

bis auf den Grenzwert der Lüftungstemperatur, wird das Lüftungssystem in mehreren Abstufungen aktiviert und durch ständige Rückfrage zur sich einstellenden Innentemperatur die notwendige Arbeitsstellung der Lüftungskappen festgelegt. Über die Prozeßmeßstelle „Windgeschwindigkeit“ erfolgt bei Überschreitung eines kritischen Grenzwertes der Windgeschwindigkeit eine Zwangsschließung des Lüftungssystems.

### 3. Ergebnisse und Effektivität der Lösung

Bei Übertragung des Lösungsprinzips auf praxiserprobte Anwendungsbedingungen können Aussagen über die zu erwartende Effektivität gegenüber einem vorliegenden Ausgangszustand der Fahrweise von Heizungs- und Lüftungssystemen getroffen werden. Dazu wurden am Beispiel von Gewächshäusern EG 5 im VEG Gartenbau Rostock vergleichende Untersuchungen zu einem konventionellen Regelungssystem auf der Basis von elektromagnetischen Tastbügelreglern durchgeführt [2]. Als energiewirtschaftlich besonders nachteilig haben sich bei der Fahrweise mit dem konventionellen System folgende Mängel ergeben:

- ungenügende Anpassung der Regelcharakteristik der Vorlauftemperatur an den Wärmeversorgungsprozeß der Gewächshäuser
- ausschließlich außentemperaturabhängige Führung der Vorlauftemperatur
- hoher Grad der Inanspruchnahme der

### Luftheizer.

Mit der erarbeiteten Lösung können o. g. Mängel ausgeschaltet und zusätzlich energetisch vorteilhafte Betriebsbedingungen geschaffen werden. Von besonderem Wert ist dabei die durch Minimierung der Inanspruchnahme der Luftheizer und die durch Schaltung der Umwälzpumpe des Heizungssystems erreichbare Elektroenergieeinsparung. Unter Zugrundelegung einer typischen Jahresanbaufolge (Jan./Febr./Dez.: Frostfreihaltung, März bis Nov.: Gurke/Tomate) wurden für die spezifischen Standortbedingungen des VEG Gartenbau Rostock am Beispiel eines Gewächshauses EG 5 ( $A_G = 3600 \text{ m}^2$ ) die Jahresgänge des Wärme- und Elektroenergieverbrauchs vergleichend für beide Fahrweisen berechnet (Bilder 2 und 3). In der Jahresgesamtbilanz ergeben sich die in Tafel 1 zusammengefaßten Ergebnisse.

### 4. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde ausgehend von grundlegenden Überlegungen zur energiewirtschaftlichen Fahrweise von Heizungs- und Lüftungssystemen in Gewächshäusern eine rechnergestützte Lösung vorgestellt, die in ihrer Anwendung als Rationalisierungslösung bedeutsame Einsparungen an Wärme- und Elektroenergie ermöglicht. Das Kernstück der technischen Lösung besteht in der bedarfsgerechten Führung der Vorlauftemperatur und in einem sich daraus ableitenden Arbeitsalgorithmus. Die erreichbaren Einsparungen an Wärme- und Elektroenergie wer-

Tafel 1. Jahresgesamtbilanz des Wärme- und Elektroenergieverbrauchs eines Gewächshauses EG 5 ( $A_G = 3600 \text{ m}^2$ )

Bewertungsgrößen	konventionelle Fahrweise		energieoptimierte Fahrweise	
Jahresverbrauch an Wärmeenergie	GJ	7494	5125	
Jahresverbrauch an Elektroenergie davon	kWh	23330	11446	
- Luftheizer	kWh	15181	5905	
- Umwälzpumpe	kWh	8149	5541	

den vom technischen Niveau des Ausgangszustands der Fahrweise der Heizungs- und Lüftungssysteme in der jeweiligen Gewächshausanlage bestimmt.

### Literatur

- [1] Bathke, K.; Hamann, R.: Wärmetechnische Grundlagen und Empfehlungen für eine rationelle Energieanwendung in Gewächshausanlagen. Internationale Gartenbauausstellung der DDR, Erfurt, iga-Ratgeber 1980.
- [2] Bookholdt, M.: Technisch-technologische Lösungen zur energieoptimalen Betriebsweise von Gewächshäusern am Standort Rostock-Marienehe. Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben, Bericht 1988. A 5571

## Nutzung der Abwärme aus Gerätehäusern von Zusatzbelichtungssystemen

Dr.-Ing. M. Bookholdt

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

### Verwendete Formelzeichen

$A_o$	$\text{m}^2$	Oberfläche des Gerätehauses
	$\text{Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	spezifische Wärmekapazität der Luft
$\kappa$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Wärmedurchgangszahl des Gerätehauses
$\kappa_R$	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Wärmedurchgangszahl der unterirdischen Zu- und Abluftkanäle
$L$	$\text{m}$	Länge der unterirdischen Kanäle
$\dot{Q}_{Dr}$	$\text{kW}$	Wärmeleistung der Vorschaltgeräte
$\dot{Q}_L$	$\text{kW}$	Lüftungswärmeleistung
$\dot{Q}_T$	$\text{kW}$	Transmissionswärmeleistung
$\dot{Q}_V$	$\text{kW}$	Wärmeverlustleistung
$t_a$	$^{\circ}\text{C}$	Außenlufttemperatur
$t_g$	$^{\circ}\text{C}$	Grundwassertemperatur
$t_{Dr}$	$^{\circ}\text{C}$	Gerätehausinnentemperatur
$t_{GH}$	$^{\circ}\text{C}$	Gewächshausinnentemperatur
$V_L$	$\text{m}^3/\text{h}$	Luftdurchsatz
$\Delta t_{NA}$	$\text{K}$	Nenntemperaturdifferenz für Lüfterausschaltung
$\Delta t_{NE}$	$\text{K}$	Nenntemperaturdifferenz für Lüftereinschaltung
$\rho_L$	$\text{kg}/\text{m}^3$	Dichte der Luft

### 1. Problemstellung

Mit der Erschließung und Anwendung von Niedertemperaturabwärme ergeben sich in der Gewächshauswirtschaft volkswirtschaftlich bedeutsame Möglichkeiten, wertvolle Primärenergieträger für den Prozeß der Wär-

meversorgung zu substituieren und einzusparen. National und international werden zunehmend Bemühungen deutlich, alle in ihrer Vielseitigkeit zur Verfügung stehenden niederthermalen Wärmequellen in größerem Umfang als bisher nutzbar zu machen.

In spezialisierten Gewächshausbetrieben ergeben sich als prozeßeigene Abwärmequellen die bei der Jungpflanzenanzucht eingesetzten Zusatzbelichtungssysteme. Neben der Wärmeabgabe der Lampen fällt durch die Verlustleistung der Vorschaltgeräte technisch nutzbare Abwärme an.

Mit dem vorliegenden Beitrag werden eine Lösungsvariante für die Rückgewinnung und Anwendung von Abwärme aus derartigen Systemen am Beispiel von Gewächshäusern EG 5 im VEG Gartenbau Rostock dargestellt und erste Erfahrungen einer Praxiserprobung mitgeteilt.

### 2. Charakteristik der Abwärmequelle

Im VEG Gartenbau Rostock wird die Zusatzbelichtung auf der Grundlage von Halogen-Metaldampflampen NC 1000 realisiert. Aus technisch-technologischen Gründen sind die Vorschaltgeräte 1/2 VMHD1000 in speziellen massiven Schalt- und Gerätehäusern außerhalb der Gewächshäuser installiert (Bild 1).

Bedingt durch ohmsche Verluste und Umma-

gnetisierungsverluste wird durch jedes Vorschaltgerät nach Herstellerangaben eine Wärmeleistung von etwa 60 W abgegeben. Entsprechend dem Projekt können in den Jungpflanzenanzuchthäusern des VEG Gartenbau Rostock maximal 240 Lampen je Gewächshaus gleichzeitig betrieben werden, so daß damit eine Wärmeleistung von 14,4 kW erzeugt wird. Zur Abführung der in den Gerätehäusern entstehenden Wärme dienen Dachventilatoren, die zur Kühlung der Vorschaltgeräte gleichzeitig über Wandöffnungen Außenluft ansaugen.

### 3. Technische Lösung der Abwärmenutzung

#### 3.1. Lösungsprinzip

Die Lösung zur Nutzung der Abwärme beruht auf einem Umluftsystem zwischen Gerätehaus und Gewächshaus, das Gewächshausluft über eine Zuluftleitung in das Gerätehaus fördert und nach Erwärmung über eine Abluftleitung in das Gewächshaus zurückführt. Die Grundlage für das Umluftsystem bilden zwei vorhandene unterirdische Verbindungskanäle zwischen Gerätehaus und Gewächshaus, die die Elektrokabel der Lampensysteme aufnehmen. Die Verbindungskanäle münden gewächshausseitig ebenerdig in je einem gemauerten Kabelschacht. Die not-

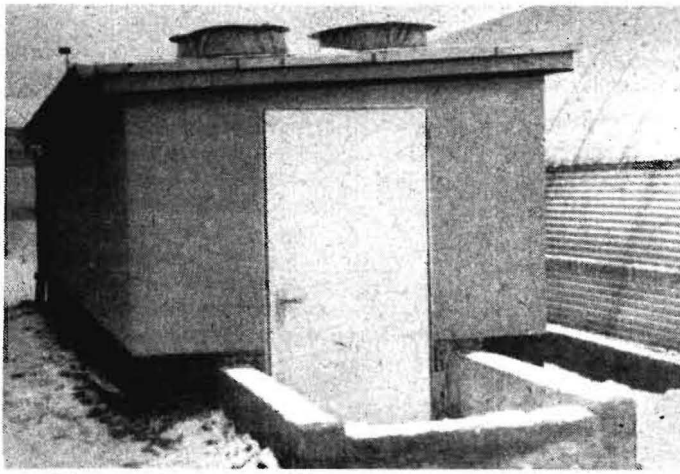


Bild 1  
Schalt- und Gerätehaus  
eines Zusatzbelich-  
tungssystems

wendige Luftzirkulation erfolgt durch einen Ventilator LANW 400.4, der im Gerätehaus auf einem der Kabelschächte angeordnet ist und die Warmluft aus dem Gerätehaus absaugt. Gleichzeitig gelangt über den zweiten Kabelschacht und den zugeordneten unterirdischen Verbindungskanal Gewächshausluft in das Gerätehaus (Bild 2).

Um das Ansaugen von Außenluft zu vermeiden, wurden die ursprünglich vorhandenen Öffnungen für die Dachventilatoren und die Wandöffnungen des Gerätehauses luftdicht und wärmedämmend verschlossen. Durch die Dimensionierung des Umluftsystems werden thermische Überbeanspruchungen von Kabeln und elektrotechnischen Baugruppen ausgeschlossen.

### 3.2. Betriebscharakteristik

Die Betriebscharakteristik des Abwärmesystems kann analytisch über die allgemeine Bilanzgleichung beschrieben werden:

$$\dot{Q}_{Dr} = \dot{Q}_V + \dot{Q}_T + \dot{Q}_L \quad (1)$$

Die Wärmeverlustleistung der unterirdisch verlegten Zu- und Abluftkanäle läßt sich nach Gl. (2) zusammenfassend abschätzen und beträgt für den konkreten Auslegungsfall weniger als 200 W:

$$\dot{Q}_V = L K_R (t_{Dr} + t_{iGH} - 2 t_e) \quad (2)$$

Demzufolge kann dieser Leistungsanteil in der Gl. (1) vernachlässigt werden. Die nutzbare Lüftungswärmeleistung des Systems ergibt sich unter Berücksichtigung des bauwerkbedingten Transmissionswärmeleistungsanteils zu:

$$\dot{Q} = \frac{1}{\left(1 + \frac{K A_O}{V_L C_{PL} \varrho_L}\right)} [\dot{Q}_{Dr} - K A_O (t_{iGH} - t_a)] \quad (3)$$

Dabei stellt sich im Gerätehaus das durch Gl. (4) ausgedrückte Temperaturniveau ein:

$$t_{Dr} = \frac{\dot{Q}_{Dr} + K A_O t_a + V_L C_{PL} \varrho_L t_{iGH}}{K A_O + V_L C_{PL} \varrho_L} \quad (4)$$

Dieses Temperaturniveau entspricht in erster Näherung dem Temperaturniveau des dem Gewächshaus zugeführten Abwärmestroms. Für die Auslegung und Dimensionierung sowie zur übersichtlichen Beurteilung der erreichbaren nutzbaren Wärmeleistungen und Temperaturniveaus lassen sich unter Zugrundelegung praxisrelevanter Eingangsgrößen Kennlinienfelder des Abwärmesystems ableiten (Bilder 3 und 4).

Eine der dargestellten Lösung entsprechende Ausführungsvariante des Abwärmesystems wurde im VEG Gartenbau Rostock

realisiert und in den Belichtungszeiträumen der Jahre 1987/88 unter Praxisbedingungen erprobt. Dabei konnten die projektierten Leistungsparameter durch meßtechnische Langzeituntersuchungen grundsätzlich bestätigt werden.

### 3.3. Regelung des Abwärmesystems

Für die Praxisüberführung der erarbeiteten Lösung ergibt sich die Forderung nach einem automatisierten und damit wachfreien Betrieb. Zusätzlich sind betriebs- und sicherheitstechnische Besonderheiten dahingehend zu berücksichtigen, daß bei Ausfall des Ventilators die Gefahr einer thermischen Überbeanspruchung vor allem elektrotechnischer Baugruppen besteht. Zu diesem Zweck wurde eine spezielle Regeleinrichtung entwickelt und in das Gesamtsystem integriert.

Die elektronische Regelschaltung arbeitet als Temperaturdifferenzschaltung und nutzt die Widerstandsdiﬀerenz zweier als Temperaturfühler gerätehaus- und gewächshausseitig angeordneter Thermistoren zur Ansteuerung des Ventilators im Abwärmesystem.

Der Ventilator wird eingeschaltet, wenn die Bedingung

$$t_{Dr} > t_{iGH} + \Delta t_{NE} \quad (5)$$

erfüllt ist. Der Ventilator wird bei

$$t_{Dr} \leq t_{iGH} + \Delta t_{NA} \quad (6)$$

ausgeschaltet. Im praktischen Erprobungsbetrieb des Abwärmesystems wurden die folgenden günstigsten Nenntemperaturdifferenzen für die Ein- und Ausschaltung ermit-

telt und an der elektronischen Regelschaltung eingestellt:

$$\Delta t_{NE} = 6 \text{ K} \quad (7)$$

$$\Delta t_{NA} = 2 \text{ K} \quad (8)$$

Mit der Festlegung der Betriebsbedingungen nach den Gln. (5) und (6) wird gesichert, daß das Abwärmesystem nur betrieben wird, wenn das Temperaturniveau im Gerätehaus über dem des Gewächshauses liegt. Gleichzeitig wird durch den geregelten Betrieb des Abwärmesystems der Elektroenergieverbrauch des Ventilators begrenzt.

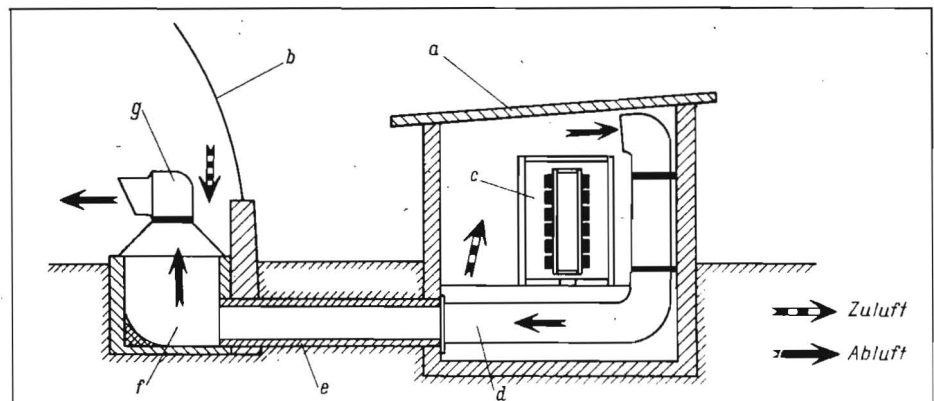
## 4. Effektivität und Anwendungsbedingungen

Die energetische Effektivität der Lösung wird primär durch die Größenordnung der rückgewonnenen und wieder nutzbaren Abwärme gekennzeichnet, wobei der für den Betrieb des Abwärmesystems einzusetzende Anteil an Hilfsenergie (Elektroenergie) mit zu berücksichtigen ist und durch die Leistungszahl ausgedrückt wird. Ausgehend von den unter spezifischen Betriebsbedingungen der Belichtungszeiträume 1987/88 ermittelten Ergebnissen lassen sich die für die Anwendung entscheidenden energetischen Kenngrößen des Abwärmesystems verallgemeinernd angeben (Tafel 1).

Dabei wurde der Zeitraum von Dezember bis April berücksichtigt, der unter Praxisbedingungen üblicherweise für eine zusätzbelichtete Jungpflanzenanzucht genutzt wird.

Bedingt durch die günstigen bautechnischen Voraussetzungen kann das Abwärmesystem mit einem relativ geringen materiellen Aufwand installiert werden. Bei der vorliegenden Nutzungsvariante liegt der Investitionsaufwand für die Lüftungstechnischen Baugruppen und die elektronische Regeleinrichtung insgesamt bei etwa 1500 M. Daraus resultiert eine Rückflußdauer der einmaligen Aufwendungen von 0,5 Jahren. Neben der realisierten Lösung, bei der die rückgewonnene Abwärme dem Gewächshaus direkt wieder zugeführt wird, ergeben sich weitere Anwendungsvorschläge, bei denen vorzugsweise kleinere Produktionseinheiten von speziellen innerhalb oder außerhalb des Gewächshauses angeordneten Thermotunneln Folienzelten bzw. Aerothermgewächshäusern mit der anfallenden Abwärme versorgt werden. In diesen Anwendungsvarianten kann die rückgewonnene Abwärme noch wirkungsvoller zum Einsatz gelangen.

Bild 2. Lösungsprinzip der Abwärmennutzung; a Gerätehaus, b Gewächshaus, c Vorschaltgeräte, d Abluftkanal, e Verbindungskanal (Abluft), f Kabelschacht, g Aufsatz mit Ventilator



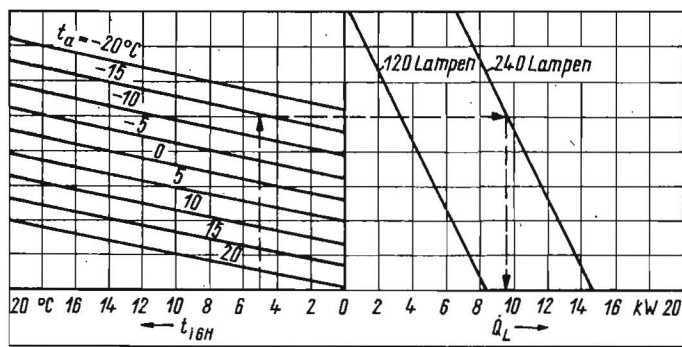


Bild 3. Kennlinienfeld zur Ermittlung der nutzbaren Wärmeleistung des Abwärmesystems

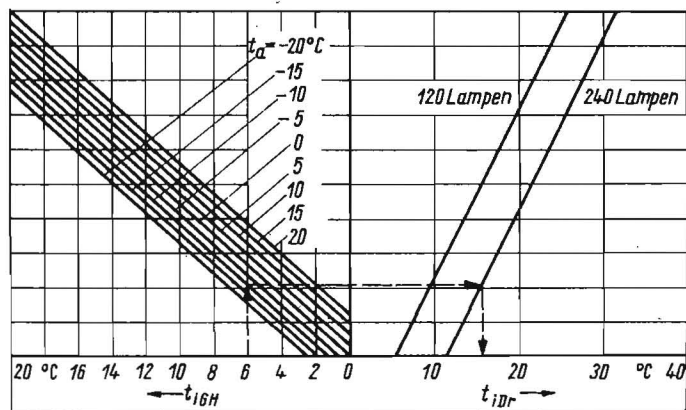


Bild 4. Kennlinienfeld zur Ermittlung des nutzbaren Temperaturniveaus des Abwärmesystems

Tafel 1. Energetische Kenngrößen des Abwärmesystems

Kenngröße	Belichtungszeitraum				
	Dezember	Januar	Februar	März	April
nutzbare Lüftungswärmeleistung	8,6	8,4	8,4	8,7	9,2
nutzbares Abwärmepotential	5 332	4 687	3 763	4 046	3 312
Elektroenergieverbrauch	124	112	90	93	72
Leistungszahl	43	42	42	44	46
Temperaturerhöhung des Zuluftstroms	7,8	7,6	7,6	7,9	8,3

### 5. Zusammenfassung

Zur Rückgewinnung und Anwendung von Abwärme aus der Zusatzbelichtung von Jungpflanzen wurde eine technische Lösung entwickelt und als Praxislösung erprobt. Auf Grundlage lösungsspezifischer Eingangsgrößen kann die Betriebscharakteristik des Abwärmesystems für Auslegungs- und Dimensionierungszwecke beschrieben werden.

In meßtechnischen Untersuchungen wurden die projektierten Leistungsparameter der vorliegenden Praxislösung bestätigt. Das für einen automatisierten Betrieb entwickelte Re-

gelungssystem wurde in seiner Grundstruktur erläutert. Die Anwendungsbedingungen der Lösung

sind durch eine hohe Leistungszahl und geringe Investitionskosten für das Gesamtsystem gekennzeichnet. A 5606

## Zulufttemperaturbeeinflussung mit Hilfe eines Erdreichwärmeübertragers in einem Putenstall

med. vet. G. Paar/Ing. J. Blankenburg/Ing. R. Reinz, Bezirksinstitut für Veterinärwesen Bad Langensalza, Bezirk Erfurt  
 J. E. Sittel/H. Böttger/P. Schmidt, LPG „Vor dem Halñich“ Behringen, Bezirk Erfurt

### 1. Einleitung

Zur Senkung des spezifischen Energieaufwands für eine optimale Stallklimagegestaltung gilt es, weitere Möglichkeiten der Sekundär-Alternativenergienutzung zu erschließen und diese hinsichtlich ihrer Eignung für eine den tierphysiologischen Erfordernissen entsprechende Zuluftaufbereitung zu untersuchen.

Während die bekannten Verfahren ausschließlich auf eine Erhöhung der Stalllufttemperatur im Winter ausgerichtet waren, gab es bisher keine ökonomisch vertretbare Lösungsvariante, mit deren Hilfe durch eine Absenkung der Zulufttemperatur im Sommer eine Verbesserung der Stallklimasituation und die Vermeidung möglicher Havariesituationen infolge hyperthermischer Lastverhältnisse vorrangig in Geflügelställen erreichbar sind. Nach neueren Erkenntnissen können jedoch die Temperaturverhältnisse im Erdreich mit Hilfe eines Erdreichwärmeübertragers sowohl zur Erwärmung als auch zur Abkühlung der Zuluft ausgenutzt werden.

### 2. Aufbau von Erdreichwärmeübertragern

Die Temperaturen im oberflächennahen Erdreich erreichen Werte von 2 bis 18°C. Dabei treten die größten Schwankungen in einer Tiefe von 0,1 m auf, wogegen in einer Tiefe von 2,3 m die Temperatur zwischen 6 bis 13°C variiert [1].

Andere Autoren geben für eine Tiefe von 2 m Erdreichtemperaturen von 5 bis 15°C an, wobei die niedrigeren Werte zu Beginn des Frühjahrs, die höheren Werte Ende des Sommers festzustellen sind.

Erdreichwärmeübertrageranlagen bestehen aus Wärmeübertragerrohren, die im Erdreich verlegt sind und über Sammelleitung und Ansaugschacht mit der Außenluft in Verbindung stehen.

In [2, 3, 4] werden Erdwärmeübertrageranlagen beschrieben, bei denen die Rohre in einer Tiefe von 1,5 bis 3 m verlegt wurden, wobei ausnahmslos ein einetägiger Aufbau erfolgte.

Wenn sich auch die Wirkung des Erdreichwärmeübertragers mit zunehmender Verle-

getiefe verbessert, ist diese jedoch aus ökonomischen Gründen auf etwa 2 m zu begrenzen [5].

Die Übertragerrohre in den beschriebenen Beispielen haben Durchmesser von 120 bis 300 mm. Der Abstand dieser Drainagerohre untereinander variierte von 0,3 bis 0,8 m und erreichte bei einer Anlage sogar 3 m [5]. Die Rohrlänge schwankte zwischen 32 m [6] und 80 m [7].

Die notwendige Anzahl der Drainagerohre ergibt sich aus deren Durchmesser sowie der zu fördernden Zuluftmenge und der Luftgeschwindigkeit in den Rohren.

Ist der Rohrquerschnitt zu gering für den Transport der erforderlichen Luftmenge, dann vergrößert sich die Luftgeschwindigkeit und somit der dynamische Druck, der von den Lüftern aufgebracht werden muß. Das bedeutet eine Erhöhung des Elektroenergieverbrauchs, wodurch sich das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand reduziert [8].

Die Luftgeschwindigkeit in den Rohren sollte