

Nutzung der Stallabluftwärme mit dem Zweistufen-Kompakt-Wärmeübertrager

Dipl.-Ing. N. Wolf/Dipl.-Ing. S. Schupp, Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR

1. Einleitung

Von den Maßnahmen zur Senkung des Primärenergieeinsatzes für die Stallheizung und -lüftung stellt die Nutzung der Stallabluftwärme zukünftig einen Schwerpunkt dar. Die durch die Wärmeabgabe der Tiere vorhandenen energetischen Reserven sind vor allem in den industriemäßigen Tierproduktionsanlagen in den nächsten Jahren voll zu erschließen. Die Nutzung der Stallabluftwärme ist prinzipiell in zwei Richtungen möglich:

- Stallzulufterwärmung über Wärmeübertrager
- Bereitung von Warmwasser für Heiz- und Sanitärzwecke mit Hilfe von Wärmepumpen.

In beiden Fällen kann die Abwärme zu einem erheblichen Teil zurückgewonnen werden. Für die Wärmerückgewinnung aus der Stallabluft zur Zulufterwärmung können regenerative und rekuperative Systeme eingesetzt werden. Bei den *Regeneratoren* werden Speichermassen wechselseitig durch die Abluft aufgeheizt und durch die Frischluft abgekühlt. Aufgrund der dabei stattfindenden Wärme- und Feuchteübertragung weisen Regeneratoren relativ hohe Wärmeübertragungsgrade auf. Für die *Rekuperatoren* ist kennzeichnend, daß die Zu- und Abluftströme durch Wände voneinander getrennt sind bzw. ein Zwischenwärmeträgermedium zum Transport der Wärme von der Abluft an die Zuluft genutzt wird. Durch die Trennung der Massenströme sind die Rekuperatoren aus hygienischer Sicht für den Einsatz zur Stallheizung im Vorteil. Die spezifischen Einsatzbedingungen in Tierproduktionsanlagen führen zu einem Katalog von Forderungen an das Wärmerückgewinnungssystem. Staub und chemisch aggressive Bestandteile der Stallabluft sind Ursachen für Verschmutzung und Korrosion sogar von verzinkten Wärmeübertragerflächen. In der Praxis kommen noch Taupunktunterschreitungen und die damit verbundene Einfriergefahr hinzu. In den letzten Jahren wurden in der DDR von verschiedenen Einrichtungen in praktischen Einsatzversuchen unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Eignung für die Tierproduktion untersucht [1].

Im Winter 1984/85 wurde vom Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der sog. Zweistufen-Kompakt-Wärmeübertrager (ZKWÜ) als eine der möglichen Varianten eines rekuperativen Systems in einem Läuferaufzuchtstall des VEG Tierproduktion Rövershagen, Bezirk Rostock, erprobt. Der ZKWÜ ist eine patentierte Entwicklung der Bezirksstelle für rationelle Energieanwendung im VEB Energiekombinat Rostock und wurde zuerst im VEB Schweinezucht Losten, Bezirk Rostock, eingesetzt [2, 3]. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, die Leistungsparameter des ZKWÜ zu ermitteln und sein Betriebsverhalten unter den besonderen Bedingungen der Tierproduktion zu überprüfen. Aus den Untersuchungsergebnissen und aus den gesammelten Erfahrungen wurden Hinweise und Emp-

fehlungen für den Hersteller, den Projektanten und den Anwender von ZKWÜ-Anlagen abgeleitet [4].

2. Beschreibung der Versuchsanlagen

Der ZKWÜ ist eine Stahlrahmenkonstruktion im Baukastenprinzip, die aus zwei hintereinandergeschalteten Wärmeübertragern besteht (Bild 1). Die Wärmeübertrager werden frischluftseitig horizontal und abluftseitig vertikal mit einer Umlenkung durchströmt. In den Wärmeübertragern sind demontierbare Kassetten eingebaut. Als Wärmeübertrager-elemente werden gewellte, 0,8 mm dicke PVC-Hart-Folieplatten verwendet, die wechselseitig durch Plastikmleleisten miteinander verbunden sind. Jeweils 42 Wärmeübertragerplatten sind mit einem Winkelstahlrahmen und Verbindungselementen zu einer Wärmeübertragerkassette zusammengefaßt. Der untersuchte ZKWÜ hat die Hauptabmessungen (Breite \times Höhe \times Tiefe) von 2,58 m \times 2,22 m \times 2,10 m. Er besteht aus 12 Wärmeübertragerkassetten mit einer Gesamtwärmeübertragerfläche von rd. 800 m².

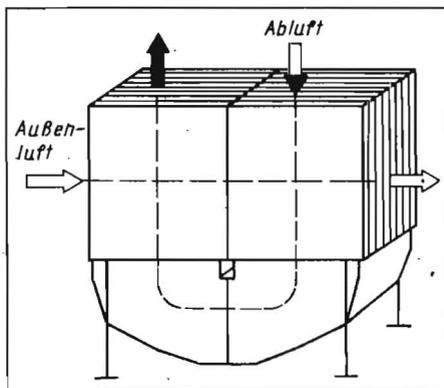
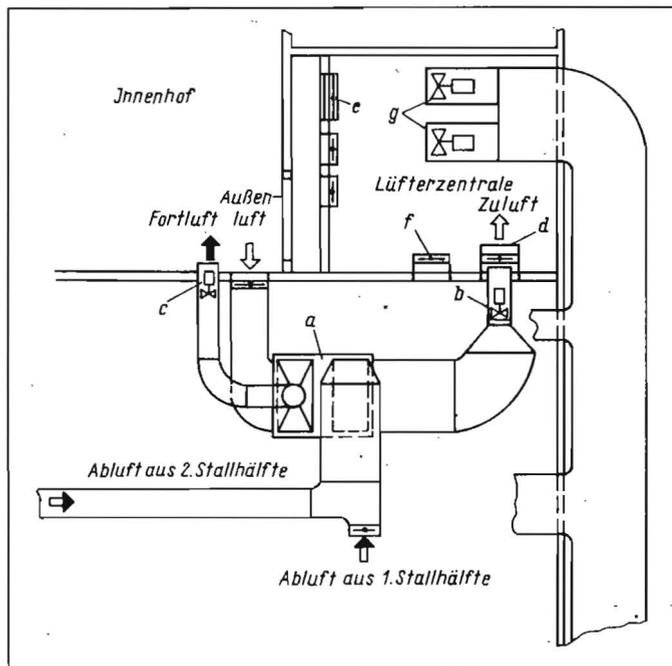


Bild 1 Schematische Darstellung eines Zweistufen-Kompakt-Wärmeübertragers

Bild 2 Einbindung der ZKWÜ-Anlage in das Lüftungssystem des Versuchsstalls; a ZKWÜ, b Zulufter LANN 630/5,5 kW, c Ablüfter LANN 630/5,5 kW, d Spirallippenrohr-Wärmeübertrager B 160 \times 2 \times 19, e vorhandener Frischluftkanal 1600 \times 1250, f vorhandener Umluftkanal 1000 \times 1600, g Primärlüfter LANN 1000/15,0 kW



Der Versuchsstall ist ein mit zweietagigen GAZ-Käfigbatterien ausgerüsteter Läuferaufzuchtstall einer Mastläuferproduktionsanlage vom Typ S111, der über rd. 2300 Tierplätze verfügt. Für den speziellen Versuchsfall wurde der ZKWÜ unter Verzicht auf einige Tierplätze im Stall angeordnet (Bild 2). Über das Abluftkanalsystem wird dem ZKWÜ mit Hilfe eines Axialventilators Stallabluft zugeführt. Gleichzeitig saugt der Zulufter Frischluft durch die Wärmeübertrager. Die erwärmte Frischluft gelangt über einen von zwei vorhandenen Umluftkanälen in die Lüfterzentrale. Dabei wird ein nachgeschalteter Rippenrohrwärmeübertrager durchströmt, der bei Bedarf eine Nachheizung über das konventionelle Heizungssystem ermöglicht. Die Zuluft gelangt aus der Lüfterzentrale über das unveränderte konventionelle Zuluftsystem in den Stall.

3. Untersuchungsergebnisse

Die energetische Untersuchung des ZKWÜ ergab, daß der Temperaturübertragungsgrad des Aggregats unter Berücksichtigung des Massenstromverhältnisses zwischen 65 und 85% liegt. Die Kondenswasserbildung hatte dabei einen entscheidenden Einfluß auf den Temperaturübertragungsgrad. Während der Wintermonate war der Kondensatanfall im ZKWÜ beträchtlich und erreichte Werte bis zu 40 l/h. Die mit dem ZKWÜ zurückgewonnene Wärme reichte fast ständig aus, um den Wärmebedarf des Stalls voll abzudecken. Nur bei sehr tiefen Außenlufttemperaturen mußte in der ersten Woche nach der Installation der 8-kg-Läufer zeitweise nachgeheizt werden. Im Winter gefriert das im Abluftstrom des ZKWÜ anfallende Kondenswasser, wenn die Wandtemperatur t_w der Wärmeübertragerplatten unter den Gefrierpunkt absinkt (Bild 3):

$$\bar{t}_w = \frac{t_{Au} + t_{Fo}}{2} \leq 0^\circ\text{C}.$$

Bedingt durch die Luftstromführung beim ZKWÜ ist im Normalfall nur im Wärmeübertrager 2 ein Einfrieren möglich. Die Eisbildung beginnt dabei im oberen Bereich des Außenluftansaugquerschnitts (im Bild 3 schraffiert dargestellt), da sich hier der kalte Außenluftstrom und der abgekühlte Fortluftstrom kreuzen. Die ermittelten Einfrierergrenzen liegen in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur und vom Massenstromverhältnis zwischen -4 und -8°C (Bild 4). Eine Erhöhung des Verhältnisses der Massenströme von Fortluft und Außenluft hat logischerweise eine Verschiebung der Einfrierergrenzen zu tieferen Temperaturen zur Folge. Die Eisbildung führt zu einer zunehmenden Verkleinerung der Abluftspaltquerschnitte bis hin zum vollständigen Zusetzen. Ein Auftauen des eingefrorenen Wärmeübertragers durch Abschalten des Zulüfters oder starkes Absenken des Außenluftstroms hat sich als ineffektiv erwiesen. Zur Sicherung der Funktionstüchtigkeit des ZKWÜ bei tiefen Außenlufttemperaturen sind geeignete Schaltungen vorzusehen, die eine Vereisung der Wärmeübertragerplatten von vornherein verhindern. Als Frostschutzschaltungen sind die konventionelle Außenluftvorwärmung, die Beimischung gefilterter Abluft in den Außenluftstrom, eine Bypassschaltung im Außenluftstrom oder eine Reduzierung des Außenluftstroms durch Drehzahlregelung des Zulüfters möglich. Bei der konventionellen Außenluftvorwärmung kann der Luftheritzer in einem Teilluftstrom angeordnet werden. Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchungen bildete das Verschmutzungsverhalten der ZKWÜ-Anlage. Der untersuchte Läuferaufzuchtstall kann aufgrund der Trockenfütterversorgung bezüglich der Staubbelastung als kritisch eingeschätzt werden. Trotzdem erwies es sich als zweckmäßig, die Abluft nicht zu filtern. Die Untersuchungen ergaben, daß die Staubablagerungen in der ersten Woche zunächst erheblich sind. Ab einem bestimmten Verschmutzungsgrad werden die Schmutzablagerungen durch die steigende kinetische Strömungsenergie der Abluft jedoch mitgerissen, so daß die Verschmutzung nicht zum vollständigen Dichtsetzen der Wärmeübertragerpakete führt. Die Reinigung der Wärmeübertrager ist mit Kalt- oder Warmwasserstrahl möglich. Bei normaler Verschmutzung sollte stets mit Kaltwasser gereinigt werden, wobei eine Durchspülung mit großem Wasserstrahl anzustreben ist. Die Reinigungshäufigkeit ist von verschiedenen Faktoren, wie Tierart, Haltungsbedingungen, Futtermittelart und Vorfiltration der Abluft, abhängig und damit sehr unterschiedlich. Im untersuchten Fall hat sich die Reinigung der Wärmeübertrager im Zyklus einer Haltungsperiode, d. h. alle 9 Wochen während der Serviceperiode, bewährt. Im Normalfall können die Wärmeübertragerkassetten im eingebauten Zustand über entsprechende Reinigungsöffnungen in den abluftseitigen Anschlußkanälen gereinigt werden. Der Zeitaufwand für das Reinigen liegt für 2 Arbeitskräfte bei rd. 2 Stunden. Einmal jährlich ist eine Generalreinigung der Wärmeübertragerkassetten außerhalb des Wärmeübertragers erforderlich. Die Frage der Korrosionsbeständigkeit des ZKWÜ kann aufgrund fehlender Langzeitversuche noch nicht ausreichend beantwortet werden. Während die Wärmeübertragerplat-

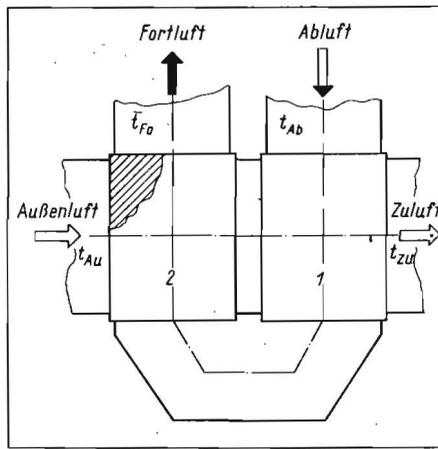


Bild 3. Darstellung der Eisbildung beim ZKWÜ

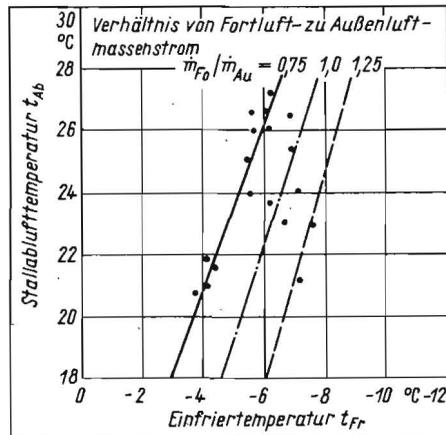


Bild 4. Einfrierergrenzen des ZKWÜ in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur t_{Ab} und vom Verhältnis der Massenströme von Fortluft und Außenluft $\dot{m}_{Fo}/\dot{m}_{Au}$

ten aufgrund ihrer Kunststoffausführung nicht gefährdet sind, bedürfen andere Bauteile, wie z. B. der Kassettenrahmen und das ZKWÜ-Gehäuse, einer ständigen Wartung.

Auf das Stallklima hat sich der Einsatz des ZKWÜ positiv ausgewirkt. Während der gesamten Betriebszeit konnten optimale Stalltemperaturen bei gleichzeitig zulässiger Stallluftfeuchtigkeit erreicht werden. Das Klima im untersuchten Stall war im Normalfall besser als in vergleichbaren Nachbarställen, da durch den ZKWÜ die Mindestfrischluftfrate ständig gewährleistet wurde. Die errichtete Versuchsanlage kostete rd. 40 000 M, wovon etwa 12 000 M auf den ZKWÜ entfielen. Durch den Einsatz des ZKWÜ konnten für den untersuchten Stall der Heizungsenergiebedarf um fast 90 % und der Primärenergiebedarf um rd. 70 % reduziert werden.

4. Hinweise und Empfehlungen für die Anwendung

Die vorliegenden Versuchsergebnisse bestätigen, daß Zweistufen-Kompakt-Wärmeübertrager für den Einsatz zur Wärmerückgewinnung in Tierställen geeignet sind und dort wirtschaftlich betrieben werden können. Die Verschmutzungs- und Einfrierprobleme sind durch entsprechende Reinigungstechnologien und Frostschutzmaßnahmen mit vertretbarem Aufwand beherrschbar. Eine Breitenanwendung der ZKWÜ kann vor allem in industriemäßigen Aufzuchtställen empfohlen werden. Zur Erweiterung des Anwendungs-

umfangs und zur günstigeren Anpassung an den jeweiligen Einsatzfall wurde eine einstufige Ausführung des Plattenwärmeübertragers, der sog. Einstufen-Kompakt-Wärmeübertrager (EKWÜ), entwickelt. Der Temperaturübertragungsgrad des EKWÜ liegt zwischen 40 und 60%. Aufgrund des geringeren Druckverlustes ermöglicht er bei Ställen mit niedrigem Wärmebedarf den Einsatz von Lüftern mit geringer elektrischer Leistungsaufnahme. Der EKWÜ ist konstruktiv so gestaltet, daß 2 Geräte zu einem ZKWÜ zusammengebaut werden können. EKWÜ und ZKWÜ werden jeweils in 3 Baugrößen gefertigt, wobei die Abstufung über die Bautiefe erfolgt. Der Einsatz der Kompakt-Wärmeübertrager ist in allen Fällen der Wärmerückgewinnung mit Luftdurchsätzen bis 15 000 m³/h (ZKWÜ) bzw. 21 000 m³/h (EKWÜ) möglich. In Tierproduktionsanlagen bieten sich als Einsatzgebiete vorzugsweise Abferkel-, Läuferaufzucht-, Vormast-, Kälber- und Geflügelställe an. Aufgrund vorhandener Leckluftströme sind die Kompakt-Wärmeübertrager nur innerhalb einer seuchenhygienischen Einheit einsetzbar.

Wichtige Voraussetzungen für einen effektiven Einsatz in Stallbauten sind eine möglichst luftdichte Stallhülle, eine gute Wärmedämmung der raumschließenden Bauelemente und eine hohe Tierbelegdichte.

Ein störungsfreier Betrieb und eine lange Nutzungsdauer von Wärmeübertrageranlagen erfordern regelmäßige Kontroll-, Pflege- und Wartungsmaßnahmen. Die Aufstellung der Kompakt-Wärmeübertrager sollte in einem frostfreien Raum erfolgen. Die Luftströme müssen mit Ventilatoren über entsprechende Kanalsysteme durch den Wärmeübertrager gefördert werden. Für die Auslegung des Wärmeübertragers, die Lüfterauswahl, die Lüftungstechnische Einordnung und die materiell-technische Absicherung ist die Erarbeitung eines Projekts bei den bezirklichen Projektierungseinrichtungen der Landbaukombinate zu veranlassen. Produzent der Kompakt-Wärmeübertrager ist der VEB Landtechnischer Anlagenbau (LTA) Rostock-Sievershagen. Vom VEB LTA wurde eine Einsatzdokumentation mit Hinweisen zur Wärmeübertragerauswahl, Projektierung und Montage [5] erarbeitet, die angefordert werden kann. Nach zentralen Festlegungen übernimmt der VEB LTA Rostock-Sievershagen die Produktion der Wärmeübertrager für den DDR-Bedarf und für den Bezirk Rostock zusätzlich die erforderliche Lüftungstechnische Ausrüstung.

Literatur

- [1] Mai, G.; Müller, H.-J.: Erfahrungen bei der Wärmerückgewinnung in Anlagen der Tierproduktion. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 12, S. 557-559.
- [2] Jörn, O.; Glöde, L.: Nutzung der Sekundärenergie in Tierproduktionsanlagen. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 5, S. 227-228.
- [3] Müller, H.; Glöde, L.; Jörn, O.: Leistungsuntersuchungen am Zweistufen-Kompakt-Wärmeübertrager für Wärmerückgewinnungsaufgaben. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 4, S. 165-166.
- [4] Wolf, N.; Wendig, D.: Untersuchungen zum Zweistufen-Kompakt-Wärmeübertrager in einem Läuferaufzuchtstall der Mastläuferproduktionsanlage S 111 Rövershagen. IETF Meißen/Rostock, Arbeitsbericht 1985 (unveröffentlicht).
- [5] Einsatzdokumentation für Kompakt-Wärmeübertrager. VEB Landtechnischer Anlagenbau Rostock-Sievershagen, Ausgabe 1985. A 5026