

Windschutz in Aussenklimaställen

Windschutznetze und Schlitzbretter im Vergleich

Ludo Van Caenegem und Alfons Schmidlin, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Aussenklimaställe erfordern auch im Winter hohe Lüftungsraten, damit die anfallende Wasserdampfmenge abgeführt werden kann, ohne am Gebäude Bauschäden zu verursachen. Gleichzeitig sollte bei tiefen Temperaturen die Luftgeschwindigkeit in Tiernähe gering sein. Der effektive Luftwechsel ist das Ergebnis der Temperaturdifferenz innen/aussen einerseits und der Windeinwirkung andererseits. Da in Aussenklimaställen der Temperaturunterschied innen/aussen gering ist, überwiegt in den meisten topographischen Lagen der Wind.

Ein wirksamer Windschutz muss die Windeinwirkung weitgehend reduzieren, darf aber nicht verhindern, dass auch bei windstillem Wetter ein minimaler Luftwechsel stattfindet und die Frischluft den Stallraum ganzflächig durchströmt. Ein solcher Windschutz lässt sich auf zwei verschiedene Weisen erreichen: Einerseits durch den Einbau eines Luftwiderstandes in den Öffnungen, andererseits durch wind- und temperaturabhängige Regelung der Zuluftöffnungen (aufziehbare Rollwände). Als Luftwiderstand eignen sich feinmaschige Netze und Schlitz-

bretter (Spaced Boards). Die Regelung des Öffnungsquerschnitts kann von Hand oder automatisch erfolgen.

Druckmessungen vor und Geschwindigkeitsmessungen hinter verschiedenen Windschutzvorrichtungen zeigen grosse Unterschiede bezüglich Luftdurchlässigkeit (Widerstandsbeiwert) und Bremswirkung. Je nach Perforation ist mit unterschiedlichem Einfall von Tageslicht zu rechnen. Windschutznetze und Spaced Boards verursachen etwa die gleichen Jahreskosten. Sie erlauben gegenüber geschlossenen Wänden erhebliche Kosteneinsparungen.

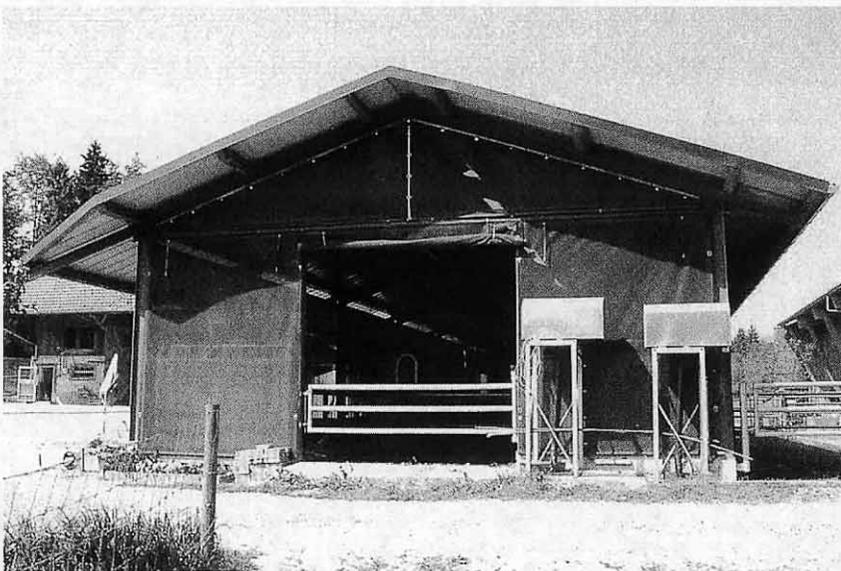


Abb. 1. Liegehalle für Milchvieh, ringsherum bis auf den Boden mit Windschutznetz verkleidet.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Windgeschwindigkeit	2
Minimaler Windschutz für das Tier	2
Raumströmung im Stall	3
Windschutzvorrichtungen	4
Wirkungsgrad der Windbremsen	5
Dimensionierung der Zu- und Abluftöffnungen	11
Einfluss der Windschutzvorrichtung auf die Wandkosten	14
Schlussfolgerungen	16
Literatur	17

Problemstellung

Das Bestreben die Kosten zu senken, veranlasst viele Landwirte, die Gebäudehülle zu vereinfachen. Im Extremfall werden ganze Wände weggelassen. Tiefe Temperaturen sind in Rindviehställen dann nicht problematisch, wenn sie nicht mit hohen Luftgeschwindigkeiten in Tiernähe verbunden sind. Wie aber mit natürlicher Lüftung einen solchen Windschutz realisieren und gleichzeitig bei jeder Witterung gewährleisten, dass anfallende Feuchtigkeit und Gase aus dem Stall abgeführt werden? Windschutznetze und -gitter sowie Spaced Boards ergeben je nach Ausführung einen unterschiedlich grossen Luftwiderstand. Der Planer will wissen, wie gross dieser Widerstand ist, damit er den Öffnungsquerschnitt der Zu- und Abluftöffnungen entsprechend dimensionieren kann. Jeder Windschirm hat ausserdem eine spezifische Bremswirkung und erfordert folglich einen unterschiedlich grossen Abstand zwischen den Tieren und der Zuluftöffnung. Neben Lüftungstechnischen Fragen soll auch die wirtschaftliche Seite abgeklärt werden. Bringt das Ersetzen einer festen Stallwand durch Windschutznetze, Rollwände usw. längerfristig Kostenvorteile?

Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit ist je nach Region sehr unterschiedlich. So beträgt die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in Zürich etwa 2,1 m/s, in Luzern 1,4 m/s, in Basel dagegen 2,6 m/s. Wichtiger als die Jahresmittelwerte sind die Stundenwerte und ihre statistische Verteilung in der kalten Jahreszeit. Windmessungen an der FAT Tänikon ergaben für die Periode Oktober 1995 bis März 1996 1063 Stunden mit einer mittleren Windgeschwindigkeit über 2 m/s. Ein

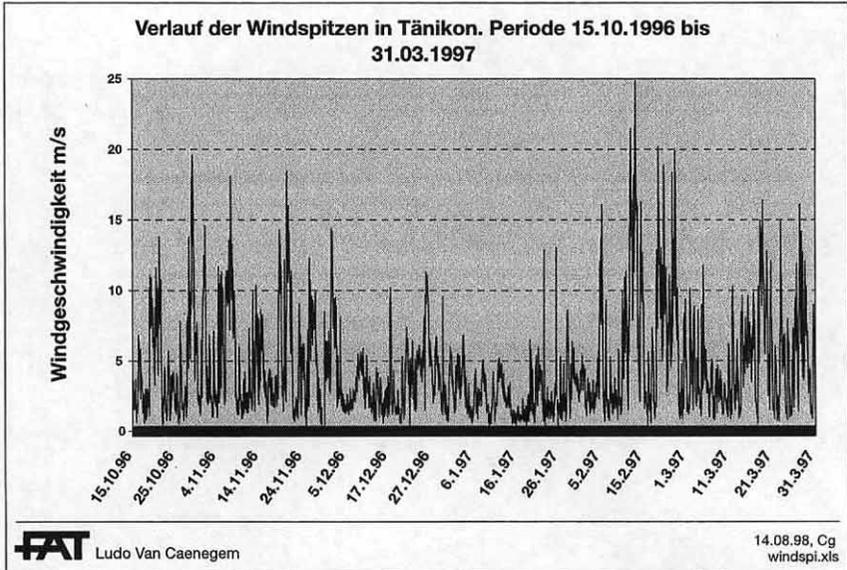


Abb. 2. Im Winterhalbjahr 1996/1997 wurden 1246 Stunden mit einer Windspitzengeschwindigkeit über 5 m/s registriert. Messdaten Wetterstation Tänikon.

Jahr später waren es 1306 Stunden. Während der ersten Periode (Oktober 1995 bis März 1996) betrug die Spitzengeschwindigkeit während 937 Stunden mehr als 5 m/s und während 178 Stunden mehr als 10 m/s. In der Periode Oktober 1996 bis März 1997 waren es 1246 Stunden mit Spitzengeschwindigkeiten über 5 m/s und 330 Stunden über 10 m/s (Abb. 2). Andererseits lag während fast 25% dieser Zeitspanne die mittlere Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s (Abb. 3).

Minimaler Windschutz für das Tier

Die durch metabolische Prozesse freigesetzte Wärme dient den Tieren zur Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur. Die Wärme wird an die Umgebung auf fühlbare und latente Weise (Wasserdampf) abgegeben. Bei tiefen Umgebungstemperaturen überwiegt die fühlbare Wärmeabgabe (ca. 80%

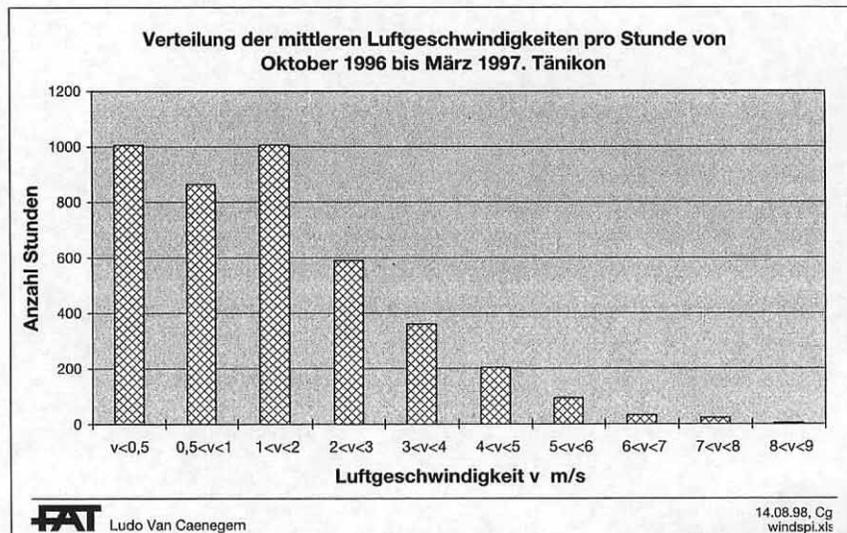


Abb. 3. Die mittlere Windgeschwindigkeit lag im Winterhalbjahr 1996/1997 während fast 25% der Zeit unter 0,5 m/s.

der Gesamtwärme). Sie findet durch Strahlung, Leitung und durch Konvektion statt. Die Wärmeabgabe durch Konvektion wird stark von der Luftgeschwindigkeit beeinflusst. Hohe Luftgeschwindigkeiten zerstören den schützenden Luftfilm im Haarkleid und verringern somit dessen Wärmedämmung. Bei tiefen Umgebungstemperaturen kann dies zu Kältestress führen. Bei hohen Umgebungstemperaturen ist dagegen eine Verringerung der Wärmedämmung erwünscht. Besonders gefährlich ist die sogenannte «Zugluft» vor allem bei jungen Tieren. Man spricht von Zugluft, wenn die bewegte Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft hat und vorwiegend aus einer bestimmten Richtung einen Körperteil trifft. Dabei spielt nicht nur die Luftgeschwindigkeit eine Rolle, sondern auch der Turbulenzgrad der Geschwindigkeit. Je höher die Luftturbulenz, desto grösser ist das «Luftzugempfinden». Besonders bei mehr oder weniger ungebremster Windeinwirkung, wie sie in offenen Ställen vorkommt, ist mit einem hohen Turbulenzgrad zu rechnen, was zu einer bedeutsamen Erhöhung der konvektiven Wärmeabgabe der Tiere führt.

Aus diesen Gründen soll der ideale Windschutz einerseits bei tiefen Temperaturen die Luftgeschwindigkeit stark reduzieren (bis unter 0,5 m/s), andererseits bei hohen Umgebungstemperaturen den Wind nur wenig abbremsen, damit den Tieren die Wärmeabgabe erleichtert wird.

gungslüftung». Bei diesem Vorgang wird eine Luftmenge durch die nachströmende herausgedrängt, ohne sich mit dieser zu vermischen. In Ausenklimateällen mit grossen Windöffnungen findet meistens eine Mischung beider Strömungstypen statt.

Die Form der Luftströmung (Strahlbahn) ist sehr schwierig vorauszusagen. Sie kann durch eine grosse Anzahl von Einflussfaktoren beeinflusst werden. Nicht nur die Luftstrahlparameter (Eintrittsgeschwindigkeit, Strahlquerschnitt, Temperaturdifferenz innen/ausen) sondern auch die geometrischen Abmessungen des Raumes sowie sekundäre Einflüsse, wie wärmeabgebende Körper (Tiere) und Hindernisse, können eine Rolle spielen.

Je höher die Eintrittsgeschwindigkeit ist, desto langsamer sinkt der Luftstrahl ab. Der Temperaturunterschied zur Raumluft nimmt mit zunehmender zurückgelegter Wegstrecke ab. Bei geringen Luftgeschwindigkeiten ist die Gefahr grösser, dass Zuluft mit stark von der Raumluft abweichender Temperatur auf die Tiere einfällt, dies um so mehr, je grösser die Temperaturdifferenz innen/ausen ist. Es empfiehlt sich daher, den Liegebereich der Tiere unter Zuluftöffnungen durch eine Luftführungsplatte zu schützen. Mit einer solchen Luftführungsplatte kann der Luftstrahl nach oben gerichtet werden. Die Zuluft kommt viel weiter in den Tierbereich und hat Zeit, sich aufzuwärmen. Ausserdem nimmt die Luftgeschwindigkeit stark ab, bevor sie in Tiernähe kommt. Die Luftleitplatte soll-

te mindestens die gleiche Wärmedämmung wie das Dach aufweisen.

Die Begrenzungsflächen üben einen grossen Einfluss auf die Strahlbahn aus. Ein wohlbekannter Effekt ist der sogenannte Coanda-Effekt, durch welchen strömende Fluiden dazu neigen, sich an parallelen Flächen oder anderen Strahlen anzulegen. Dies ist auf den Unterdruck zwischen Strahl und Kontaktfläche zurückzuführen. Die Eigenschaft kann benutzt werden, um den Luftstrahl weiter in den Stall eindringen zu lassen. Dieses Phänomen tritt nur auf, wenn der Abstand zur Decke oder Dachfläche gering ist (< 0,3 m). Ist der Luftstrahl erheblich kälter als die Stallluft, löst sich der Strahl rasch wieder von der Kontaktfläche.

Tritt in einen Raum durch eine in einer Seitenwand angebrachte Öffnung ein Luftstrom ein, so erreicht er nicht immer die gegenüberliegende Raumseite. Das Verhältnis Raumbreite zu Raumhöhe beeinflusst entscheidend die Eindringtiefe. Der Strahlumkehr tritt in einer Entfernung, welche 3- bis 4,5mal die Raumhöhe beträgt, auf (Abb. 4). Eintrittsgeschwindigkeit und Volumenstrom spielen dabei keine Rolle.

Übertrifft die Stallbreite 3- bis 4,5mal die Stallhöhe, bilden sich neben dem Primärwirbel auch ein oder mehrere Sekundärwirbel. Da die Sekundärwirbel ihre Energie jeweils vom vorhergehenden beziehen, nimmt die Energie der einzelnen Wirbel nach hinten ab. Entsprechend verringert sich auch der Luftaustausch zwischen den Walzen.

Raumströmung im Stall

Die Luftströmungen im Stall hängen vor allem von der Anordnung und der Geometrie der Zu- und Abluftöffnungen ab.

Tritt die Zuluft durch nicht allzu grosse Wandschlitze in den Raum, entsteht eine sogenannte «Raumströmung» mit Luftwalzen. Es bilden sich je nach Gebäudeabmessungen Primär- und Sekundärwalzen. Strömt Luft ganzflächig auf der einen Seite ein und auf der gegenüberliegenden Seite aus dem Raum, spricht man im Gegensatz zur «Raumströmung» von «Verdrän-

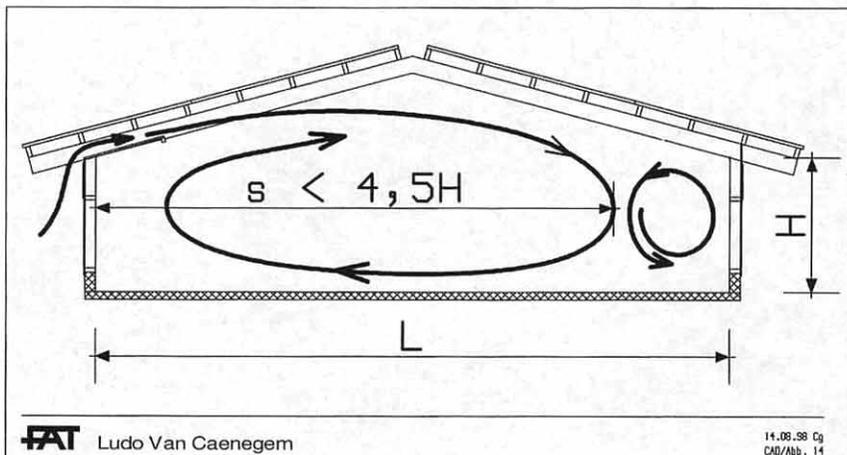


Abb. 4. Die Strahlumkehr tritt in einer Entfernung auf, welche 3- bis 4,5mal die Raumhöhe beträgt.

Das heisst, dass die weiter von den Zuluftöffnungen entfernten Stallzonen nur noch unzureichend mit Frischluft versorgt werden.

Je höher der Stall, desto besser ist folglich die Stallraumdurchmischung mit Frischluft. Die Abluftöffnungen beeinflussen das Strömungsbild im Raum nur sehr gering.

Stroh Bühnen, welche sich oft in Hallenställen über einen Teil der Grundfläche erstrecken, stören das Strömungsbild der Luftwalzen stark.

Windschutz-vorrichtungen

Da Stallgebäude meistens nicht so hoch sind, dass zwischen Tieren und Zuluftöffnungen genügend Distanz vorhanden ist, kann es angebracht sein, die Öffnungen so auszubilden, dass die Luftströmungen genügend abgebremst werden, bevor sie in den Tierbereich gelangen. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Windschutznetze und -gitter

Windschutznetze sind Agrotexilien, bestehend aus Chemiefasern (Polyester, Polyethylen, Polypropylen usw.) (Abb. 5). Es gibt verschiedene Aus-

führungsformen. Die üblichen Windschutznetze bestehen aus einem sehr flexiblen Polyestergewebe, welches mit PVC verschweisst und verstärkt ist. Die Beschichtung ist in der Regel UV-stabilisiert. Je nach Löchergeometrie weisen sie eine grössere oder kleinere Porosität auf. Sie haben eine grosse Zugfestigkeit (20 bis 40 kN/m). Die Maschenweite beträgt 1 bis 2 mm. Für die Befestigung werden die Netze konfektioniert, gegebenenfalls im Saum mit Ösen versehen. Mit Spanngurten (Ratschen) und Klemmpprofilen kann das Netz faltenfrei gespannt werden. Die Haltbarkeit ist bei richtigem Einbau gut. Scheuerstellen müssen aber unbedingt vermieden werden.

Neben verschweissten Netzen gibt es nicht verschweisste Netze aus Polyethylen mit geringer Zugfestigkeit (2 bis 7 kN/m) und starre Lochgitter ebenfalls aus Polyethylen (Zugfestigkeit 4 bis 6 kN/m) oder aus Blech (Stahl oder Aluminium).

Feuchtigkeit und Staub setzen sich im Laufe der Zeit häufig auf engmaschigen Netzen ab und können die Luft- und Lichtdurchlässigkeit erheblich verringern. Je nach Lüftungssystem kann einige Male pro Jahr eine Reinigung nötig sein. Trockener Staub lässt sich einfach mit Handbesen oder weicher Bürste entfernen. Bei feuchter Verschmutzung ist der Einsatz eines Hochdruckreinigers erforderlich.

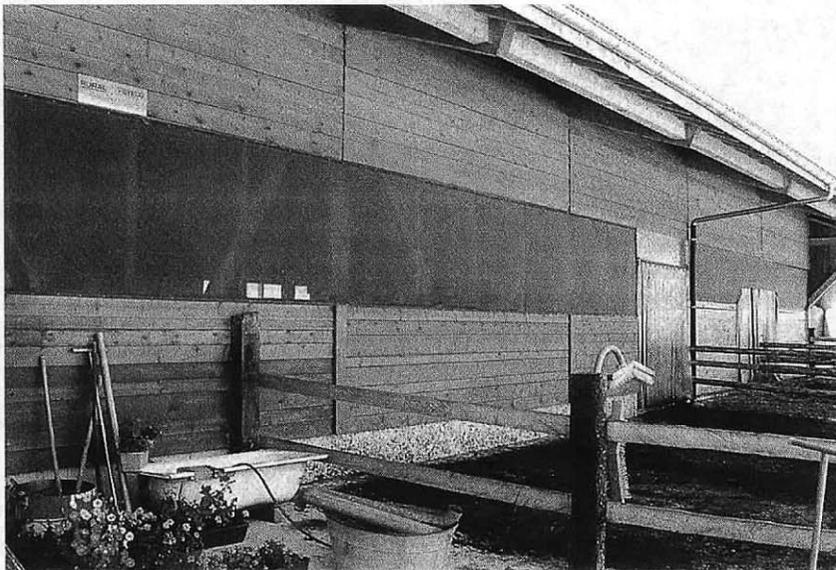


Abb. 5. Die Haltbarkeit von Windschutznetzen hängt vor allem von der Befestigung ab. Scheuerstellen müssen unbedingt vermieden werden.



Abb. 6. Eine Wand kann man auf ganz einfache Weise grossflächig luftdurchlässig machen, indem man zwischen den senkrechten Brettern jeweils einen Schlitz lässt (Spaced Boards).

Schlitzbretter (Spaced Boards)

Eine Wand kann man auf ganz einfache Weise grossflächig luftdurchlässig machen, indem man zwischen den senkrechten Brettern jeweils einen Schlitz lässt (Spaced Boards) (Abb. 6). Je nach Bretter- und Schlitzbreite lässt sich die erwünschte Porosität (offener/geschlossener Teil) der Wand erreichen. Damit allfälliges Niederschlagswasser abtropfen kann, empfiehlt es sich, die Bretter unten auf 45° statt 90° abzulängen. Bei der Schlitzbreite sollte man der Feuchtigkeit des Holzes Rechnung tragen. Tannen- und Fichtenholz schwindet quer zur Faser 0,15 bis 0,30% pro Prozent Holzfeuchteänderung. Das heisst beispielsweise, dass Schlitz zwischen sägefrischen Brettern von 100 mm Breite im Verlaufe der Zeit um 3 bis 5 mm grösser werden können.

Variable Zuluftöffnungen

Da der erforderliche Querschnitt der Zuluftöffnungen in hohem Masse von der Windgeschwindigkeit abhängt, liegt es auf der Hand, den Querschnitt von den jeweiligen Aussenklimabedingungen abhängig zu machen. Dies ist auf einfache Weise mit einer Rollwand möglich (Abb. 7). Solche Rollwände lassen sich zum Schliessen entweder aufziehen oder herunterlassen. Das Aufziehen bietet den Vorteil, dass bei ungünstiger Witterung der minimale Lufteinlass sich unmittelbar unter dem Dach befindet, und somit nicht direkt im Tierbereich. Der untere Bereich kann als geschlossene Plane, der obe-

re Bereich als Windschutznetz ausgeführt sein. In geschützten Lagen kann auch die Rollwand über der ganzen Höhe aus einem Windschutznetz mit hohem Widerstandsbeiwert ($k > 30$) bestehen. Bei geringer Wandhöhe empfiehlt es sich, die Rollwand über der ganzen Höhe als geschlossene Plane auszuführen und die minimale Luftrate durch eine Luftleitplatte dem Dach entlang zu leiten. Allerdings kann so das Tageslicht nur durch das Dach (First) in den Stall gelangen.

Das Schliessen und Öffnen der Rollwand lässt sich mit einem Anemometer und Thermostat in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit und der Ausstemperatur automatisieren. Für Milchvieh und Rinder wird man aus Kostengründen auf eine solche automatische Regelung verzichten; eine Handregelung genügt. Für empfindlichere Tiere wie Kälber und Schweine könnte diese Regelung durchaus sinnvoll sein.

Neben Rollwänden gibt es auch schiebbare Vorhänge, welche bei günstiger Witterung geöffnet werden (Abb. 8).



Abb. 8. Neben Rollwänden gibt es auch schiebbare Vorhänge, welche bei günstiger Witterung aufgemacht werden. Der untere Bereich kann als geschlossene Plane, der obere Bereich als Windschutznetz ausgeführt sein.

Wirkungsgrad der Windbremsen

Muss die Zuluft durch ein Windschutznetz oder durch Spaced Boards erfolgen, entsteht durch Reibung und Querschnittsverengung ein Widerstand. Je nach Ausführungsgrad wird die Windgeschwindigkeit unterschiedlich abgebremst. Beide – Widerstandsbeiwert und Bremswirkung – wurden in einer Versuchsanlage an der FAT gemessen.

Versuchsanlage

Die Versuchsanlage besteht aus einem Windkanal mit einem Querschnitt von $0,8 \times 1,0$ m und einer Gesamtlänge von 6,5 m (Abb. 9 und 14). Ein Lüfter (Fanco 1456 M) erzeugt im Kanal die gewünschte Luftströmung. Vor dem Lüfter befindet sich ein Messventilator mit Drosseleinheit (Fanco FMS 56), welche mittels eines Klimacomputers (Fanco FCTA) die geförderte Luftrate registriert und konstant hält. Hinter dem Windkanal, in einer Distanz von einem Meter, steht eine Wand, in welcher sich eine Öffnung mit gleichem Querschnitt wie der Windkanal befindet. Die Öffnung wird mit der zu überprüfenden Windbremse ausgestattet. Die Wand soll eine Stallwand simulieren,

welche unten durch den Boden, oben durch ein Vordach und seitlich durch eine Blende begrenzt ist. Die seitliche Blende ersetzt den seitlich angrenzenden Luftstrom, welcher ausser im Randbereich der Stallwand wie ein festes Hindernis wirkt. Die Luft kann nur durch den Windschirm oder nach oben entweichen.

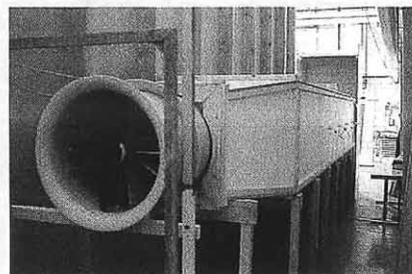


Abb. 9. Windkanal ($6,5 \times 0,8 \times 1$ m) mit Lüfter und Messventilator zur Bestimmung des Luftwiderstands unterschiedlicher Windbremsen.

Hinter der Wand befindet sich ein verschiebbares Gitter, in welchem vier Hitzdrahtanemometer (Schmidt Strömungs-Sensor, 0–20 m/s, 0–35 m/s) zur Ermittlung der Bremswirkung in einer bestimmten Geometrie angeordnet sind (Abb. 10). Die Luftgeschwindigkeiten werden für jede Position während drei Minuten mit Fünf-Sekunden-Interval mittels eines Datenloggers (Grant, 1200 Series, Type 1204)

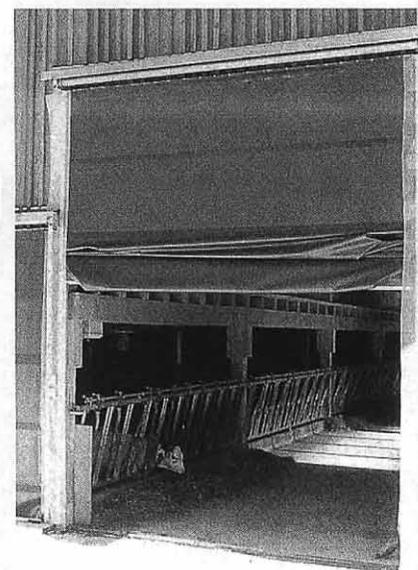


Abb. 7. Rollwände als Windschutz sind nicht billig. Demgegenüber steht der Vorteil, dass man die Lüftungsrate wind- und temperaturabhängig regeln kann.



Abb. 10. Versuchsanlage mit Hitzdrahtanemometern zur Ermittlung der Bremswirkung unterschiedlicher Windbremsen.

aufgezeichnet. Für die Messung des Widerstandsbeiwerts ist der Windschirm direkt in der Ausblasöffnung des Windkanals montiert. Die Messung des statischen Drucks erfolgt mit einem digitalen Manometer (Yokogawa MT110, Genauigkeit 0,1 Pa) an jeweils vier Stellen, 0,5 und 1,5 m vor der Ausblasöffnung. Der gesamte Luftdruck, welcher auf einen Windschutzschirm einwirkt, setzt sich aus dem dynamischen und dem statischen Druck zusammen, welcher sich durch Abbremsung und Umlenkung der Windströmung aufbaut. Aus dem Gesamtdruck kann die äquivalente Windgeschwindigkeit abgeleitet werden.

Widerstandsbeiwert

Der Widerstandsbeiwert bestimmt, wieviel Luft bei einer bestimmten Druckdifferenz durch die Öffnung fliesst. Er lässt sich aus dem gemessenen statischen Druck vor dem Windschirm ableiten und hängt erwartungsgemäss von der Porosität des Materials ab (Tab.1). Weiter spielt der Einschnürungsgrad des Luftstrahls eine wichtige Rolle. Die Einschnürung hängt vom Verhältnis der Öffnungsbreite zur Breite des angrenzenden geschlossenen Teils ab. Bei Spaced

Boards wird der Luftstrahl mehr eingeschnürt als bei Windschutznetzen, was sich in den höheren Widerstandsbeiwerten widerspiegelt.

Der Widerstandsbeiwert ist nicht konstant, sondern steigt leicht bei abnehmenden Luftgeschwindigkeiten an. Dies widerspricht leider dem eigentlichen Zweck der Windbremsen. Sie sollten bei windstillem Wetter den Luftdurchsatz möglichst wenig behindern, dagegen erst mit zunehmender Windgeschwindigkeit ihre Bremswirkung entfalten.

Die getesteten Netze (Abb. 11) weisen sehr grosse Unterschiede bezüglich Widerstandsbeiwert auf. Vor allem das Netz Galebreaker Farmflex HP zeichnet sich durch einen sehr hohen Widerstand und folglich geringe Luftdurchlässigkeit aus. Es eignet sich aus diesem Grunde nur für Gebäude, in welchen sehr grosse Wandflächen zur Verfügung stehen (Abb. 12).

Tabelle 1. Porosität und Widerstandsbeiwerte (bei 2 m/s) verschiedener Windschutztypen

Windschutztyp	Beschreibung	Porosität	Widerstandsbeiwert
Celloplast BV 70	Grünes Polyestergewebe (nicht verschweisst)	58%	3
Celloplast BV 90	Grünes Polyestergewebe, PVC verschweisst, Löcher 1×1 mm, Achsabstand 2 mm	22%	29
Adic BVF	Grünes Polyestergewebe, PVC verschweisst, Löcher 0,9×0,9 mm, Achsabstand 2 mm	21,5%	39
Galebraker Farmflex	Grünes Polyestergewebe, PVC verschweisst, Löcher 0,9×0,9 mm, Achsabstand 2 mm	21,5%	48
Galebraker Farmflex HP	Grünes Polyestergewebe, PVC verschweisst, Löcher 0,9×0,9 mm, Achsabstand 2,9 mm	10,1%	230
Celloplast GV 80	Braunes PE-Gitter mit ovalen Löchern 8×5 mm, Achsabstand 9/12 mm	29,5%	18
Celloplast GV 90	Braunes PE-Gitter mit runden Löchern 8 mm, Achsabstand 15 mm	23,5%	22
Spaced Boards 100 x 25	Holzbretter roh 100×25 mm, Schlitzbreite: 25 mm	20%	50
Spaced Boards 100 x 20	Holzbretter roh 100×25 mm, Schlitzbreite: 20 mm	16,7%	75
Spaced Boards 100 x 15	Holzbretter roh 100×25 mm, Schlitzbreite: 15 mm	13%	100
Offener First ohne Lichthaube, Dachneigung 20°	Firstschlitz mit seitlichen Windabweisern		1,2
Offener First ohne Lichthaube, Dachneigung 30°	Firstschlitz mit seitlichen Windabweisern		0,8
Offener First mit Lichthaube und Windabweisern	Je nach Dachneigung, Abstand Haube zum Dach, Überlappung Dach/Haube		6–12



Abb. 12. Wenn die ganze Umwandung des Stalles mit Windschutznetz ausgebildet wird, muss ein Netz mit hohem Luftwiderstand und guter Bremswirkung gewählt werden.

Die Luftmenge, welche durch den Stall fließt, hängt nicht nur vom Widerstand der Einlassöffnungen, sondern auch von den Abluftöffnungen ab. Eine Abdeckung der Firstöffnungen mit einer Haube vergrößert den Widerstand beträchtlich. Dies ist auf die zweifache Umlenkung des Luftstrahls um mehr als 90 Grad zurückzuführen. Der Widerstandsbeiwert lässt sich ausserdem stark durch die Geometrie der Lichthaube beeinflussen. Insbe-

sondere spielt der senkrechte Abstand zwischen Lichthaube und Dachfläche eine grosse Rolle. Durch Vergrösserung des Abstandes von 20 auf 30 cm konnte im Versuch der Widerstandsbeiwert von 10,3 auf 6,6 gesenkt werden. Es empfiehlt sich, die Firstöffnungen mit Lichthaube grosszügig zu dimensionieren. Wenn die Firstöffnungen seitlich durch Windabweiser begrenzt sind, ist die Gefahr der Wind-eindringung sehr gering.

Bremswirkung

Die Reduktion der Luftgeschwindigkeit hinter der Windbremse ist für die verschiedenen Windschutztypen recht unterschiedlich und nicht immer mit dem Widerstandsbeiwert korreliert (Abb. 13). Spaced Boards, auch mit geringer Schlitzbreite (15 mm), bremsen die Luftströmung erheblich weniger als engmaschige Windschutznetze, obwohl der Widerstandsbeiwert von Spaced Boards grösser ist.

Die Luftgeschwindigkeit ist nicht gleichmässig über den ganzen Querschnitt verteilt. Da im Versuch die Windbremse sich nur 1 m über dem Boden befand, ist der Coanda-Effekt, wobei sich der Luftstrom an den Boden anlehnt, sehr gut sichtbar (Abb. 14). Wie sich die Strahlbahn unter Praxisbedingungen in einem Stallgebäude ausbreitet, hängt von der Anordnung der Öffnungen ab (Höhe über Boden, Abstand zum Dach oder zur Decke). Weiter spielen der Temperaturunterschied innen/ausssen sowie allfällige Hindernisse im Stall eine Rolle. Die Herabsetzung der Luftgeschwindigkeit nach dem Windschirm ist ausserdem durch den Querschnitt und die Gestaltung der Abluftöffnungen bedingt.

Versuchsergebnisse kann man zwar nicht ohne weiteres auf die Praxis übertragen. Sie zeigen aber deutlich, dass je nach Windschutzvorrichtung mehr oder weniger Distanz zur Eintrittsöffnung erforderlich ist. Bei engmaschigen Netzen erreicht man schon in einer Distanz von 2 m eine Herabsetzung der Windschutzgeschwindigkeit um 90%, beim Galebreaker Farmflex HP sogar um 96%. Bei Spaced Boards (Schlitzweite 15 mm) braucht es für die gleiche Reduktion (90%) etwa 4 m.

Windgeschwindigkeit (%) hinter der Windbremse.

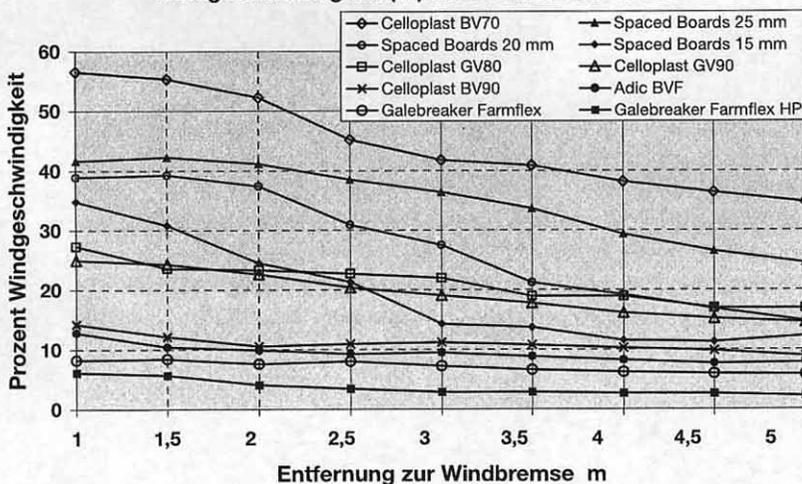
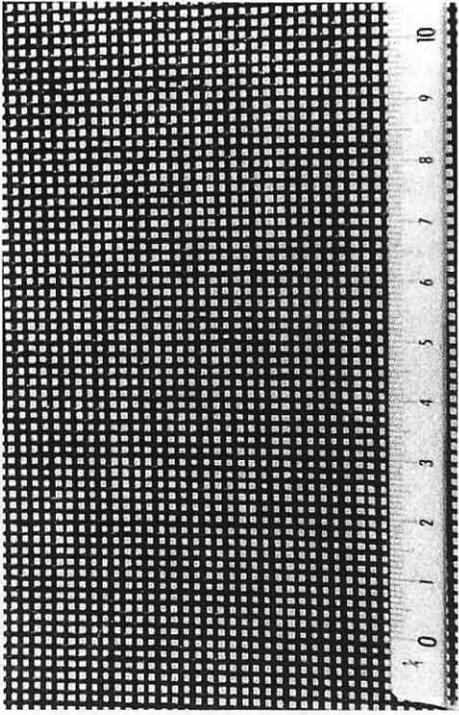
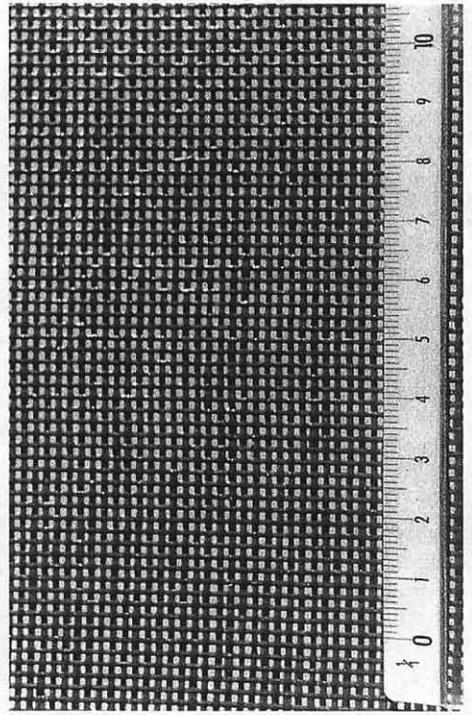


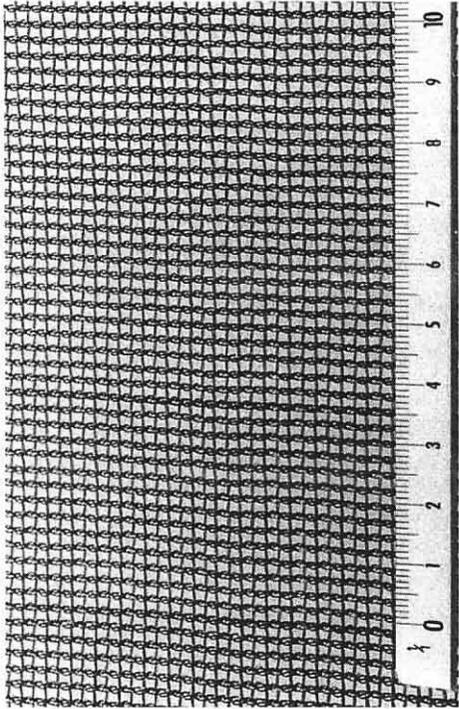
Abb. 13. Die Reduktion der Windgeschwindigkeit ist je nach Maschen- und Schlitzbreite unterschiedlich gross.



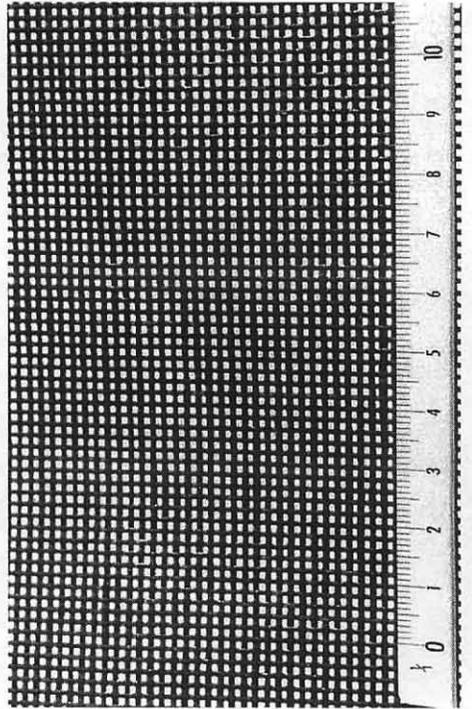
b) Celloplast BV90,
Widerstandsbeiwert: 29,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 89%



d) Galebreaker Farmflex,
Widerstandsbeiwert: 48,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 92%

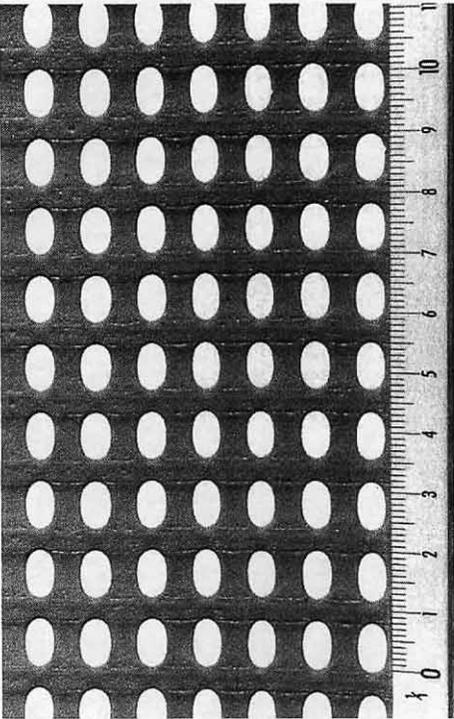


a) Celloplast BV70,
Widerstandsbeiwert: 3,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 48%

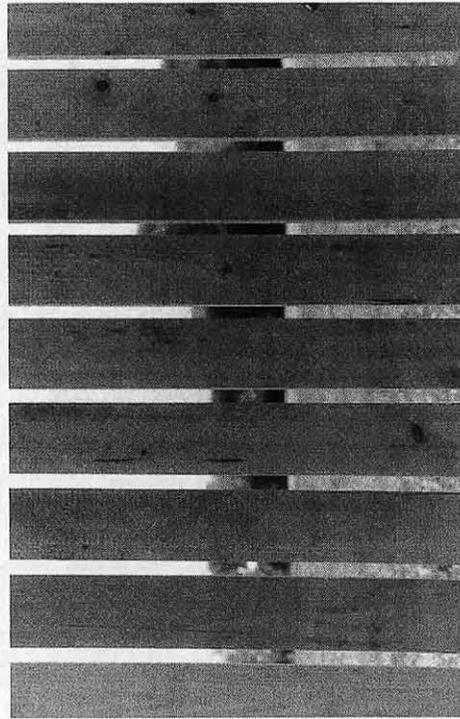


c) Adic BVF,
Widerstandsbeiwert: 39,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 90%

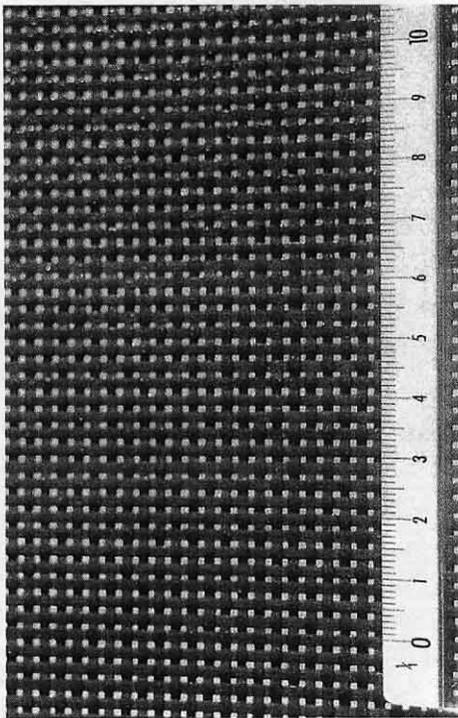
Abb. 11. Getestete Windschutznetze, -gitter und Spaced Boards.



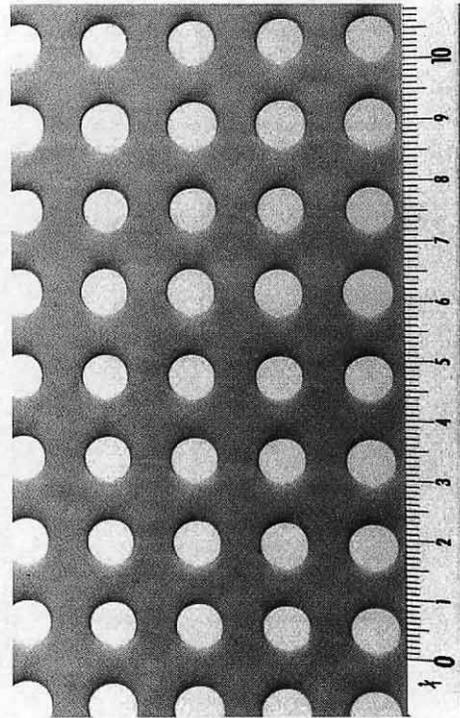
f) Celloplast GV80,
Widerstandsbeiwert: 18,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 77%



h) Spaced Boards 100 x 25
Schlitzbreite 25 mm: Widerstandsbeiwert: 50
Bremswirkung in 2 m Abstand: 59%
Schlitzbreite 20 mm: Widerstandsbeiwert: 75
Bremswirkung in 2 m Abstand: 63%
Schlitzbreite 15 mm: Widerstandsbeiwert: 100
Bremswirkung in 2 m Abstand: 75%

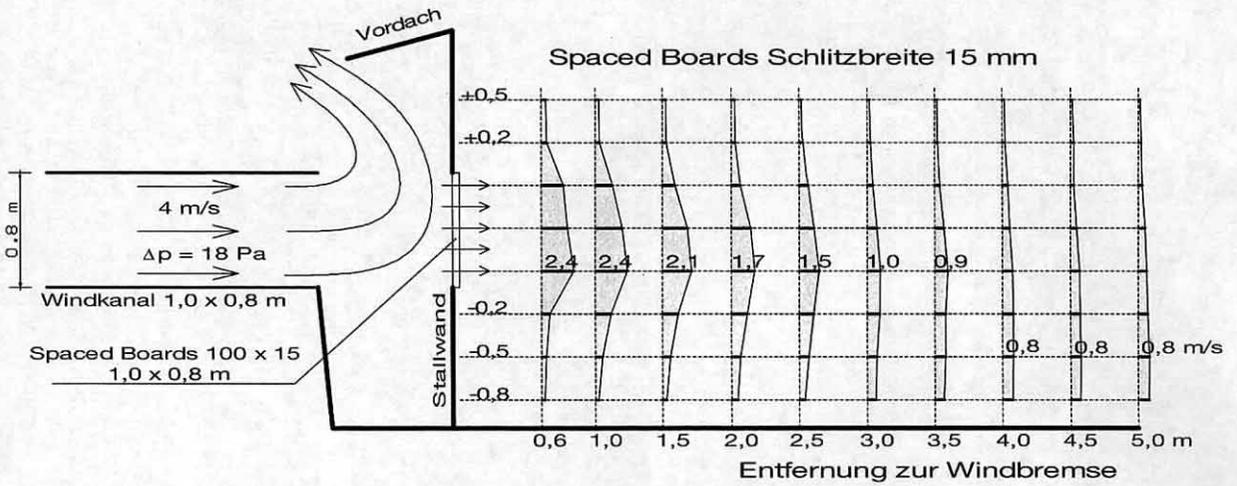


e) Galebreaker Farmflex HP,
Widerstandsbeiwert: 230,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 96%

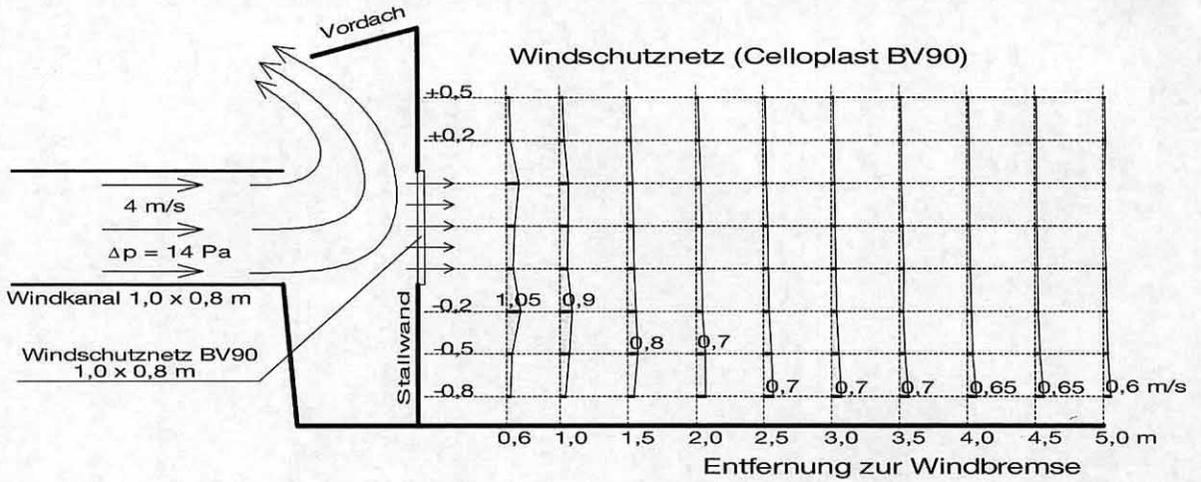


g) Celloplast GV90,
Widerstandsbeiwert: 22,
Bremswirkung in 2 m Abstand: 78%

Luftgeschwindigkeitsprofil hinter der Windbremse (m/s)



Entsprechende Windgeschwindigkeit vor der Windbremse = 7 m/s



Entsprechende Windgeschwindigkeit vor dem Netz = 6,5 m/s

Abb. 14. Das Luftgeschwindigkeitsprofil zeigt, dass Windschutznetze Spaced Boards hinsichtlich Bremswirkung weit überlegen sind.

Dimensionierung der Zu- und Abluftöffnungen

Erforderliche Lüftungsrate

Die minimale Lüftungsrate soll im Winter so bemessen sein, dass die von den Tieren produzierte sowie aus nasen Laufflächen, Futter und Einstreue entstandene Wasserdampfmenge abgeführt wird, ohne dass es zu Bauschäden kommt. Ausserdem darf die Konzentration an Stallgasen (vor allem CO_2 und NH_3) die Grenzwerte nicht überschreiten.

Hohe Gaskonzentrationen sind in der Regel in Aussenklimaställen kein Problem. Da wegen des kleinen Temperaturunterschiedes innen/aussen nur geringe Wasserdampfmengen pro m^3 Luft abgeführt werden können, sind auch im Winter grosse Lüftungsraten erforderlich. Diese Luftmengen sollen möglichst mit geringer Geschwindigkeit in Tiernähe gebracht werden.

Die erforderliche Lüftungsrate lässt sich als Funktion der Wärmedämmung ausdrücken (Abb. 15). Man bemerkt, dass für nichtwärmegeämmte Dachflächen (zum Beispiel Eternit, k-Wert = $5,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) bei einer Temperatur und relativen Feuchtigkeit aussen von 0°C bzw. 90% eine Lüftungsrate von mehr als $700 \text{ m}^3/\text{h}$ und GVE erforderlich ist. Dämmt man das Dach schwach, zum Beispiel mit $4,5 \text{ cm}$ Massivholz (k-Wert $1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), kann man die Lüftungsrate ohne Gefahr auf Kondenswasserbildung auf einen Viertel ($180 \text{ m}^3/\text{h}$ GVE) verringern. Besitzt das Dach einen k-Wert von $0,65 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (4 cm PUR), liesse sich die Lüftungsrate theoretisch, ohne dass Gefahr der Kondenswasserbildung entsteht, auf $70 \text{ m}^3/\text{h}$ und GVE reduzieren. Dies gilt allerdings nur, wenn auch die Wände entsprechend isoliert sind.

Je geringer die Lüftungsrate, um so höher die CO_2 -Konzentration. Eine CO_2 -Konzentration von 3000 ppm , wie sie allgemein als Grenzwert gilt, ist zwar an sich nicht schädlich. Sie ist aber erfahrungsgemäss meistens mit einer zu hohen Keimbelastung verbunden. Längerfristig soll sie darum 2000 ppm ($0,2$ Volumen-Prozent) nicht überschreiten. Dies erfordert für Rindvieh eine minimale Lüftungsrate von etwa $130 \text{ m}^3/\text{h}$ und GVE.

Mit jeder Wärmedämmung ist im Hin-

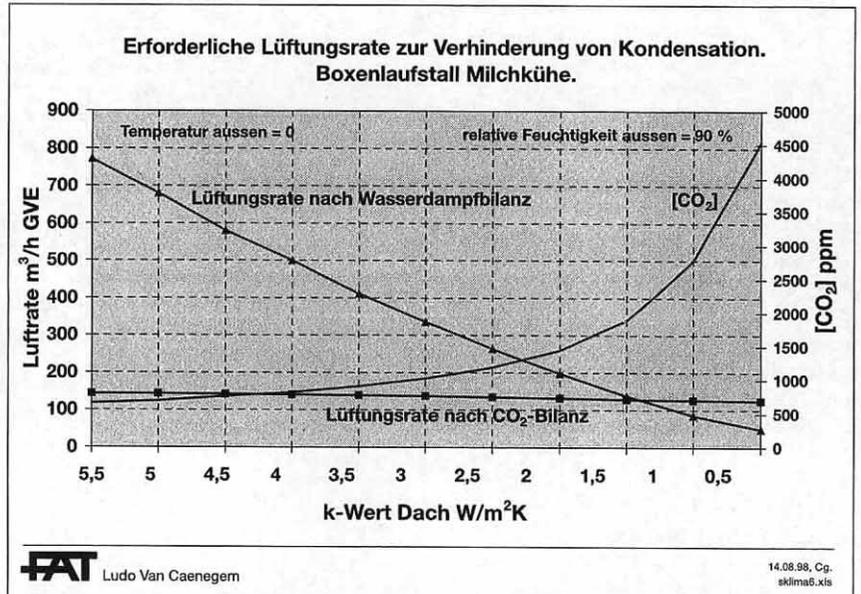


Abb. 15. Nichtwärmegeämmte Dächer (k-Wert $> 5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) erfordern im Winter sehr hohe Lüftungsraten zur Verhinderung von Kondenswasserbildung.

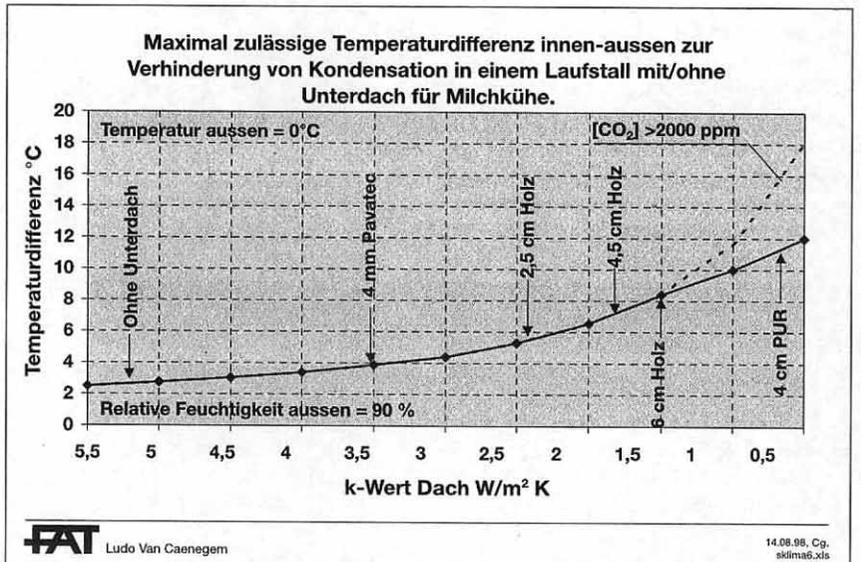


Abb. 16. Mit jeder Wärmedämmung ist im Hinblick auf Kondensation auch eine maximal zulässige Temperaturdifferenz innen/aussen verbunden.

Tabelle 2. Maximale Konzentration für Kohlenstoffdioxid und Ammoniak im Stall

Stallgas	Maximale Konzentration in ppm (nach CIGR ¹)
Kohlenstoffdioxid (CO_2)	3000
Ammoniak (NH_3)	20

¹ Commission Internationale du Génie Rural

blick auf Kondensation auch eine maximal zulässige Temperaturdifferenz innen/aussen verbunden (Abb. 16). Sinkt der k-Wert unter $1,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, ist nicht mehr die Gefahr der Kondenswasserbildung, sondern die CO_2 -Konzentration für die maximal zulässige Temperaturdifferenz massgebend. Es zeigt sich, dass auch in gut isolierten Boxenlaufställen bei einer Aussentemperatur von $0 \text{ }^\circ\text{C}$ die Stalltemperatur über längere Zeit $12 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht übersteigen soll. Nur bei extrem tiefen Aussentemperaturen ($< -10 \text{ }^\circ\text{C}$) sind wegen der Frostgefahr kurzfristig höhere Temperaturdifferenzen tolerierbar.

Luftwechsel-Mechanismen

Für die natürliche Durchlüftung des Stalles muss eine Druckdifferenz zwischen Zu- und Abluftöffnungen vorhanden sein. Diese Druckdifferenz entsteht einerseits durch einen Temperaturunterschied innen/aussen, andererseits durch Windeinwirkung. Da der Temperaturunterschied innen/aussen nur gering ist, entstehen in Aussenklimaställen durch Luftdichteunterschied innen/aussen nur sehr geringe Druckdifferenzen (zum Beispiel $0,5 \text{ Pa}$ bei einem Temperaturunterschied innen/aussen von $3 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Höhendifferenz zwischen Luftein- und -austritt von 4 m). Mit dieser geringen Druckdifferenz ist eine schwache Luftsteiggeschwindigkeit verbunden. Damit der Luftwechsel auch bei windstillem Wetter ausreicht, sind deshalb grosse Lüftungsöffnungen erforderlich.

Sobald Windströmungen auf den Stall einwirken, nimmt der Druckunterschied innen/aussen stark zu. Bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s (36 km/h) beträgt der Staudruck bei 400 m über Meer etwa 60 Pa (Abb. 17).

Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen

Zuluft und Abluft durch die gleiche Wandöffnung

Muss die Zu- und Abluft durch die gleiche Öffnung, strömt im unteren Bereich die Luft in den Raum herein, im oberen Bereich hinaus. Dieser Fall tritt ein, wenn lediglich eine Wand ganz-

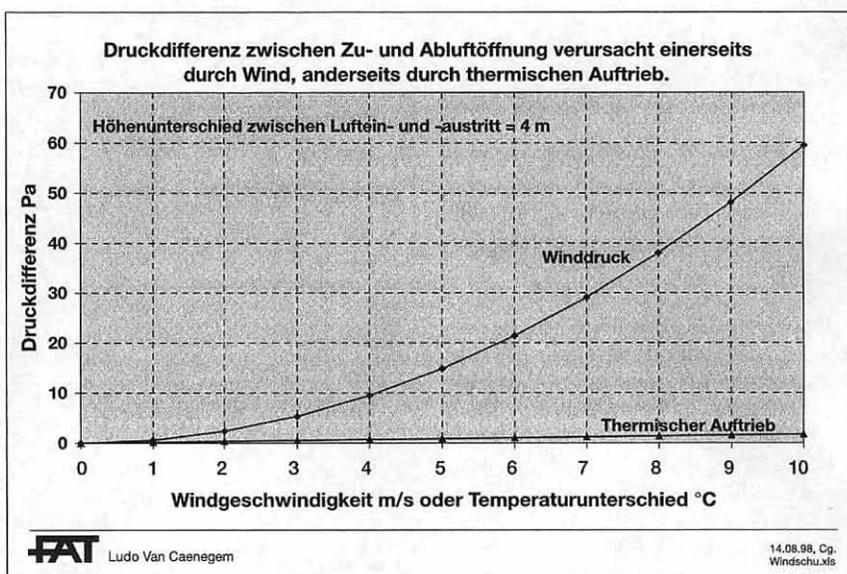


Abb. 17. Die Druckdifferenz, erzeugt durch thermischen Auftrieb in Aussenklimaställen, ist im Vergleich zum Winddruck nur sehr bescheiden

flächig oder über einen Teil der Höhe mit einem Windschutznetz ausgebildet ist und keine sonstigen Öffnungen vorhanden sind. Für eine rechteckige Öffnung lässt sich der Luftstrom durch thermischen Auftrieb wie folgt bestimmen:

$$V_t = \frac{A}{3} \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \Delta T}{T_i \cdot (2k+1)}} \cdot 3600 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (I)$$

V_t : Lüftungsrate durch thermischen Auftrieb (m^3/h)

h : Höhe der Wandöffnung (m)

ΔT : Temperaturunterschied innen/aussen (K)

T_i : Innentemperatur (K)

k : Widerstandsbeiwert der Wandöffnung

A : Querschnitt Wandöffnung (m^2)

Hieraus lässt sich der erforderliche Querschnitt der Öffnung ableiten:

$$A = 3 \cdot V_{\min} \cdot \sqrt{\frac{T_i \cdot (2k+1)}{2 \cdot g \cdot h \cdot \Delta T \cdot 3600^2}} \text{ (m}^2) \quad (II)$$

V_{\min} : Minimal erforderliche Lüftungsrate (m^3/h)

Dieses einseitige Lüftungssystem eignet sich nicht für Hallenställe mit Satteldach ohne gute Wärmedämmung. Es besteht die Gefahr, dass sich relativ warme Luft im Firstbereich staut und dort am nichtisolierten Dach oder am

nur schwach isolierten Unterdach zu Kondenswasserbildung führt.

Zuluftöffnung in der Längswand, Abluft durch offenen First

Sind die Zu- und Abluftöffnungen (A_1 und A_2) um einen Höhenunterschied ΔH von einander getrennt, lässt sich die Lüftungsrate auf der windzugewandten Seite wie folgt berechnen:

$$V_{\text{gesamt}} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta H \cdot \frac{\Delta T}{T_i} + v_w^2}{\frac{k_1}{A_1^2} + \frac{1+k_2}{A_2^2}}} \cdot 3600 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (III)$$

mit:

V_{gesamt} : Lüftungsrate durch thermischen Auftrieb und Wind (m^3/h)

ΔH : Höhenunterschied zwischen Zu- und Abluftöffnungen (m)

A_1 : Querschnitt der Zuluftöffnungen (m^2)

A_2 : Querschnitt der Abluftöffnungen (m^2)

k_1 : Widerstandsbeiwert der Zuluftöffnungen

k_2 : Widerstandsbeiwert der Abluftöffnungen

v_w : Windgeschwindigkeit (m/s)

Aus (III) lässt sich die Gleichung für A_1 ableiten:

$$A_1 = \sqrt{\frac{k_1}{(2 \cdot g \cdot \Delta H \cdot \frac{\Delta T}{T_1} + v_w^2) \cdot 3600^2} \cdot \frac{1 + k_2}{V_{min}^2} \cdot A_2^2} \quad (IV)$$

V_{min} : Minimal erforderliche Lüftungsrate (m^3/h)

In vielen Regionen treten im Winter häufig windstille Perioden auf. In diesem Fall muss in der Gleichung (IV) $v_w = 0$ eingesetzt werden. In windreichen Regionen kann je nach Exposition für v_w mit 0,5 bis 1 m/s gerechnet werden. In diesem Falle wird der erforderliche Querschnitt der Zuluftöffnungen erheblich kleiner.

Man bemerkt, dass der Querschnitt der Zuluftöffnungen ebenfalls durch die Grösse und den Widerstand der Abluftöffnungen bestimmt ist. Für A_2 (Querschnitt der Abluftöffnung) kann man für Aussenklimaställe (Rindvieh) ohne Dachdämmung und mit offenem First ohne Abdeckung 0,30 bis 0,35 m^2/GVE annehmen. Wird die Firstöffnung zu klein dimensioniert ($< 0,3 m^2/GVE$), reicht die thermische Auftriebskraft nicht mehr aus, um die gesamte Luftmenge durch den First entweichen zu lassen. Deckt man den First mit einer Lichthaube ab, muss der Querschnitt wegen des Widerstandes entsprechend erhöht werden. Ist ein Unterdach vorhanden, kann je nach Wärmedämmung der Firstquerschnitt entsprechend kleiner sein (Tab. 3).

Eine weitere Unbekannte in der Gleichung (IV) ist ΔH (Höhendifferenz zwischen Zu- und Abluftöffnung). Da die-

Tabelle 4. Berechnungsbeispiel (Annahmen)

Aussentemperatur	°C	0	Lüftungsrate m^3/h GVE	700
Aussentemperatur	K	273	Anzahl GVE	24
Stalltemperatur	°C	3	Lüftungsrate m^3/h 24 GVE	16 800
Stalltemperatur	K	276	k_2 First ohne Lichthaube	1,2
Temperaturunterschied ΔT	K	3	Dachneigung °	20
Länge Zuluftöffnungen	m	20	Windgeschwindigkeit m/s	0
Höhenunterschied Traufe-First	m	4		

ser Faktor von der Höhe der Zuluftöffnung abhängt, welche selber von vornherein nicht bekannt ist, lässt sich der Querschnitt der Zuluftöffnungen (A_1) nicht durch eine einmalige Lösung der Gleichung (III) finden, sondern die Berechnung muss verschiedene Male wiederholt werden (Iterationsverfahren). Praktisch geht man am besten wie folgt vor: In einem ersten Schritt setzt man für ΔH in Formel (IV) den Höhenunterschied zwischen Traufe und First ein. Aus dem gefundenen Wert für A_1 berechnet man die halbe Höhe (h) der Zuluftöffnungen und zählt sie zum anfänglichen Wert für ΔH . Mit dem neuen Wert ($\Delta H' = \Delta H + h/2$) wiederholt man die Berechnung nach Formel (IV). Der neue Wert (A_1') ist kleiner als der erst gefundene Wert (A_1). Aus A_1' lässt sich wiederum die Höhe der Zuluftöffnungen (h') und $\Delta H''$ berechnen. Indem man diese Berechnung einige Male wiederholt, nähert man sich dem exakten Wert für den Querschnitt der Zuluftöffnungen. Für praktische Zwecke genügen zwei Wiederholungen. Ein Beispiel erläutert dieses Vorgehen.

Berechnungsbeispiel

Boxenlaufstall für 24 Milchkühe ohne Dachwärmedämmung. Der First ist über der ganzen Länge offen (ohne Lichthaube). Gefragt ist der erforderliche Querschnitt der Abluft- und Zuluftöffnungen für unterschiedliche Windschutzvorrichtungen (bei windstillen Verhältnissen). Die verfügbare Länge der Zuluftöffnungen in jeder Längswand beträgt 20 m, der Höhenunterschied zwischen First und Traufe 4 m.

Den früheren Angaben entsprechend wird die Berechnung für A_1 (Gleichung IV) zwei Mal wiederholt. A_1'' bzw. h'' stellen das Endresultat für die Fläche der Zuluftöffnungen bzw. deren Höhe dar.

Zuerst berechnet man den Querschnitt der Abluftöffnungen (First). Da es sich um ein Dach ohne Wärmedämmung und einen offenen First ohne Abdeckung handelt, kann man 0,35 m^2/GVE (Tab. 3) annehmen.

$$A_2 = \text{Anzahl GVE} \times 0,35 = 24 \times 0,35 = 8,4 m^2$$

Dieser Wert (A_2) wird in Gleichung (IV) eingesetzt. Die Werte der anderen Parameter sind Tabelle 4 zu entnehmen. Teilt man nach der (ersten) Berechnung A_1 durch die verfügbare Stalllänge (2×20 m), erhält man einen ersten Wert für die erforderliche Höhe der Zuluftöffnung (h). Der korrigierte Wert für den Höhenunterschied zwischen Zu- und Abluftöffnung errechnet sich aus: $\Delta H' = \Delta H + h/2$.

Eine Wiederholung der Berechnung nach Gleichung (IV) mit $\Delta H'$ ergibt A_1' und h' .

Daraus lässt sich $\Delta H''$ berechnen. Eine erneute Wiederholung der Berechnung ergibt die Endwerte für den

Tabelle 3. Theoretisch erforderlicher Querschnitt der Firstöffnung ohne und mit Lichthaube ($k = 7$) zur Verhinderung von Kondenswasserbildung in Abhängigkeit des Unterdaches in einem Milchviehlaufstall (Höhenunterschied zwischen Zu- und Abluftöffnung 4 m, windstilles Wetter)

			Ohne Lichthaube	Mit Lichthaube
Unterdach	ΔT innen/aussen °C	Min. Lüftungsrate m^3/h GVE	Firstöffnung m^2/GVE	Firstöffnung m^2/GVE
Ohne	3	700	0,35	0,6
4 mm Pavatec	4	400	0,20	0,32
2,5 cm Tannenholz	5,5	260	0,12	0,18
4,5 cm Tannenholz	7	180	0,08	0,12

Tabelle 5. Berechnungsbeispiel. Ergebnisse der Berechnungen nach Gleichung (IV)

Windschutzvarianten	k_1	ΔH m	A_1 m ²	h m	$\Delta H'$ m	A'_1 m ²	h' m	$\Delta H''$ m	A''_1 m ²	h'' m
Windschutznetz 1	30	4,0	61,3	1,53	4,77	44,0	1,10	4,55	47,4	1,18
Windschutznetz 2	230	4,0	169,7	4,24	6,12	89,4	2,24	5,12	110,2	2,76
Spaced Boards 100×25 mm, Schlitz 25 mm	50	4,0	79,1	1,98	4,99	53,2	1,33	4,66	58,7	1,47
Spaced Boards 100×25 mm, Schlitz 20 mm	75	4,0	96,9	2,42	5,21	61,5	1,54	4,77	69,5	1,74
Spaced Boards 100×25 mm, Schlitz 15 mm	100	4,0	111,9	2,80	5,40	67,9	1,70	4,85	78,3	1,96
Traufschlitz mit Luftleitplatte	1	4,0	11,2	0,28	4,14	10,3	0,26	4,13	10,4	0,26

Legende:

- k_1 : Widerstandsbeiwert der Wandöffnung
- ΔH : Höhenunterschied zwischen Zu- und Abluftöffnungen (m)
- A_1, A'_1, A''_1 : Querschnitt der Zuluftöffnungen (m)
- h, h', h'' : Höhe der Zuluftöffnungen (m)

Querschnitt (A''_1) und die Höhe (h'') der Zuluftöffnungen (Tab. 5).

Man bemerkt, dass bei einer Trauf-First-Lüftung die Höhe der Traufschlitzöffnungen minimal 26 cm sein muss, um ein nichtwärmegedämmtes Dach bei windstillem Wetter und tiefen Aussentemperaturen kondensationsfrei zu halten. Liegt die Zuluftöffnung auf der Seite der vorherrschenden Windrichtung, reicht in der Regel eine geringere Öffnungshöhe. Dank einer durch Windeinwirkung erhöhten Luft-rate kann in diesem Fall die Dachunterseite regelmässig abtrocknen, und es wird nicht zu Bauschäden kommen. Je nach Widerstandsbeiwert beanspruchten Windschutznetze und Spaced Boards unterschiedliche Flächen. Die Wahl der Windschutzvorrichtung hängt neben der erwünschten Bremswirkung von den verfügbaren Wandöffnungen ab.

Die Luftzufuhr kann durch eine Seite oder durch beide Längsseiten erfolgen.

Wegen der beschränkten Eindringtiefe eignet sich die einseitige Luftzufuhr nur für Stallräume, bei welchen die Breite nicht grösser als 4,5 Mal die Raumhöhe ist. Die weiter entfernten Bereiche werden nur ungenügend von Frischluft durchmisch.

Windeinwirkung und thermischer Auftrieb können sich gegenseitig verstärken oder entgegenwirken (Zuluftöffnungen auf der Leeseite). Im letzteren Fall kann es zeitweise auch bei einem

günstigen Breite-Höhe-Verhältnis zu unzureichendem Luftwechsel kommen, wenn die Luftzufuhr einseitig erfolgt.

Damit die Luft nicht durch den offenen First eintritt, ist dafür zu sorgen, dass im Auslassbereich durch Windströmung Unterdruck entsteht. Dies kann man erreichen, indem man beidseitig des Firstes einen Windabweiser montiert (Abb. 18). Der Abstand zwischen Windabweiser und Firstabdeckung soll etwa demjenigen zwischen Firstabdeckung und Dachplatten entsprechen. Verstellbare Firstöffnungen sind für Rindviehställe nicht sinnvoll. Wenn eine Regelung notwendig ist, kann sie besser im Bereich der Einlassöffnungen vorgenommen werden. Je nachdem der First abgedeckt oder offen ist, entsteht mehr oder weniger Widerstand. Eine einfache Möglichkeit für

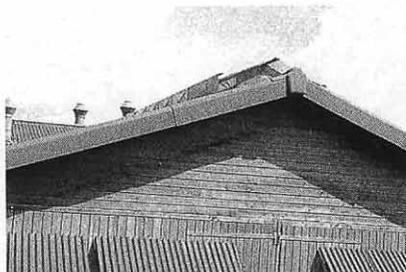


Abb. 18. Damit die Luft nicht durch den offenen First eintritt, wird beidseitig des Firstes ein Windabweiser montiert.

den Luftaustritt bietet auch das Sheddach. Da die Luft hier durch eine senkrechte Öffnung aus dem Stall austritt, eignen sich solche Lösungen nur, wenn die Öffnung gegen die meistens windabgewandte Seite ausgerichtet werden kann.

Bei seitlich angebauten Ställen (Abb. 19) können angehobene Dachplatten mit Windabweiser für eine gute Entlüftung sorgen. Ist die Dachplatte transparent und kein Unterdach vorhanden, lässt sich gleichzeitig die Lichtversorgung im Stall verbessern.

Einfluss der Windschutzvorrichtung auf die Wandkosten

Ein objektiver Vergleich zwischen verschiedenen Windschutzvorrichtungen darf sich nicht nur auf die Investitionen beziehen, sondern muss sich vielmehr an den Jahreskosten messen. Ausserdem soll jedes System auf seine Vor- und Nachteile bezüglich Luftführung, Lichteinfall und Eigenleistungspotential überprüft werden.

Windschutznetze kosten je nach Typ, Konfektionierung (Saum, Ösen), Menge und Zubehör (Spanngurten, Ratschen, Klemmp Profile) zwischen Fr. 7.– und 30.– pro m² (Materialkosten). Rollwände belaufen sich je nach Grösse und Automatisierung auf Fr. 80.– bis 120.– pro m², schiebbare Windschutzvorhänge auf Fr. 40.– bis 90.– pro m². Bei einem aktuellen Holzpreis von Fr. 400.– pro m³ beträgt der Materialpreis von Spaced Boards etwa Fr. 10.– pro m².



Abb. 19. Bei seitlich angebauten Ställen sorgen angehobene Dachplatten mit Windabweiser für eine gute Entlüftung.

Tabelle 6. Annahmen für Einheitspreise, Abschreibung, Reparatur, Versicherung und Jahreskosten

	Einheit	Einheitspreise		Ansätze (%)				
		Materialkosten Fr.	Unternehmerpreise Fr.	Abschr. Dauer Jahre	Abschreibung+ Verzinsung	Reparatur	Versicherung	Jahreskosten
Holzwand (Chaletschalung)	m ²	40	70	30	6,1%	1,0%	0,1%	7,2%
Stütze Dachbinder (Starrahmen)	m	13	32	30	6,1%	1,0%	0,1%	7,2%
Lichtband (Plexiglas)	m ²	100	130	15	9,3%	1,0%	0,1%	10,4%
Windschutznetz + Befestigung	m ²	18	30	10	12,6%	2,0%	0,1%	14,7%
Spaced Boards	m ²	10	40	30	6,1%	1,0%	0,1%	7,2%
Rollwand	m ²	100	130	15	9,3%	2,0%	0,1%	11,4%
Luftleitplatte	m ²	35	55	30	6,1%	1,0%	0,1%	7,2%

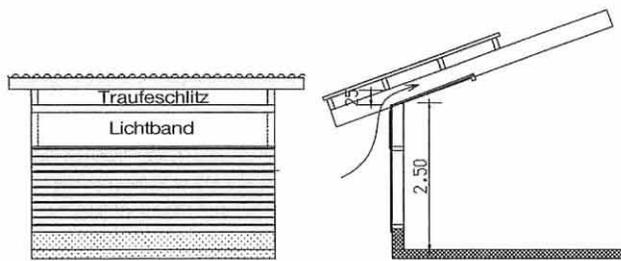
Ein Vergleich mit vier Varianten (Tab. 6 und 7, Abb. 20) zeigt, dass die Wand mit Windschutznetz (Widerstandsfaktor 30) die niedrigsten Investitionen aufweist und etwa die gleichen Jahreskosten wie die Variante mit Spaced Boards verursacht. Diese Berechnungen stützen sich auf eine Lebensdauer

für Windschutznetze von zehn Jahren. Dies dürfte hinsichtlich UV-Stabilität kein Problem sein. Wichtig ist vor allem eine gute Befestigung. Eine gute Kraftverteilung und reibungsfreie Aufhängung sind die wesentlichsten Voraussetzungen für eine Langlebigkeit. In dieser Hinsicht könnten sich die zu-

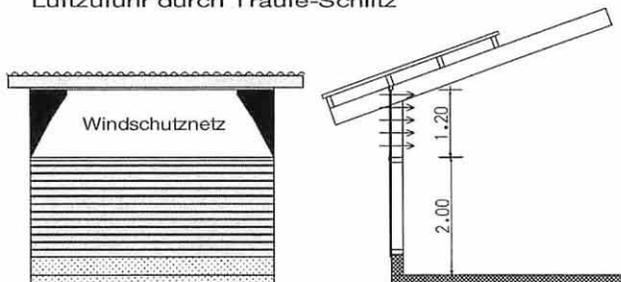
sätzlichen Kosten bei der Anschaffung für verstärkte Ränder und eingenähte Trägerriemen längerfristig lohnen. Sie sind unbedingt notwendig, wenn das Netz regelmässig (im Sommer) entfernt wird. Alle Varianten sind so dimensioniert, dass sie etwa die gleiche Lüftungsrate

Tabelle 7. Investitionen und Jahreskosten pro Laufmeter Wand (ab Sockel) für verschiedene Zuluftsysteme

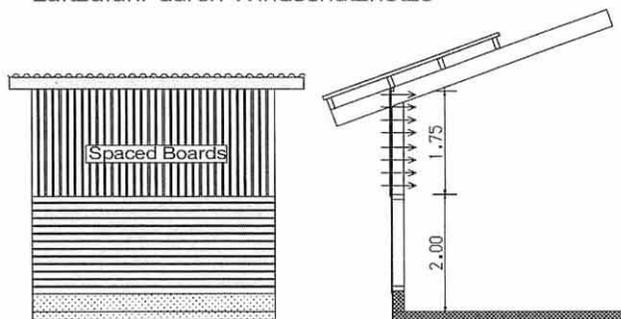
	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4				
		Beschreibung							
Luftzufuhr		Traufeschlitz mit Luftleitplatte	Windschutznetz (25 %)	Spaced boards 20 mm	Rollwand				
Tageslicht		Lichtband in der Wand, First	Windschutznetz, First	Spaced Boards, First	Bei geschlossener Rollwand nur durch First				
Wandhöhe ab Boden	m	2,75	3,2	3,75	2,75				
Höhe geschlossene Holzwand	m	1,6	1,7	1,7	0,95				
Höhe Zuluftöffnung	m	0,25	1,2	1,75	0,1 bis 1,5				
Länge Luftleitplatte	m	1,5							
Höhe Lichtband (Plexi oder Glas)	m	0,6							
Äquivalente freie Lichtöffnung	m ² /m	0,54	0,30	0,29	0 bis 1.4				
		Baukosten							
Investitionen		Material	Gesamt	Material	Gesamt	Material	Gesamt	Material	Gesamt
Geschlossene Holzwand	Fr./m	64	112	68	119	68	119	38	67
Stütze Dachbinder	Fr./m	35	88	41	102	48	120	35	88
Zuluftöffnung	Fr./m	53	83	22	36	18	70	150	195
Lichtband	Fr./m	60	78						
Gesamtinvestitionen Wand ab Sockel	Fr./m	212	361	131	257	134	309	223	350
		Jahreskosten							
Geschlossene Holzwand	Fr./m	4,6	8,1	4,9	8,6	4,9	8,6	2,8	4,8
Stütze Dachbinder	Fr./m	2,5	6,4	3,0	7,4	3,5	8,7	2,5	6,4
Zuluftöffnung	Fr./m	3,8	6,0	3,2	5,3	1,3	5,1	17,1	22,3
Lichtband	Fr./m	6,2	8,1						
Gesamtjahreskosten Wand ab Sockel	Fr./m	17,2	28,6	11,1	21,3	9,7	22,4	22,4	33,4
Gesamtjahreskosten Wand ab Sockel	%	100 %	100 %	64 %	75 %	56 %	78 %	130 %	117 %
		Beurteilung							
Witterungsabhängige Regelung der Zuluftöffnungen		Beschränkt möglich		Keine Regelung		Keine Regelung		Regelung von Hand oder automatisch möglich	
Luftzuggefahr (Kaltluftabfall an der Wand)		Gering		Gross		Gross		Gering	
Reduktion der Luftgeschwindigkeit in 2 m Distanz von der Wand				90 %		75 %			
Abtrocknung Dachunterseite Winter		Gut (gerichteter Luftstrom)		Mässig		Mässig		Gut (gerichteter Luftstrom)	
Querlüftung Sommer		Nicht möglich		Nicht möglich		Nicht möglich		Möglich	
Tageslicht durch Wand	%	100 %		56 %		54 %		0 bis 250 %	
Eigenleistungspotential	%	41 %		49 %		57 %		36 %	



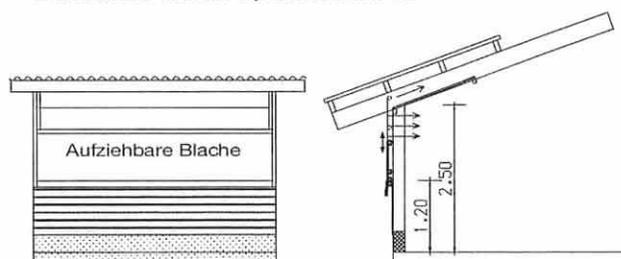
Luftzufuhr durch Traufe-Schlitz



Luftzufuhr durch Windschutznetze



Luftzufuhr durch Spaced Boards



Luftzufuhr durch aufrollbare Blache



Ludo Van Caenegem

14.08.98 Cg

CAD/Abb. 20

Abb. 20. Ausbildung der Zuluftöffnungen in vier verschiedenen Varianten (siehe Tab. 7); jede hat den gleichen Luftdurchsatz, jedoch nicht die gleiche Bremswirkung.

ermöglichen. Bezieht sich der Vergleich auf die reinen Materialkosten, ist der Vorteil von Netzen gegenüber Spaced Boards nur sehr gering. Bei Verwendung von eigenem Holz und bei Eigenleistung dürfte die Variante mit Spaced Boards, obwohl die Wandhöhe in diesem Beispiel wegen des grösseren Widerstandsfaktors höher sein muss, am günstigsten sein. Bei Windschutznetzen darf der Abstand zu den Tieren dank der guten Bremswirkung geringer sein als bei Spaced Boards.

Die Variante mit Rollwand ist erheblich teurer. Sie weist auch das niedrigste Eigenleistungspotential auf (Unternehmerpreise). Demgegenüber steht der Vorteil, dass man die Lüftungsrate wind- und temperaturabhängig regeln kann. Vor allem die Möglichkeit, bei warmem Wetter die ganze Stallwand mit geringem Aufwand rasch zu öffnen, dürfte für Hochleistungstiere eine beträchtliche Komfortverbesserung bedeuten.

Schlussfolgerungen

Ein geeigneter Windschutz soll einerseits verhindern, dass im Winter zu hohe Luftgeschwindigkeiten im Tierbereich auftreten, darf andererseits bei windstillen Verhältnissen einen minimalen Luftaustausch nicht verhindern. Die Grösse der minimal erforderlichen Lüftungsrate hängt in Aussenklimaställen in erster Linie von der Dachhaut ab. Ist ein Unterdach vorhanden, kann der Luftwechsel stark reduziert werden, ohne dass die Gefahr der Kondenswasserbildung entsteht. In vielen Regionen der Schweiz liegt die mittlere Windgeschwindigkeit während 25% der Zeit unter 0,5 m/s. Dies bedeutet, dass während dieser Zeit der thermische Auftrieb (Schwerkraftlüftung) alleine den minimalen Luftwechsel im Stall bewerkstelligen muss. Andererseits kommen ebenfalls während 25% der Zeit Spitzengeschwindigkeiten über 5 m/s vor. Eine windunabhängige natürliche Lüftung auf passive Art setzt voraus, dass der Luftwiderstand des Windschutzes proportional zur Luftgeschwindigkeit anwächst. Dies ist leider bei Windschutznetzen und Spaced Boards nicht der Fall.

Will man die Lüftungsrate unabhängig von der Windgeschwindigkeit regeln, kommt man nicht um eine aktive Anpassung des Öffnungsquerschnitts herum. Eine kontinuierliche Anpassung der Zuluftöffnungen ist zwar mit aufrollbaren Planen auf einfache Weise möglich, jedoch nicht kostengünstig. Diese aktive Regelung dürfte daher aus wirtschaftlichen Gründen nur für Tiere wie Kälber und Schweine sinnvoll sein, welche besonders anfällig auf hohe Luftgeschwindigkeiten reagieren.

Für Rinder dagegen genügt eine passive Regelung. Je nach Windstärke und Bremswirkung des Windschutzes ist die verbleibende Luftgeschwindigkeit im Stall unterschiedlich hoch. Die Bremswirkung jedes Windschutzes hängt nicht nur von dessen Widerstandsfaktor, sondern auch von der Geometrie der Löcher ab. Für den gleichen freien Querschnitt bremsen feinsmaschige Windschutznetze viel besser als Spaced Boards. Der Abstand zu den Tieren muss im letzteren Fall entsprechend höher sein. Der Luftdurchsatz durch den Stall hängt nicht nur vom Widerstand der Zu-, sondern

auch vom Widerstand der Abluftöffnungen ab. Messungen zeigen, dass Lichthauben je nach Geometrie den Widerstand der Abluftöffnungen stark vergrößern. Es empfiehlt sich, in diesem Falle die Firstöffnungen grosszügig zu dimensionieren.

Das Ersetzen einer fixen Wand durch Windschutznetze oder Spaced Boards ist nicht nur Lüftungstechnik interessant, es erlaubt ebenfalls wichtige Kosteneinsparungen. Wände mit Windschutznetzen weisen die niedrigsten Investitionen auf und verursachen angesichts ihrer kürzeren Lebensdauer etwa die gleichen Jahreskosten wie Spaced Boards.

Literatur

- Büschler, W., 1991. Experimentelle Untersuchungen zur Luftführung in Stallanlagen. Dissertation. Landwirtschaftlichen Fakultät, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität D-Bonn.
- Capdeville, J.; Dollé J.B., 1998. Caractéristiques techniques des principaux brise-vent utilisés dans les bâtiments d'élevage. Institut de l'élevage, 1998, F-Paris.
- Dierickx W., 1998. Flow Reduction of Synthetic Screens Obtained with Both a Water and Air Flow Apparatus. Research Station for Agricultural Engineering, B-Merelbeke.
- Katz, P., 1989. Handbuch der Klimatechnik, Arbeitskreis der Dozenten für Klimatechnik, Band 1. Verlag C.F. Müller, D-Karlsruhe, 4.
- Katz, P., 1974. Wurfweite, Eindringtiefe und Lauflänge von Zuluftstrahlen im klimatisierten Raum. Heizung Lüftung Haustechnik, März 1974, S. 91-95.
- Pearson C.C.; Owen J.E., 1994. The Resistance to Air Flow of Farm Building Ventilation Components. Journal of agricultural Engineering Research 57, 53-65.
- Bruce J.M., 1978. Natural Convection Through Openings and its Application to Cattle Building Ventilation. Journal of agricultural Engineering Research 23, 151-167.