

Bild 4. Spezifische elektrische Leitfähigkeit der Schweinegülle in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt

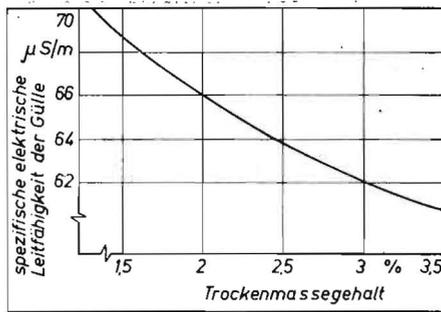


Bild 5. Spezifische elektrische Leitfähigkeit der flüssigen Fraktion der Schweinegülle in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt

Trockenmassegehalts bewirkt eine Änderung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit der Schweinegülle. Der Rückgang der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit bei

der Erhöhung des Trockenmassegehalts von 1% ist bei der flüssigen Fraktion größer als bei der Schweinegülle.

## Literatur

- [1] Hala, E.; Reiser, A.: Physikalische Chemie. Prag: Academia 1971.
- [2] Velebil, M.: Untersuchung der Voraussetzungen für die technische Gewährleistung des Betriebes bei der einstreulosen Einstellung. Forschungsinstitut für Landtechnik Prag – Řepy, Abschlußbericht 1970.
- [3] Türk, M.; Eckstädt, H.: Bemessungskatalog für die Gülledruckrohrleitungen in Berechnungsgrundlagen und Tabellen. Arbeiten zur Mechanisierung der Pflanzen- und Tierproduktion, Schlieben 4(1987)19.
- [4] Podstavek, B.: Die Kombination der Großflächenberechnungsanlage mit der Gülleberechnung. PPU Bratislava, Studie 1983.
- [5] Ducho, P.; Juriček, J.; Kovač, S.: Das spezifische Gewicht der Schweinegülle. Acta technologica agriculturae, Nitra XIX (1978) S. 141–147.
- [6] Ramacsay, L.: Physikalische Eigenschaften des Hühnerdunges bei der Käfigzucht. Forschungsinstitut für Landtechnik Rovinka, Dissertation 1974.
- [7] Tobiskova, J.; Jelinek, T.: Die Messung der Viskosität der Grenzfließspannung und der Dichte von Schweinegülle. Zemědělská technika, Prag 21(1975)1. A 5823

## Erdreich-Wärmeübertrager für Stall-Lüftungsanlagen

Dipl.-Ing. S. Herkner, Bezirksinstitut für Veterinärwesen Schwerin

Dr. med. vet. G. Paar, Bezirksinstitut für Veterinärwesen Bad Langensalza

Dipl.-Ing. H. Kosbab, KDT, VEB Kombinat ILKA Luft- und Kältetechnik, Stammbetrieb für Forschung und Technik Dresden

### Problemstellung

Das Stallklima stellt einen wesentlichen Umweltfaktor für Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden von Menschen und Tieren dar. Für Lüftungstechnische Anlagen sind unter der zusätzlichen Zielstellung einer rationellen Energieanwendung energiesparende Luftaufbereitungssysteme – auch für Ställe – von besonderem Interesse.

Ein Weg zur Energieeinsparung ist die Nutzung der regenerierbaren Energiequelle Erdwärme, die hauptsächlich von der Erdoberfläche durch Einstrahlung, Konvektion und Niederschläge kommende gespeicherte Energie darstellt. Das Nachströmen von Energie aus dem Erdkern kann gegenüber dem Wärmestrom von der Erdoberfläche im oberflächennahen Bereich vernachlässigt werden. Der Erdboden ist somit keine direkte Wärmequelle, sondern nur ein Puffer für die Aufnahme und Abgabe von Wärme mit günstiger Temperaturkonstanz und gutem Speicherverhalten. Die Temperatur des Erdreichs beträgt in Mitteleuropa in einer Tiefe von 5 bis 6 m fast gleichbleibend über das Jahr rd.  $9^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ .

Erdreich-Wärmeübertrager (EWÜ) können im Winter zum Vorwärmen von Außenluft, im Sommer zum Kühlen und in der Übergangszeit zum Ausgleich von Tag-Nacht-Schwankungen der Außenluft genutzt werden [1, 2, 3, 4]. Damit entsprechen sie den Anforderungen der Stallklimagestaltung und dem tierischen Leistungsverhalten während extremer Kälte- und Hitzeperioden sowie kurzzeitiger Temperaturschwankungen des Außenklimas.

Bekanntes Verfahren zur Nutzung von Sonnenenergie-Erdwärme durch EWÜ sind – EWÜ für Wärmepumpen mit im Erdreich verlegten flüssigkeitsführenden Rohr-

schlangen oder Platten [5, 6]

– offene EWÜ für Luft, bei denen ein Wärme- und Stoffaustausch beim direkten Durchströmen der Luft im Erdreich ohne Luftleitungen erfolgt [7, 8]

– geschlossene EWÜ für Luft, bei denen eine Wärmeübertragung durch im Erdreich verlegte Luftleitungen erfolgt [1, 2, 3, 4, 6, 9].

Nachfolgend sollen Prinziplösungen, Hinweise zur Auslegung und Realisierung sowie erzielte Effekte und Erfahrungen beim Betreiben von EWÜ für Luft beschrieben werden, die als Varianten in Versuchsanlagen mit Stall-Lüftungsanlagen in der DDR bekannt wurden.

### Aufbau und Wirkungsweise

In den Bildern 1 und 2 ist der prinzipielle Aufbau von geschlossenen EWÜ für Stall-Lüftungsanlagen dargestellt.

Die Außenluft wird durch eine oder mehrere Luftleitungen in das Erdreich angesaugt oder gedrückt. Sie strömt direkt oder über Verteiler in die Wärmeübertragerleitungen und gelangt über einen oder mehrere Sammler zur Lüftungszentrale und anschließend über Luftleitungen und Luftauslässe in den Stall. In der Lüftungszentrale ist eine weitere Luftbehandlung, z. B. ein Nachheizen, möglich. Entsprechend dem vorhandenen Platzangebot und den Realisierungsbedingungen sind zwei Anordnungsvarianten der Wärmeübertragerleitungen in einer oder mehreren Ebenen möglich:

- Rohrverlegung neben dem Stallgebäude
- Rohrverlegung unter dem Stallgebäude.

Eine neuartige Lösung beinhaltet einen teilreversiblen EWÜ, bei dem im Winterbetrieb durch einen Teil der Luftleitungen warme

Stallabluft nach außen geführt wird (Bild 3). Damit soll einem Abkühlen des Erdreichs durch die kalte Außenluft entgegengewirkt werden, indem Wärme aus der Abluft im Erdreich gespeichert wird.

### Effekte

Infolge der Temperaturdifferenz zwischen Erdreich und Außenluft erfolgt beim Durchströmen der Luftleitungen ein

- Vorwärmen der Außenluft im Winter
- Abkühlen der Außenluft im Sommer
- Nivellieren der Außenlufttemperatur und Tag/Nacht-Schwankungen sowie plötzlichen erheblichen Temperaturveränderungen.

Die Leistungskennziffer von EWÜ, d. h. das Verhältnis von erreichter energetischer Leistung zu installierter energetischer Leistung, beträgt auf der Basis Primärenergieverbrauch Rohbraunkohle für eine konventionelle Heizungs- und Kälteanlage rd. 15 bis 40 [8].

### Hinweise zur Auslegung und Realisierung

Während für offene EWÜ in [8] eine mathematische Modellierung genannt wird, ist eine einfache und zuverlässige Berechnungsunterlage für geschlossene EWÜ in der Projektierungspraxis bisher nicht bekannt. Die Auslegung von Versuchsanlagen erfolgte mit experimentell ermittelten Werten.

### Angaben zur Dimensionierung

Die Auslegung des EWÜ erfolgt allgemein nach dem maximalen Volumenstrom des Stalles für den Sommerbetrieb. Bei der Berechnung der Sommerluftstraten kann man nach [4] davon ausgehen, daß beim Betrieb eines EWÜ infolge der größeren zulässigen Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und

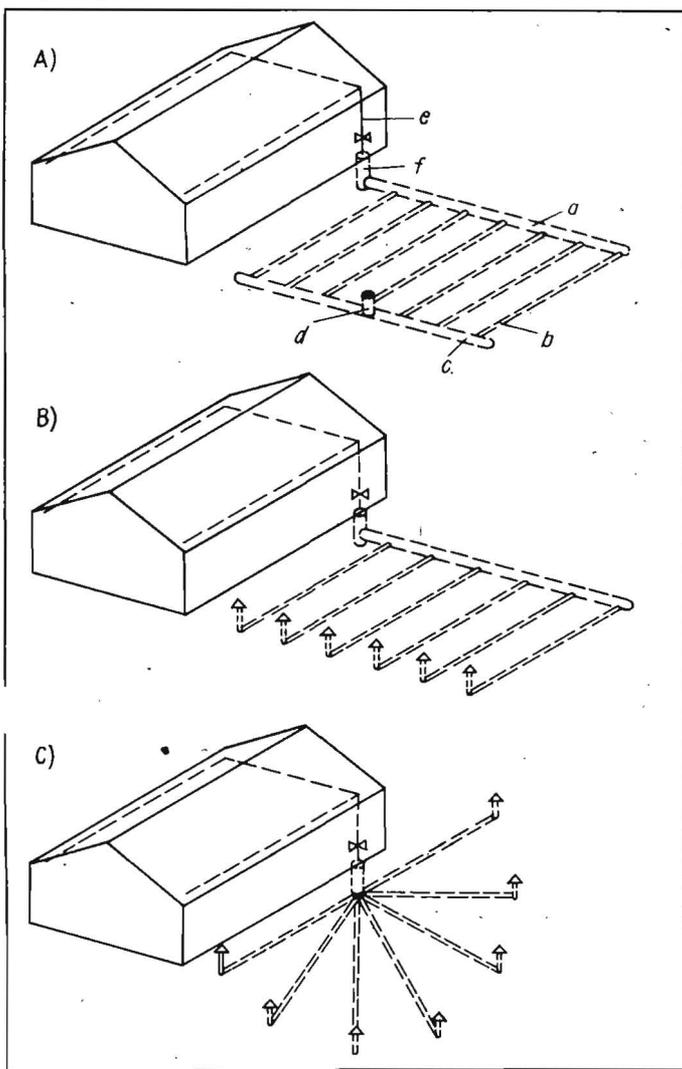


Bild 1. Prinzipskizzen von geschlossenen Erdreich-Wärmeübertragern; A, B parallele Rohranordnung, C radiale Rohranordnung a Sammelleitung, b Wärmeübertragerrohre, c Verteilleitung, d Außenlufteinlaß und Ansaugschacht, e Zuluftleitung und Ventilator im Stall, f Zuluftschacht mit Pumpensumpf

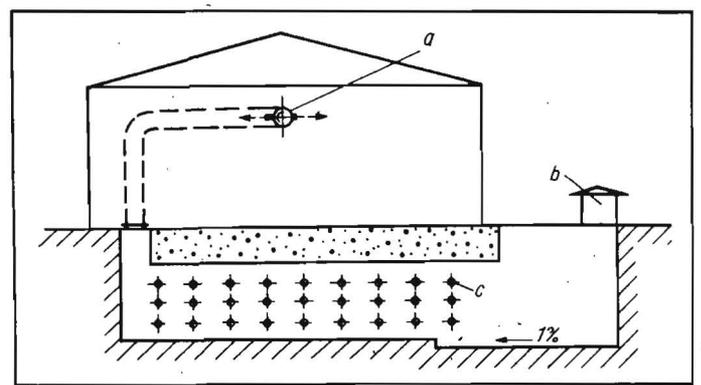


Bild 2. Prinzipskizze eines Putenstalles (Stallquerschnitt) mit Erdreich-Wärmeübertrager unter dem Stallboden; a Zuluftleitung, b Außenlufteinlaß, c Wärmeübertragerrohre in drei Ebenen

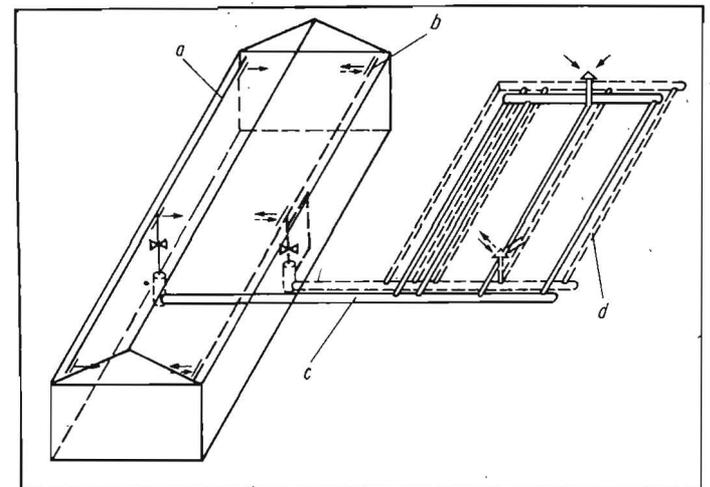


Bild 3. Prinzipskizze eines teilreversiblen Erdreich-Wärmeübertragers; a Stall-Lüftungsanlage Teil I: Außenluftbetrieb (ganzjährig), b Stall-Lüftungsanlage Teil II: Winter Fortluftbetrieb, Sommer Außenluftbetrieb, c Erdreich-Wärmeübertrager für Außenluftbetrieb (ganzjährig), d Erdreich-Wärmeübertrager für Außen-/Fortluftbetrieb (teilreversibler Erdreich-Wärmeübertrager)

Stallluft (2 bis 3 K) die Lufrate um rd. 30 % reduziert werden kann.

Der Querschnitt und die Anzahl der Luftleitungen ergibt sich aus dem Sommerluftstrom und den empfohlenen Luftgeschwindigkeiten von rd. 2 bis maximal 5 m/s in den Wärmeübertragerleitungen und von rd. 2 bis 3 m/s in den Verteil- und Sammelleitungen. Die Wärmeübertragerleitungen haben folgende Parameter:

- Rohrdurchmesser 100 bis 300 mm
- Rohrlängen (100 bis 200) × Rohrdurchmesser
- Rohrmaterial: Gute Erfahrungen bestehen mit ungeschlitzten Wellrainrohren wegen der Flexibilität und guten Verlegbarkeit sowie der großen Oberfläche (Hersteller: VEB Orbitaplast Weißandt-Görlitz, Außendurchmesser 63 mm und 125 mm). Geeignet erscheinen auch „Biegsame Rohre Typ Wi“ des VEB Thermoplast Schönhausen, Betrieb Milow. Anderes Rohrmaterial (Steinzeug, Tonrohre, PVC) kann ebenfalls verwendet werden.
- Rohrabstände: rd. 0,5 bis 2 m; 1 m Rohrabstand wird bei entsprechenden technologischen Voraussetzungen als günstig angesehen
- Einbautiefe: Mindesttiefe 1,5 m, Vorzugstiefe aus energetischer Sicht 2 bis 3 m; aus ökonomischen Gründen ist wegen

steigender Baukosten die Verlegetiefe auf 2 m zu begrenzen

- Druckverluste: zusätzliche Druckverluste durch die Wärmeübertragerleitungen betragen bei o. g. Annahmen < 100 bis 150 Pa.

#### Beschaffenheit des Erdreichs

Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität (Speicherfähigkeit) des Erdreichs sind von der chemischen Zusammensetzung, dem Feuchtegehalt und der Dichte abhängig. Sie wachsen mit steigenden Werten von Dichte und Feuchtegehalt. So schwankt die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs nach [5] zwischen  $0,14 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ - und  $0,52 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  bei trockenem und zwischen  $0,8 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  und  $2,5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  bei feuchtem Erdreich. Feuchte, schwere Lehmböden bieten daher die besten Voraussetzungen für den Wärmetausch, während grobe, trockene Sandböden ungünstig sind. Von Vorteil ist das Vorhandensein von fließendem Grundwasser.

#### Angaben zur Rohrverlegung

Die Verlegung der Wärmeübertragerleitungen erfolgt nach Aushub einzelner Gräben oder einer Baugrube und anschließendem Verfüllen und Verdichten. Mindestrohrabstände werden durch die Technologie der Rohrverlegung bestimmt (z. B. Einsatz von

Drainbagger, Meliomat o. ä.). Dazu sind eine sorgfältige Planung und Koordinierung mit dem bauausführenden Betrieb erforderlich.

Die Leitungen sind mit einem Gefälle von rd. 0,5 bis 2% zur Sammelleitung zu verlegen. Sammel- und Verteilleitungen sind mit Pumpensumpf oder Sickergrube zu versehen oder an die Abflußleitung für Oberflächenwasser anzuschließen, um eindringendes Kondens- oder Grundwasser abzuführen. Beschädigungen von flexiblen Rohrleitungen sind unbedingt zu vermeiden.

#### Wärmeübertragungsleistung

Zur Erleichterung der Wärmebilanzrechnung für die Entscheidung über den Einsatz von Heizungsanlagen sowie deren Auslegung können folgende Richtwerte für Wärmeströme, basierend auf den bisherigen Ergebnissen, angenommen werden:

Winterperiode: 30 bis  $40 \text{ W/m}^2$  Oberfläche des EWÜ  
Sommerperiode: 25 bis  $30 \text{ W/m}^2$  Oberfläche des EWÜ.

#### Ökonomische Angaben

Die Investitionen für EWÜ werden entscheidend durch die Technologie der Installation sowie durch die Kostensätze der bauausführenden Betriebe bestimmt. Spezialleistungen

erhöhen die Investitionen maßgeblich. Eigenleistungen der landwirtschaftlichen Betriebe ergeben meist die geringsten Aufwendungen.

Mit der Bezugsbasis „Heizleistung durch Luftvorwärmung im Winterbetrieb“ sind nach der aktuellen Preisbasis spezifische Investitionen von rd. 1000 bis 2000 M/kW einzuplanen.

Diese Investitionen lassen sich durch eine lange Nutzungsdauer sowie durch eine energetisch günstige Betriebsweise amortisieren. Die geschätzte Nutzungsdauer beträgt rd. 20 bis 50 Jahre.

Weitere ökonomische Angaben sind aus Bau und Betrieb von Versuchsanlagen abzuleiten.

#### Beispielangaben und Betriebsergebnisse

Erprobte Versuchsanlagen mit geschlossenen EWÜ sind aus folgenden Betrieben bekannt [6, 9]:

- Kälberstall der LPG „Clara Zetkin“ Herbsleben, Bezirk Erfurt
- Legehennenelternstierstall des VEB Zucht- und Vermehrungsbetrieb Spreenhagen, Bezirk Frankfurt (Oder)
- Putenstall der LPG „Vor dem Hainich“ Behringen, Bezirk Erfurt.

Weitere Anlagen wurden zwischenzeitlich vorbereitet und teilweise bereits in Betrieb genommen, z. B.

- Schweinevormastställe der ZBE Zachun, Bezirk Schwerin
- Besamungsstall des VEG Kalkreuth, Bezirk Dresden.

#### Aufbau und Betriebsergebnisse für den Putenstall Behringen [9]

2 x 30 Welldrainrohre – ungeschlitz – Ø 125, Rohrstand rd. 1 m, Rohrlänge rd. 22 m, Anordnung in 3 Ebenen unter dem Stall, Kombination mit nachgeschalteter Wärmerückgewinnungsanlage.

Der Zuluftstrom beträgt im Winter rd. 5000 m<sup>3</sup>/h, im Sommer rd. 15000 m<sup>3</sup>/h.

In den Bildern 4 und 5 ist der Temperaturverlauf von Außen- und Zuluft während einer Winter- und Sommerperiode beim Betrieb des EWÜ dargestellt.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Winterbetrieb
    - Vorwärmen der Außenluft durch EWÜ max. 18 K
    - Heizleistung durch Vorwärmen 26 bis 44 kW
    - Einsparung an Wärmeenergie durch Vorwärmen rd. 23990 kWh/a
  - Sommerbetrieb
    - Abkühlung der Außenluft durch EWÜ max. 13 K
    - Kühlleistung 40 bis 85 kW.
- Gegenüber einem Vergleichsstall wurden im Tagesmittel im Sommerbetrieb um 4 K niedrigere Stalltemperaturen gemessen. Große Bedeutung für ein ausgeglichenes Stallklima im Putenstall hat die hohe Konstanz der Zulufttemperatur.
- Investitionen
    - bei Eigen-/ Fremdleistungen 36 000/55 000 M
  - spezifische Investitionen
    - bei Eigen-/ Fremdleistungen 950/1 450 M/kW
  - Aufwandskennziffer
    - bei Eigen-/ Fremdleistungen 0,18/0,24 M/kW/h.

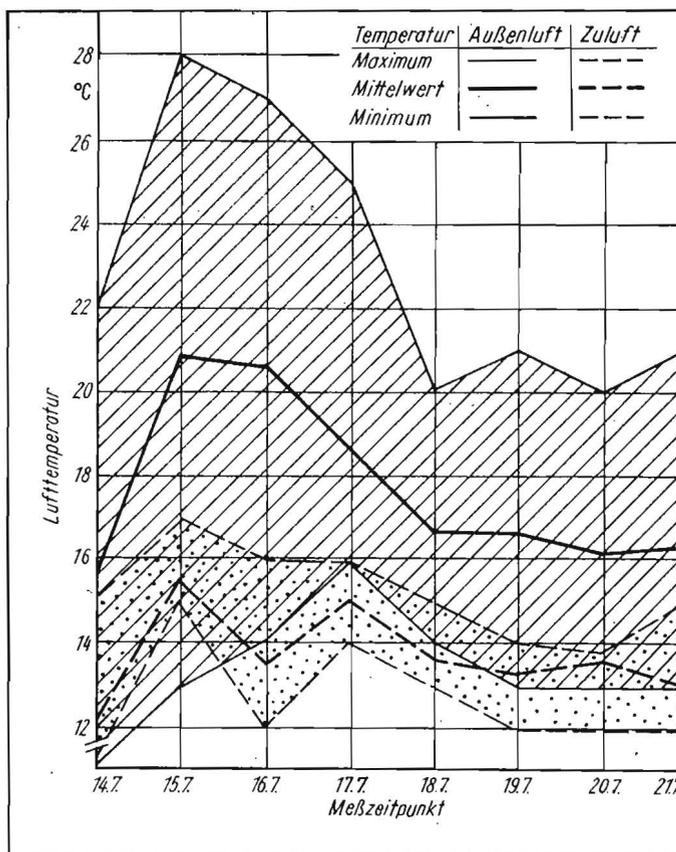


Bild 4 Verlauf der Tagesmittel- und Extremwerte der Außen- und Zulufttemperatur in einer Sommerperiode (Putenstall Behringen)

#### Schlußfolgerungen

Erdreich-Wärmeübertrager sind Einrichtungen zur Verbesserung des Stallklimas sowie zur energiesparenden Betriebsweise von Lüftungs- und heizungstechnischen Anlagen. Sie stellen eine wirksame Variante der Alternativenenergienutzung dar, bei der das Erdreich als Puffer für die Wärmespeicherung genutzt wird.

Im Winterbetrieb sind zeitweise Temperaturerhöhungen der Zuluft bis 18 K, im Sommerbetrieb Temperaturabsenkungen bis 13 K gegenüber der Außenluft erreichbar. Vorteilhaft sind die hohe Konstanz bzw. die geringere Schwankung der Zulufttemperatur. Erdreich-Wärmeübertrager werden, für solche Tierarten und Haltungsstufen empfohlen, wo große Temperaturschwankungen und besonders hohe Stalltemperaturen im Sommer vermieden werden sollen, wie z. B. für die Geflügelmast (Broiler), für Besamungs- und Abferkelställe sowie für Kälberställe.

Für Aufzuchtställe ist im Winterbetrieb zusätzlich zum EWÜ allgemein eine Heizung oder nachgeschaltete Wärmerückgewinnung erforderlich.

Erdreich-Wärmeübertrager erfordern eine sorgfältige Planung und Bauausführung. Sie verursachen oft hohe Investitionen bzw. erfordern viel Platz. Fragen der Bodenbeschaffenheit, des Grundwasserspiegels, einer Entwässerung sowie einer Inspektion und der Hygiene in Verteil- und Sammelleitungen sind besonders zu beachten.

#### Literatur

- [1] Schauburger, G.: Spezielle Untersuchungen zur Stall-Klimatologie (Energiesparende Luftaufbereitung durch Bodenspeicher). Universität Wien, Dissertation 1981.
- [2] Muehling, A. J.; Goetsch, W. D.: Tempering ventilation air with earth-tube heat exchangers in swine production (Temperierte Zuluft mit Erdwärmetauscher in der Schweineproduktion). 10. Internationaler CIGR-Kongreß. Budapest

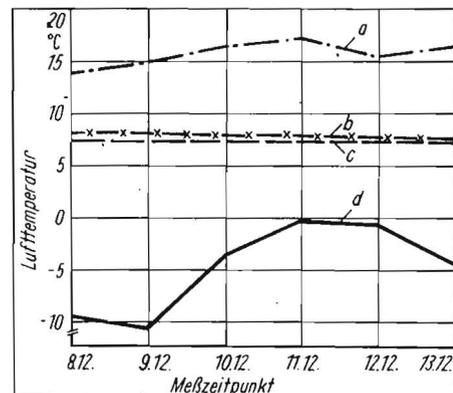


Bild 5 Verlauf der Tagesmittelwerte der Außen-, Zu- und Stalllufttemperatur in einer Winterperiode (Putenstall Behringen); a Stalllufttemperatur, b Erdreichtemperatur, c Zulufttemperatur, d Außenlufttemperatur

1984, 2. Band der Vorträge. S. 397–404.

- [3] Valor, V. M., u. a.: Geothermal'nye sistemy ventilacii životnovodčeskich zdaniy (Geothermische Lüftungssysteme von Viehzuchtgebäuden). Vodosnabž. i san. tehnika, Moskva (1985)10, S. 11–12.
- [4] Mannebeck, B.; Tiedemann, H.: Erdwärmetauscher heizen und kühlen die Stallluft. Schweine-zucht und Mast, Hannover 34(1986)9, S. 312–316.
- [5] Heinrich, G., u. a.: Wärmepumpenanwendung in Industrie, Landwirtschaft, Gesellschafts- und Wohnungsbau. Berlin: VEB Verlag Technik 1986.
- [6] Kosbab, H.: Erdreich-Wärmeübertrager für Lüftungstechnische Anlagen. VEB Kombinat ILKA/SFT Dresden, Bericht 1986 (unveröffentlicht).
- [7] Besler, G. J.: Lüftungstechnische Anlagen in energiesparender Ausführung mit membranlosem Boden-Wärme- und Stoffaustauscher. Luft- und Kältetechnik, Berlin (1988)2, S. 83–86.
- [8] Arndt, U.: Erdwärmeeübertrager als Komponente der LTA. Beitrag zur 10. Fachtagung „Lüftungs- und Klimatechnik“ von 23. bis 25. Januar 1989 in Dresden.
- [9] Paar, G.: Prüfung einer Erdreich-Wärmetauscheranlage in Kombination mit einem Thermo-Wechselspeicher zur Stallklimagestaltung in einem Putenstall. Bezirksinstitut für Veterinärwesen Bad Langensalza, Abschlußbericht 1988.

A 5696