

# Untersuchungen des wärmetechnischen Verhaltens von Stallgebäuden

Dr.-Ing. Olga Schilling/Dozent Dr.-Ing. S. Kühnhausen, KDT/Dipl.-Ing. A. Knispel, KDT  
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

## Verwendete Formelzeichen

$R$	$m^2 \cdot K/W$	Wärmedämmwert
$t_{o,i}$	$^{\circ}C$	Wandoberflächentemperatur, innen
$t_{o,e}$	$^{\circ}C$	Wandoberflächentemperatur, außen
$t_i$	$^{\circ}C$	Lufttemperatur, innen
$t_e$	$^{\circ}C$	Lufttemperatur, außen
$\Delta T$	K	Temperaturdifferenz
$\dot{q}$	$W/m^2$	Wärmestromdichte

## 1. Einleitung

Für die Gewährleistung der optimalen Stallklimaparameter sowie ihre Berücksichtigung im Projektierungsprozeß sind theoretische Untersuchungen des wärmetechnischen Verhaltens von Stallgebäuden notwendig. Diese Untersuchungen umfassen hauptsächlich die Bestimmung des Wärme- und Feuchtigkeitsdurchgangs der raumumschließenden Bauteile, wie Wände, Decken u. a. Bei der Rekonstruktion der vorhandenen Stallanlagen sind außerdem experimentelle Untersuchungen zur genauen Bestimmung der wärmephysikalischen Stoffkennwerte am bestehenden Stallgebäude zweckmäßig. Auf die Einordnung dieser Untersuchungen bei der Schaffung optimaler Lösungen ist bereits in [1] eingegangen worden.

## 2. Theoretische Untersuchungen

### 2.1. Wärmetechnische Prämissen

Durch eine zweckentsprechende Auswahl und Festlegung der Gebäudegeometrie (Verhältnis des Raumvolumens zu den Raumumschließungsflächen) sowie der Art und Qualität der dafür vorgesehenen Baustoffe (gute Wärmedämm- und Wärmespeichereigenschaften) können die Wärmeverluste im Winter sowie die Wärmebelastung im Sommer minimal gehalten werden.

Von Petzold [2] wurde an Wohngebäuden nachgewiesen, daß wärmetechnische Effekte dann erzielt werden, wenn der Wärmeschutz der einander gegenüberliegenden Außenbauwerksteile paarweise untereinander gleich groß ist. Weiterhin sollten folgende Prämissen eingehalten werden:

- Die Wärmedämmstoffe sind rationell einzusetzen.
- Durch geeignete Konstruktionen sind Wärmebrücken zu vermeiden.
- Die Fläche der lichtdurchlässigen Bauteile sollte nur die Minimalfläche umfassen, die zur natürlichen Beleuchtung erforderlich ist.

Diese Prämissen sind wärmetechnisch begründet, aber praktisch nicht immer vollständig realisierbar. So wird besonders die Auswahl von Gebäudeform und -größe sowie von Gebäudeöffnungen durch die landwirtschaftliche Technologie und die Systemlösung der Lüftungstechnik bestimmt.

### 2.2. Auswirkung der Bauweisen

Durch Nutzung hochwirksamer Wärmedämmstoffe zur Verbesserung der Wärmedämmung sowie zur Erzielung eines hohen Vorfertigungsgrades und einer effektiven

Montage entstanden in den letzten 15 bis 20 Jahren Baukonstruktionen in Leichtbauweise, die eine Änderung der thermischen Schutzfunktion zur Folge hatten. Aufgrund der im Gegensatz zu Massivbauten geringen Speicherfähigkeit von Leichtbaukonstruktionen sind die Phasenverschiebung und die Temperaturamplitudendämpfung gering [3], d. h. die Bauweise hat einen wesentlichen Einfluß auf die Wechselwirkung zwischen Außen- und Raumklima. Das gilt im wesentlichen aber nur für Wohn- und Gesellschaftsbauten. Die temperatursgleichende Wirkung massiver wärmespeichernder Bauteile kann zwar auch im Stallbau unter gewissen Voraussetzungen Vorteile haben, darf jedoch nicht überbewertet werden und zu einer Diskriminierung bewährter Leichtbaukonstruktionen führen, die mit ihrer ausgezeichneten Wärmedämmfähigkeit gegenüber massiven Bauten außerordentlich wirtschaftlich sein können.

Demgegenüber wird in [4] darauf hingewiesen, daß für Außenwände in Leichtbauweise hochwertige und teure Baustoffe eingesetzt werden müssen und dadurch die Herstellungskosten steigen (z. B. bei einer Metall-Vorhangsfassade im Wohnungsbau auf das 20fache). Im bauphysikalischen Sinn leisten diese Lösungen aber oft nur ein Minimum.

Ställe in Leicht- oder Massivbauweise unterscheiden sich hauptsächlich durch die Konstruktion der Außenwandflächen [5]. Fußböden, Fenster, Tore, Decken und Dächer sind in allen Teilen annähernd gleich. Wichtig ist dabei jeweils der Flächenanteil der einzelnen Bauteile. Bei Kompaktbauten ist jedoch eine erhebliche Verminderung von Wandflächenanteilen und eine Vergrößerung von Fußböden-, Decken- und Dachflächenanteilen festzustellen. Dadurch verliert die o. g. Klassifizierung in Leicht- und Massivbauweise für solche Bauten an Bedeutung.

Eine Klassifizierung von Stallbauweisen analog dem im Wohnungs- und Gesellschaftsbau angewendeten System ist nicht sinnvoll. Das ergibt sich aus den o. g. Gründen und der intensiven Belüftung der Stallräume. Trotzdem dürfen bei konkreten Projektierungsaufgaben die beschriebenen wärmetechnischen Zusammenhänge nicht unberücksichtigt bleiben.

### 2.3. Schichtaufbau

#### vom Raumumschließungsflächen

Bei der Gestaltung von Raumumschließungsflächen wird zwischen ein- und mehrschichtigem Aufbau unterschieden. Wände und Decken von massiven Bauwerken sind meistens einschichtig. Der mehrschichtige Aufbau entstand mit der Entwicklung des Leichtbaus. Sie erfordern anspruchsvolle wärme- und feuchtigkeitsstechnische Berechnungen [6] zur Vermeidung von Bauschäden durch Wasserdampfkondensation innerhalb der Konstruktion. Für einen optimalen Wärme- und Feuchtigkeitsschutz ist die Reihenfolge der Schichten wichtig. Dabei ist die

wärmespeichernde (massive) Schicht innen, die Wärmedämmung außen und die Sperrschicht auf der warmen Seite der Dämmschicht anzuordnen.

## 3. Experimentelle Untersuchungen

### 3.1. Vorbetrachtungen

Für die richtige Durchführung von bauphysikalischen Messungen an Stallgebäuden muß folgendes berücksichtigt werden:

- Meßverfahren (Methode, Meßgrößen)
- Baukörpermaße/Raumgeometrie (Grundriß, Querschnitt)
- Technologie/Verfahren (Aufstellung, Fütterung, Entmistung, Klimagegestaltung)
- Randbedingungen (Außenklima, Raumklima).

### 3.2. Bestimmung bauphysikalischer Größen

Bei den bauphysikalischen Größen (Wärme- und Feuchteschutzgrößen) [7] (Tafel 1) ist besonders die Kenntnis des Wärmedämmwerts, der Wandoberflächentemperatur (innen), der äußeren und inneren Lufttemperatur sowie des Feuchtegehalts des Baustoffs erforderlich, da mit diesen die Transmissionswärmeverluste bzw. Wärmebelastung und Feuchteschutz bestimmt werden können. Das Bild 1 enthält bekannte Meßverfahren zur Bestimmung des Wärmestroms (Wärmestromdichte) bzw. des Wärmedämmwerts von Bauwerksteilen [9, 10, 11]. Bei den instationären Verfahren wird das Meßobjekt wenig belastet (Kurzzeitverfahren). Sie sind z. Z. nur für einschichtige homogene Wandelemente anwendbar, und der Auswerteaufwand ist sehr hoch [9]. Stationäre Meßverfahren sind dagegen relativ einfach in der Handhabung und bei der Auswertung.

Da der Wärmedämmwert den stationären Wärmetransport charakterisiert, sind die stationären Meßmethoden für seine Bestimmung wesentlich geeigneter. Der Wärmedämmwert ist für plattenförmige Körper als Quotient aus Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen einer Platte und der Wärmestromdichte, die sich beim stationären Wärmetransport in diese Platte einstellt, definiert. Meßtechnisch wird diese Größe durch die Bestimmung der Temperaturdifferenz ( $\Delta T = t_{o,i} - t_{o,e}$ ) und der Wärmestromdichte im stationären Zustand ermittelt. Der Wärmestrom kann dabei entweder durch natürliche (passive) Verfahren oder künstliche (aktive) Verfahren erzeugt werden. Aktive Verfahren teilen sich weiter auf in relative und absolute (Bild 2) [9, 10, 11].

Bei der Bestimmung des Wärmedämmwerts mit Hilfe eines Absolutverfahrens muß nur der Temperaturgradient gemessen werden. Der Wärmestrom wird dabei aus der Heizleistung bestimmt. Dabei muß weitgehend gesichert sein, daß der Wärmestrom nur durch den zu untersuchenden Probekörper fließt. Damit ist ein hoher Aufwand verbunden, um die Wärmeverluste an den Rändern des Untersuchungsobjekts möglichst zu vermeiden.

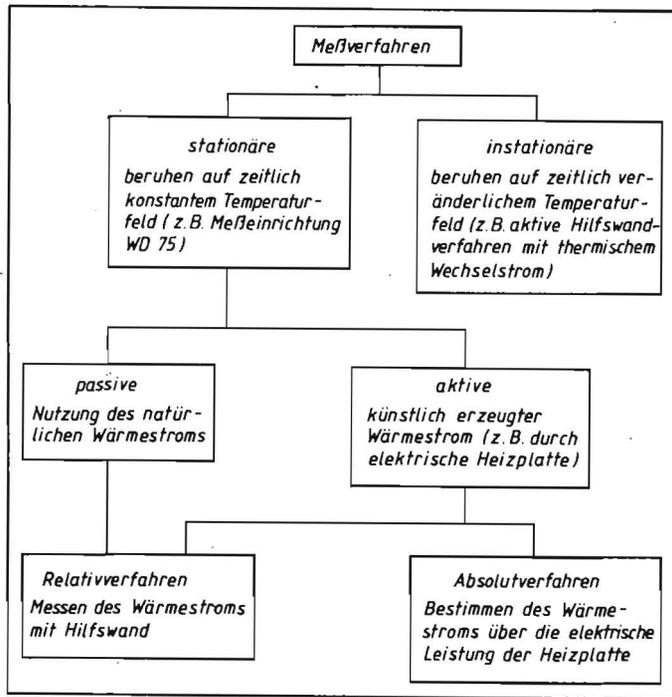


Bild 1  
Verfahren zur Bestimmung von Wärmestrom und Wärmedämmwert nach [10, 11]

Weiterhin sind die Wärmeverluste durch die Zuleitungsdrähte zu beachten. Bei einem Relativverfahren (Vergleichsverfahren) werden Meßwand (Meßobjekt) und Vergleichswand (Hilfswand) vom Wärmestrom durchströmt.

Der Durchlaßwiderstand einer Wand ergibt sich aus dem Wärmedämmwert der Hilfswand und den gemessenen Temperaturdifferenzen von Meßwand und Hilfswand. Vorteilhaft ist bei diesem Verfahren die Tatsache, daß nur eine thermische Größe gemessen wird. Die erforderliche genaue Kenntnis des Wärmedämmwerts der Hilfswand sowie deren Abhängigkeit von der Temperatur, dem Feuchtegehalt usw. und die Konstanz dieser Größen nach mehrmaligem Einsatz erschweren die Anwendung des passiven Relativverfahrens (Bild 2, I). Zur passiven Messung des Wärmedämmwerts muß ein natürlicher Wärmestrom vorhanden sein, d. h. diese Messungen werden vorteilhaft bei großen Temperaturdifferenzen (z. B. im Winter) durchgeführt.

Dagegen wird beim aktiven Meßverfahren (Bild 2, II und III) der Wärmestrom durch die Heizung elektrisch erzeugt. Diese Verfahren können unabhängig von den gegebenen natürlichen Temperaturverhältnissen arbeiten. Nachteilig ist dabei die Störung der Eindimensionalität des Temperaturverlaufs in der Wand durch die seitlichen Wärmeverluste zu unterbinden, wird in der Heizfläche ein gesteuerter Schutzheizring vorgesehen. Die eindimensionale Führung des Wärmeflusses im Meßobjekt durch eine Schutzheizung führt außerdem zur Verringerung der Größe der Meßanordnung und zur Vermessung inhomogener Meßobjekte. Ein weiterer Nachteil aktiver Meßverfahren ist die Feuchteverlagerung in das Meßobjekt (zu messendes Bauteil) aufgrund der Wärmeeinwirkung (Heizung). Deshalb ist es sinnvoll, vor der Wärmedämmmessung den Feuchtegehalt der zu untersuchenden Bauteile zu ermitteln. Die o. g. stationären aktiven Meßverfahren wurden an der Ingenieurhochschule Cottbus entwickelt. In der DDR hat sich ein stationäres passives Relativverfahren – WD 75 – bewährt [11]. Dabei wird das Hilfswandverfahren kombiniert mit der Messung der Oberflächentemperaturen der zu untersuchenden Wand angewendet. Durch Anordnung der Meßsonde als Hilfswand wird die Wärmestromdichte auf der inneren Wandoberfläche und über eine Thermoelementkette die Differenz zwischen innerer und äußerer Wandoberflächentemperatur gemessen. Wegen des geringen Wärmedämmwerts der Hilfswand wird die Homogenität des zu messenden Wärmestroms nicht verletzt. Durch relativ lange Meßzeiten (mindestens 2 Wochen) sowie durch integrierte Mittelwertbildung der Meßgrößen werden sowohl die durch das Anbringen der Hilfswand verursachten Störungen des Temperaturfeldes als auch die Meßfehler, die durch die Wirkung der Wärmespeicherung des Meßobjekts infolge der Schwankung der Außenklimaparameter entstehen, eliminiert.

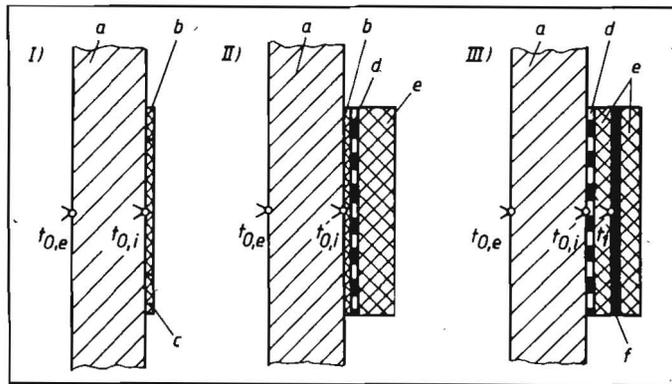


Bild 2  
Prinzipische Skizzen der Meßverfahren zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstands; I) passives Relativverfahren, II) aktives Relativverfahren, III) aktives Absolutverfahren  
a Wand, b Hilfswand, c Thermoelementkette, d Heizung, e Dämmplatte, f Gegenheizung

Tafel 1. Meßverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehalts von Bauwerksteilen [8]

Meßverfahren	genutzter Effekt	Bemerkungen/Nachteile bezogen auf das Bauwesen
gravimetrisches oder Dörrverfahren	Bestimmung der Massendifferenz durch Zwangstrocknung der Probe	Verwendung als Grundlage zum Kalibrieren, beeinflußt das Meßobjekt und ist nicht zerstörungsfrei
Kernstrahlung	Strahlungsstreuung, -schwächung	genaue Messung möglich, sehr spezialisierter Einsatz bei strengen Strahlenschutz-Sicherheitsvorkehrungen
Mikrowellen	Strahlungsstreuung, -schwächung; dielektrische Eigenschaften; Spektroskopie	genaue Messung möglich
Infrarotstrahlung	Strahlungsreflexion, Strahlungsspektroskopie	Messung nur im Oberflächenbereich möglich
thermische Stoffkennwerte	Wärmeleitfähigkeit	beeinflußt das zu messende Feuchtefeld
Kalziumkarbid	Azetylenbildung	Meßprobe wird zerstört
Farbindikatoren	Farbänderungen von Salzen	Feuchtefeld im Meßmedium wird beeinflußt
elektrische Verfahren	elektrische Leitfähigkeit; dielektrische Eigenschaften	Störanfälligkeit gegenüber Ionenkonzentrations- und Temperaturänderungen, sehr universelle und einfache Handhabung der Meßtechnik

### 3.3. Meßverfahren und Meßmethoden zur Bestimmung des Feuchtegehalts von Baustoffen und Bauteilen

Mit steigendem Feuchtegehalt erhöhen sich die Transmissionswärmeverluste und dadurch die Heizkosten der Bauten. Außerdem können übermäßig hohe Feuchtegehalte von

Mauerwerken und Betonkonstruktionen zu biologischen, chemischen und mechanischen Zerstörungen sowie Pilzbefall, Salzausscheidung und Frostschäden führen. Bei der Rekonstruktion von Gebäuden werden Methoden der Bauwerkstrockenlegung, z. B. elektroosmotische Verfahren, angewendet. Die Feuchtemeßtechnik soll dabei helfen, die Wirkungsweise von ausgeführten Trockenlegungen zu kontrollieren. Die Bestimmung des Feuchtegehalts kann direkt nach dem gravimetrischen Verfahren oder indirekt durch Ausnutzung der physikalischen Eigenschaften der absorbierten Wassermoleküle bzw. der physikalischen Eigenschaften des absorbierenden Stoffes von der Wasserbeladung erfolgen. Tafel 1 enthält eine Zusammenstellung der im Bauwesen geläufigen Feuchtemeßverfahren [8]. Dabei ist das gravimetrische Verfahren das genaueste und wird zur Kalibrierung aller weiteren Verfahren genutzt. Gegenwärtig gibt es noch kein geeignetes Verfahren, um an Bauteilen zerstörungsfrei und mit geringem Aufwand sowie entsprechender Genauigkeit den Feuchtegehalt zu bestimmen.

**4. Zusammenfassung**  
Verfahren der Wärme- und Feuchteuntersuchungen an raumschließenden Bauwerksteilen von Stallgebäuden dienen der Festlegung von geeigneten Maßnahmen zur Sanierung. Vorhandene Meßverfahren und Meßmethoden werden erläutert und deren Eignung diskutiert. Bei der Durchführung der Messungen müssen grundlegende Prüfmethoden beachtet werden. Es ist bei jeder Untersuchung eine komplexe Betrachtung vorzunehmen, um alle Ein- und Ausgangsinformationen und Randbedingungen zu ermitteln.

#### Literatur

- [1] Schilling, O.; Kühnhausen, S.; Knispel, A.: Faktoren der thermischen Beeinflussung von Ställen. *agrar-technik*, Berlin 39 (1989) 1, S. 3–4.
- [2] Petzold, K.: Zum Einfluß von Form und Größe der Gebäude auf den Heizenergiebedarf. *Luft- und Kältetechnik*, Berlin 19 (1983) 3, S. 130–135.
- [3] Petzold, K.: *Wärmelast*. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- [4] Eichler, F.; Arndt, H.: *Bauphysikalische Entwurfslehre*. Bautechnischer Wärme- und

Feuchtigkeitschutz. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1982.

- [5] Borchert, K.-L.: *Bauliche und technische Grundlagen zur Planung geschlossener Ställe mit optimalem Raumklima*. ALB-Schriftenreihe, Frankfurt (Main) (1966) 27.
- [6] TGL 35 424/05 *Bautechnischer Wärmeschutz; Feuchtigkeitsbilanz für Bauwerksteile*. Ausg. Februar 1981.
- [7] Kühnhausen, S.; Schilling, O.; Knispel, A.: Voraussetzungen zur Gestaltung energieökonomischer Anlagen der Tierproduktion. *agrar-technik*, Berlin 38 (1988) 2, S. 54–56.
- [8] Becker, C.: Ein dielektrisches Meßverfahren mit Sonde zur Bestimmung von Flüssigkeitskonzentrationen, besonders in Baustoffen. Technische Universität Dresden, Schriftenreihe der Sektion Architektur, AID-Heft 16 (1980), S. 19–27.
- [9] Dreyer, J.; Rogatz, H.: Messung von Wärmehin- und Wärmehinderrständen mit absoluten Meßverfahren. *messen – steuern – regeln*, Berlin 29 (1986) 4, S. 153–155.
- [10] Schilling, O.: Entwicklung neuer instationärer Meßverfahren zur Bestimmung thermischer Stoffkennwerte von Bau- und Dämmstoffen. Ingenieurhochschule Cottbus, Dissertation A 1985.
- [11] Dietze, L.: *Heizlastberechnung*. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1977. A 5473

## Eimassepasteurierungsanlage mit Abwärmenutzung

Obering, J. Stein, KDT, VEB Landbauprojekt Potsdam, Hauptabteilung Waren  
Hochschulung, E. Eckert, KDT, VEB Frischeier- und Broilerproduktion Königs Wusterhausen

### 1. Einleitung

Die in den letzten Jahren gestiegenen Forderungen an die Qualität der erzeugten Eimasse hat dazu geführt, daß man zur Einhaltung der Qualitätsparameter die Eimasse nach dem Einschlag nicht nur abkühlen [1], sondern möglichst auch pasteurisieren will. Nachstehend wird eine Eimassepasteurierungsanlage vorgestellt, die unter Anwendung der Kälte-Wärme-Kopplung die Abwärme der Kältemaschinen zur Heizwassererzeugung für die Pasteurisierung sowie für die Gebrauchswarmwasserbereitung (GWV-Bereitung) nutzt. Projektiert wurde die Anlage vom VEB Landbauprojekt Potsdam, Hauptabteilung Waren, für den VEB Frischeier- und Broilerproduktion Königs Wusterhausen. Die bisherige Realisierung erfolgte durch den VEB Rationalisierungsmittel- und Anlagenbau der Nahrungsgüterwirtschaft Berlin und den Auftraggeber selbst.

### 2. Beschreibung der Anlage

#### 2.1. Ausrüstungstechnischer Teil

Wie im Bild 1 dargestellt, gelangt das Vollei vom Eieinschlagroboter (Bild 2) in den Vorlaufbehälter 1, in dem die Eimasse zur Erreichung eines kontinuierlichen Eimasseflusses durch den Plattenwärmeübertrager angestaut wird. Vom Vorlaufbehälter wird die Eimasse mit der füllstandsgesteuerten Kreiselpumpe 2 durch das Trommelsieb 3 und einen der Flaschenfilter 4 gepumpt (Bild 3).

Danach wird die Eimasse zur Kühlung auf eine Temperatur von etwa 4°C durch den Plattenwärmeübertrager 5 geleitet und im Eimasselagerbehälter 6 zwischengelagert. Mit der Kreiselpumpe 7 wird die Eimasse aus dem Lagerbehälter über einen weiteren Flaschenfilter 8 in das schwimmergesteuerte Vorlaufgefäß 9 gefördert.

Die Eimasse wird von der Kreiselpumpe 10 zum Plattenwärmeübertrager 11 gefördert und dort im Gegenstrom in der 2. Sektion durch abzukühlende Eimasse von 4 auf 46°C und in der 1. Sektion durch Gebrauchswarmwasser von 46°C auf eine Temperatur von 63°C erwärmt.

Mit dieser Temperatur wird die Eimasse im Rohrheizhalter 12 6 min lang pasteurisiert und über das elektropneumatisch von der Regel- und Umschaltanlage gesteuerte Umschaltventil 13 bei Nichteinhaltung der Pasteurisiertemperatur wieder in das Vorlaufgefäß 9 zurückgefördert (Bild 4).

Werden die Pasteurierungsparameter eingehalten, gelangt die Eimasse vom Rohrheizhalter über das Umschaltventil wieder in den Plattenwärmeübertrager und wird in der 2. Sektion im Gegenstrom durch zu erwärmende Eimasse von 63°C auf 22,4°C und in der 3. Sektion durch Eiswasser von 22,4°C auf eine Lagertemperatur von 4°C abgekühlt. Danach wird die Eimasse in die transporta-

blen Eimasselagerbehälter 14 und 15 abgefüllt und bis zum Abtransport im gekühlten Lagerraum gelagert (Bild 5).

Für die Kreiselpumpen 2 und 10 sind Drehstromsteller vorgesehen, mit denen durch Veränderung der Motordrehzahl eine Anpassung der Pumpenleistung an die erforderliche Leistung ermöglicht wird.

Eine mechanische Drosselung des Eimassestromes entfällt.

Zur Reinigung der eimasseführenden Anlagenteile sind die drei Reinigungsmittelbehälter 16, 17 und 18 vorgesehen. Davon sind die Behälter 17 und 18 elektrisch beheizt, um die Reinigungsmittel Clarin und Purin aufgeheizt wiederverwenden zu können. Der Reinigungsmittelbehälter 16 dient zur Spülung der Anlage mit Kalt- oder Gebrauchswarmwasser.

Zur Reinigung der Lagerbehälter werden in die Behälterdeckel Spritzköpfe mit Schlauchverbindung eingesetzt.

Das erforderliche Reinigungsmittel bzw. Kalt- oder Gebrauchswarmwasser wird über die Kreiselpumpe 19 durch das Rohrnetz und die Spritzköpfe in die Lagerbehälter 6 bzw. 14 oder 15 oder in den Vorlaufbehälter 1 gepumpt. Der Reinigungskreislauf wird durch Betätigen der Rohrleitungsarmaturen direkt an der Saugseite der Kreiselpumpe 19 und durch Zuschalten der Kreiselpumpen 2, 7 oder 10 geschlossen. Über diese Pumpen erfolgt nach Beendigung des Reinigungsvo-