kosteneinsparungen, da der Aushub sowie auch der Zuluftkanal aus Beton sich erübrigen. Obwohl die Rippenrohre in zwei Ebenen und nur untief verlegt sind, ist die Leistung im Winter beträchtlich (Abb. 24).

Ob sich die Mehrinvestitionen für den Erdwärmetauscher rechtfertigen, hängt vom Standort des Stalls ab. Im vorliegenden Fall (Abb. 24) befindet sich der Stall an einem Nordhang und muss im Winter drei Monate auf die Sonne verzichten (mittlere Januartemperatur –5 °C).

Stallklimaprobleme in der Praxis

Sowohl bei natürlicher Lüftung als auch bei mechanischer Lüftung kommt es in der Praxis oft zu Stallklimaproblemen. Die Gründe

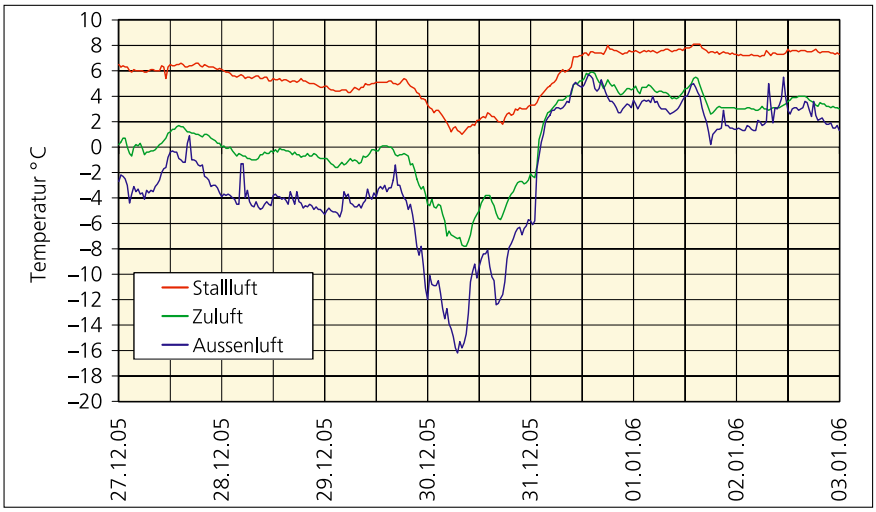

Abb. 21: Beim Durchströmen des 10 m langen Kanals (Abb. 20) erwärmt sich die Frischluft im Winter bis zu 8 °C.

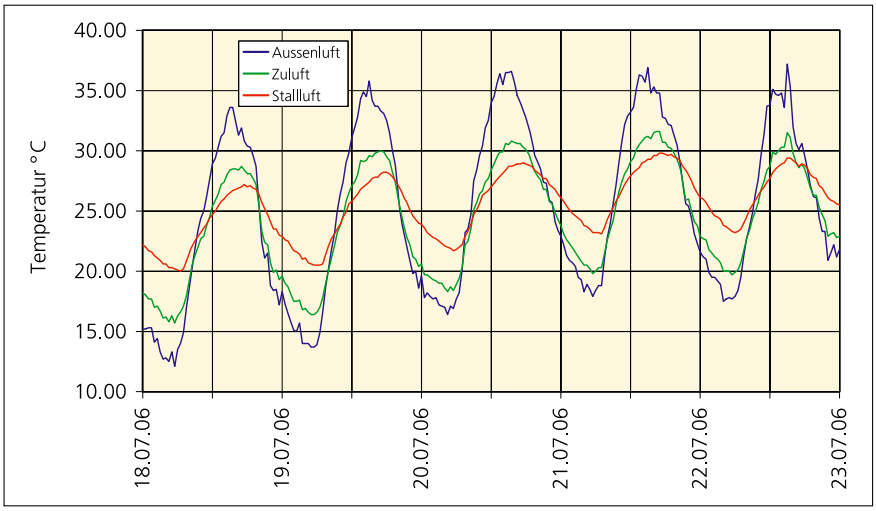

Abb. 22: Beim Durchströmen des 10 m langen Kanals (Abb. 20) kühlt sich die Frischluft im Sommer bis zu 6 °C ab. Durch Wärmeaustausch im Kanal verringern sich die Temperaturschwankungen der Zuluft um etwa 40 %.

Abb. 23: Wird der Stall im Hang eingebaut, ergibt sich die Möglichkeit, die Böschung als Erdwärmetauscher zu nutzen.

sind vielfältig und nicht immer einfach zu erkennen und zu beheben. Eine Liste von viel vorkommenden Mängeln mit möglichen Ursachen und Massnahmen kann helfen, einige Probleme zu vermeiden oder zu beheben (Tab. 6).

Schlussfolgerungen

Auf vielen Praxisbetrieben, insbesondere Kälbermastbetrieben, herrscht ein labiles Gleichgewicht zwischen Gesundheit und Krankheit. Der Hauptgrund hierfür liegt oft in den sehr ungünstigen Haltungsbedingungen. Grossgruppenhaltung in Einraumlaufställen ohne Auslauf, kontinuierliche Belegung der Buchten und Kontakt mit älteren Tieren verursachen einen hohen Infektionsdruck. Ist zusätzlich die Luftqualität im Stall ungenügend, kann es bei den immunschwachen jungen Kälbern zu schweren Krankheitsausbrüchen kommen.

Die Stallluft soll hinsichtlich Schadgasbelastung möglichst das ganze Jahr nahezu Aussenluftqualität aufweisen. Natürliche Lüftung ist zweifelsohne der mechanischen Lüftung vorzuziehen. In deckenlastigen Ställen oder bei grösseren Tierbeständen können jedoch die Vorteile einer mechanischen Lüftung die zusätzlichen Kosten aufwiegen. In natürlich gelüfteten Ställen ohne Dachwärmedämmung sind grosse Lüftungsöffnungen erforderlich, damit auch bei Windstille der anfallende Wasserdampf abgeführt werden kann. Da die Eindringtiefe der Frischluft maximal das Vierfache der Stallhöhe beträgt, eignet sich eine Offenfrontlüftung nur für nicht zu tiefe Ställe. In Offenfrontställen sind im Winter die drei anderen Stallseiten zu schliessen. Wird ein Windschutznetz angebracht, muss es die ganze Front umfassen. Im Sommer ist das Netz zu entfernen und auch die gegenüberliegende Wand zu öffnen, damit eine Querströmung möglich wird.

Eine mechanische Lüftung verursacht Mehrkosten von etwa Fr. 30.– pro Kälberplatz und pro Jahr. Diesen zusätzlichen Jahreskosten stehen als wichtige Vorteile die Witterungsunabhängigkeit sowie auch die Möglichkeit zur feinen Verteilung und zur Aufbereitung der Zuluft gegenüber. Richtig dimensionierte Rieselkanäle garantieren im Winter eine turbulenzarme und zugfreie Luftverteilung. Strömt die Aussenluft nicht direkt in den Stall, sondern vorgängig durch einen Erdwärmetauscher, verringern sich die Schwankungen und Extremwerte der Zulufttemperatur erheblich. Versuche an der ART Tänikon mit einem alten Schwemmkanal als Zuluftkanal zeigen im Winter eine maximale Anwärmung der Zuluft um 8 °C und im Sommer eine maximale Abkühlung von 6 °C. Die mittleren Tag-Nacht-Schwankungen der Zulufttemperatur verringern sich im Winter um 50 %, im Sommer um 40 %.

Die Optimierung der Lüftung ist eine wesentliche Voraussetzung für die Kälbergesundheit. Sie kann jedoch nur zum Erfolg führen, wenn gleichzeitig auch alle anderen Einflussfaktoren wie Aufstallungsbedingungen, Stallhygiene, Fütterung und Tierversorgung stimmen.

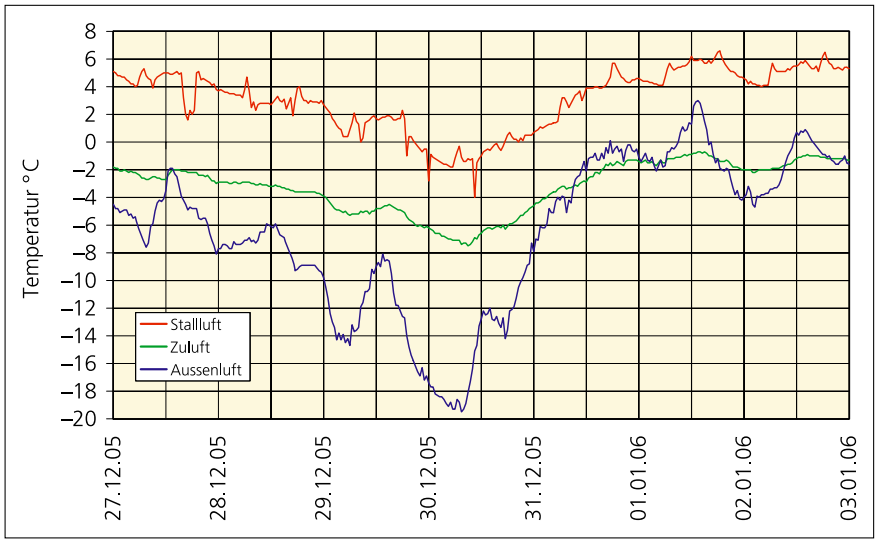

Abb. 24: Obwohl die Rippenrohre des Erdwärmtauschers (Abb. 23) untief und in zwei Ebenen verlegt sind, weist die Zulufttemperatur nur sehr geringe Schwankungen auf.

Tab. 6: Viel vorkommende Stallklimaprobleme bei der Lüftung von Kälberställen.

Problem	Ursachen	Massnahmen
	Natürliche Lüftung	
Kaltluftabfall an der Wand	• Lufteinlass über dem Liegebereich. • Grosse Raumhöhe (>4 m) unter nicht isoliertem Dach	• Luftleitplatte unter der Trauföffnung • Liegebereich an der Wand mit Zwischendecke (Vlies) abdecken oder Dach isolieren
Kondenswasserbildung	• Zu tiefe Lüftungsrate • Ungleichmässiger Wärmeanfall im Stall • Fehlende Wärmedämmung	• Lüftungsrate erhöhen • Tiere gleichmässiger verteilen • Dach/Decke wärmedämmen
Periodisch schlechte Luftqualität	• Zu kleine Zu- oder Abluftöffnungen • Windschutznetze verstaubt	• Querschnitt der Zu- und oder Abluftöffnungen vergrössern • Netze reinigen
Luftzug	• Gegenüberliegende Lüftungsöffnungen • Fehlender Windschutz	• Offenfrontlüftung, drei andere Wände verschliessen • Windschutznetz (Öffnungen entsprechend vergrössern)
	Mechanische Lüftung	
Periodisch schlechte Luftqualität	• Schlechte Einstellung oder defektes Steuergerät	• Minimale und maximale Drehzahl des Lüfters überprüfen
Luftzug	• Zu hohe Lüftungsrate • Falsche Anordnung Zuluftöffnungen oder Falschluft • Strahllüfung: falsche Klappeneinstellung • Rieselkanallüftung: zu hohe Luftströme pro m²	• Lüfterleistung, -drehzahl überprüfen • Anordnung Zuluftöffnungen oder Dichtigkeit der Bauhülle überprüfen, • Pendelklappen reinigen • Lochanteil der Rieselkanäle überprüfen (max. 1.5%)
Kondenswasser am Rieselkanal	• Zu hohe Luftfeuchtigkeit im Stall • Fehlende Wärmedämmung • Ungleichmässige Luftverteilung	• Lüftungsrate erhöhen • Isolierte Lochplatten verwenden • Rieselkanalhöhe überprüfen (Abb. 17)

Literatur

DLG-Arbeitsunterlage 2003: Lüftung von Schweinställen. 3. überarbeitete Fassung, 59 S.

Van Caenegem L., Deglin D., 1998. Erdwärmetauscher für Mastschweineställe. FAT-Schriftenreihe 48, 68 S.

Van Caenegem L., Wechsler B., 2000. Stallklimawerte und ihre Berechnung. FAT-Schriftenreihe 51, 89 S.

Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R., 2002. Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, S. 1209–1245.

Anfragen über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten.
Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, angefordert werden,
Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@art.admin.ch, Internet: http://www.art.admin.ch

ZH Merk Konrad, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 99 60
Blum Walter, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 99 60

BE Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,
3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45
Marti Fritz, Inforama Rütti und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21

LU Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Hodel René, LBBZ, Centralstr. 21,
6210 Sursee, Telefon 041 925 74 74
Widmer Norbert, LMS,
6276 Hohenrain, Telefon 041 910 26 02

UR Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66

SZ Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22

OW Müller Erwin, BWZ Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16
Landwirtschaftsamt, St.Antonistr. 4,
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58

NW Wolf Franz, Landwirtschaftsamt,
Kreuzstr. 2, 6371 Stans,
Telefon 041 618 40 07

GL Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00

ZG Gut Willy, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
Furrer Jules, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50

FR Kilchherr Hansruedi, Landw. Schule Grangeneuve
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50

SO Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62

BL Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21

SH Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20

AI Inauen Bruno, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76

AR Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56

SG Lehmann Ueli, LBBZ Rheinhof,
9465 Salez, Telefon 081 758 13 19
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53

GR Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25

AG Müri Paul, LBBZ Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27

TG Baumgartner Christof, Fachstelle
Beratung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 23

TI Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Impressum

Herausgeber: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Die ART-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: ART, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen. Telefon +41 (0)52 368 31 31, Fax +41 (0)52 365 11 90, doku@art.admin.ch, http://www.art.admin.ch
Die ART-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports ART» erhältlich.
ISSN 1661-7568.
Die ART-Berichte sind im Volltext im Internet (www.art.admin.ch)