

Bild 4. Stehender Druckspeicher (40 m³) in der Nähe der Hauptverbraucher mit Details (Thermometer, Anschlüsse für Nachheizung)

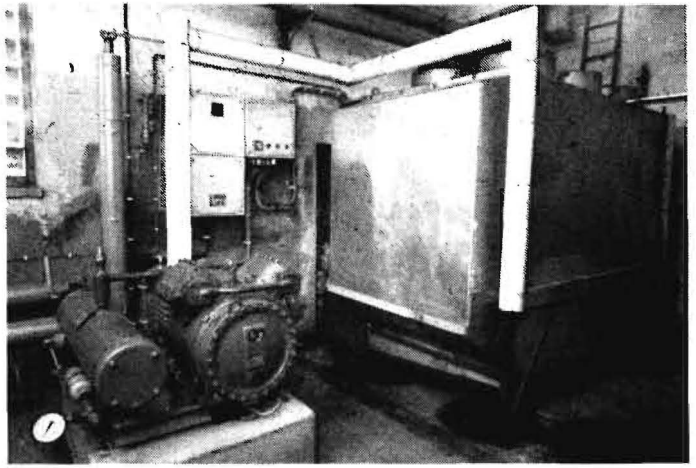


Bild 5. Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Nachheizung in der Nähe der Hauptverbraucher (Fotos: K. Steindorf-Sabath)

Mit der vorgestellten Lösung ist es darüber hinaus problemlos möglich, durch einen Plattenwärmeübertrager mit dem GWW Frischmilch für die Tränkkälbersversorgung aufzuheizen und damit die bisher übliche elektrische Aufbereitung abzulösen.

#### Literatur

[1] Stein, J., u. a.: Erarbeitung einer Aufgabenstellung für die Projektierung zur Überleitung des NV 24/80 – Wärmepumpen in Tierproduktionsanlagen. VEB Rindermast Hohen Wangelin, Abschlußbericht zur NVe A 15/81, 1981 (unveröffentlicht).

[2] Schmidt, J.: Wärmegewinnung aus Brunnenwasser – Erprobung der Wärmepumpenanlage Hohen Wangelin. VEB Landbauprojekt Potsdam, Hauptabteilung Waren, Abschlußbericht zur Erprobung 1983 (unveröffentlicht).

A 4346

## Erprobung von Wärmepumpenanlagen zur Güllewärmenutzung

Dipl.-Phys. K. Zlotowski, Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR

### 1. Einleitung

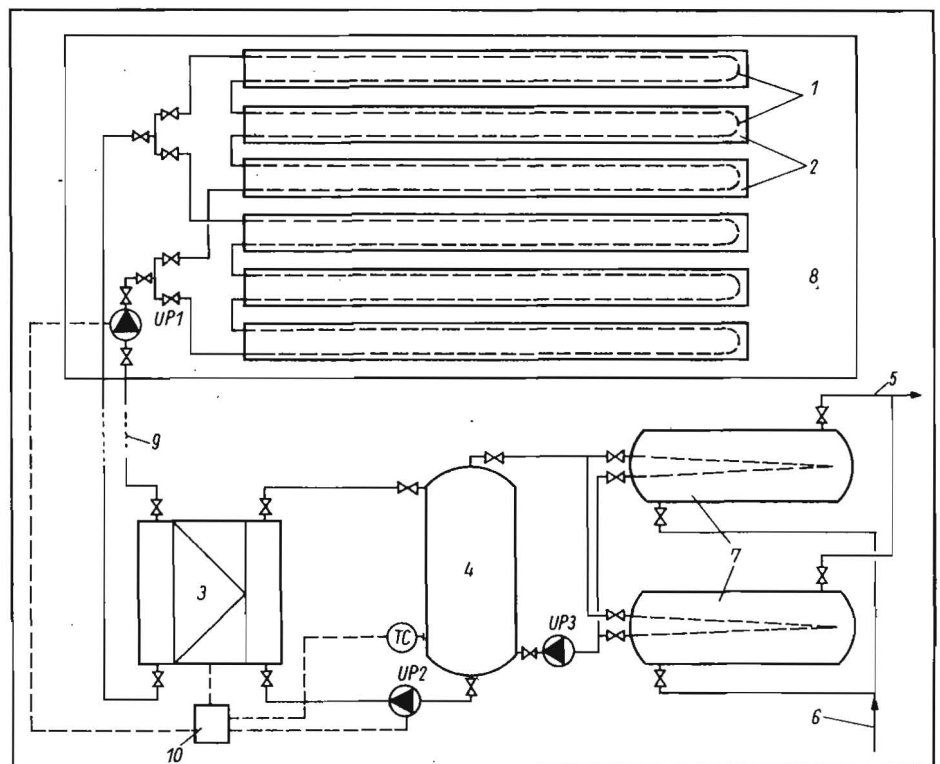
Vom Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock wurden in der LPG „Clara Zetkin“ Herbsleben (Bezirk Erfurt) mehrere Wärmepumpenanlagen mit Kleinwärmepumpen untersucht. Über Untersuchungsergebnisse zur Güllewärmenutzung soll nachfolgend informiert werden.

### 2. Beschreibung der Wärmepumpenanlage

Die Wärmepumpenanlage nutzt die Wärme der Gülle aus einem Rindermaststall, der mit fast 800 Tieren mit einer mittleren Lebendmasse von 200 kg/Tier besetzt ist. Zur Erschließung der Wärme der Gülle ist in den 6 Güllekanälen je eine Schleife aus Polyäthylenrohr (PE-Rohr)  $40 \times 4,3$  (Gesamtlänge 890 m, Wärmeübertragerfläche  $87 \text{ m}^2$ ) verlegt, die von Wasser durchströmt und als Wärmeübertrager genutzt wird (Bild 1). Das Wasser wird von einer Umwälzpumpe durch die PE-Rohre in der Gülle gefördert und gelangt nach Erwärmung durch die Gülle zum Verdampfer der Wärmepumpe. Diese überführt die vom Verdampfer aufgenommene Wärme auf ein höheres Temperaturniveau. Die Wärmepumpe liefert am Kondensatoraustritt ein Heizmedium mit einer maximalen Temperatur von  $60^\circ\text{C}$ . Dieses Heizmedium wird durch Umwälzpumpen über einen Warmwasserspeicher den beiden Warmwasserbereitern (Inhalt je 300 l) zugeführt und zu einem Teil zur Beheizung des Sozialgebäudes der Rindermastanlage (mit 2 Klimatrüben) verwendet (im Bild 1 nicht eingezeichnet). Durch einen Temperaturwächter, der im Warmwasserspeicher angeordnet ist, werden die Wärmepumpe und die Umwälz-

pumpen UP 1 und UP 2 bei einer Solltemperatur von  $t_s = 60^\circ\text{C}$  abgeschaltet und bei  $t_s < 56^\circ\text{C}$  wieder eingeschaltet. Bei einer anderen Wärmepumpenanlage besteht der Wärmeübertrager aus Stahlrohr  $57 \times 2,9$  (Wärmeübertragerfläche  $58 \text{ m}^2$ ).

Bild 1. Schaltschema der Wärmepumpenanlage zur Nutzung der Güllewärme in der LPG „Clara Zetkin“ Herbsleben; 1 Wärmeübertrager, 2 Güllekanäle, 3 Wärmepumpe, 4 Warmwasserspeicher, 5 zur Warmwasserverteilung, 6 Kaltwassereinspeisung, 7 Warmwasserbereiter, 8 Stall, 9 Rohrtrasse, 10 Regler



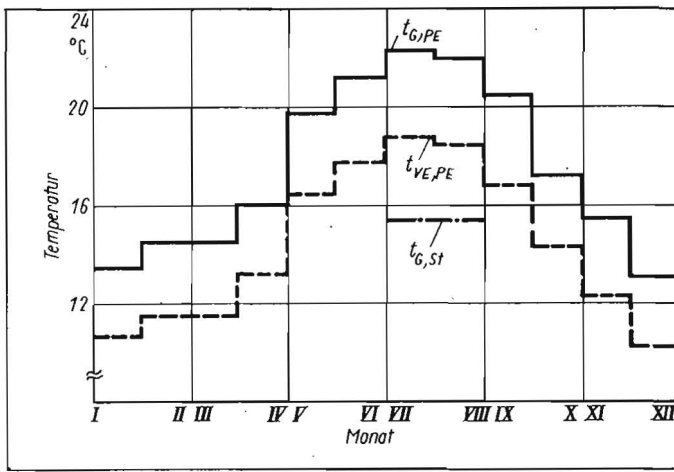


Bild 2 Jahresgang der Gülle-temperatur  $t_G$  und Verdampfeintrittstemperatur  $t_{VE}$ ; Index PE Wärmeübertrager aus PE-Rohr, Index St Wärmeübertrager aus Stahlrohr

### 3. Untersuchungen zur Wärmequellenschließung

Die Wärmequellenschließung hat wesentlichen Einfluß auf die Effektivität von Wärmepumpenanlagen. Für eine optimale Dimensionierung des Wärmeübertragers in der Gülle müssen die Wärmeübergangszahl für den Wärmeübergang Gülle/Rohrwand, das Temperaturniveau der Gülle im vorgesehenen Nutzungszeitraum in der Verlegetiefe des Wärmeübertragers und das nutzbare Wärmepotential bekannt sein.

Aus Messungen wurden für den Wärmeübergang Gülle/Rohrwand Wärmeübergangszahlen  $\alpha_s = 30 \dots 38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  ermittelt. Deshalb sollte bei Auslegung von Wärmeübertragern mit  $30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  gerechnet werden. Die Ermittlung des nutzbaren Wärmepotentials ist nur über eine Energiebilanz möglich. Die Energiebilanz ist aber aufgrund vieler nur mit hohem Aufwand zu quantifizierender Einflußgrößen in der Praxis nicht sicher zu erstellen. Durch Messungen wurde die Temperaturverteilung in der Gülle um den Wärmeübertrager ermittelt. Dadurch konnte auch bei sehr hohen Werten für die flächenbezogene Wärmeübertragungsleistung nur bis zu einer Entfernung von 0,15 m vom Wärmeübertrager ein Temperaturgradient nachgewiesen werden. Bei größerem Abstand wurden die gleichen Gülletemperaturen gemessen wie in den Güllekanälen, in denen keine Wärmerückgewinnung erfolgt. Der Mindestabstand bei der Verlegung der Rohrleitungen in der Gülle sollte deshalb 0,3 m betragen.

Im Bild 2 sind Monatsmittelwerte der gemessenen Gülletemperaturen für beide Versuchsanlagen angegeben. Wie ersichtlich, weichen die Gülletemperaturen der beiden Versuchsanlagen erheblich voneinander ab (Juli:  $\Delta t \approx 7 \text{ K}$ ). Deshalb sollten für jede geplante Wärmepumpenanlage zur Güllewärmenutzung als Grundlage für die Projektierung die Gülletemperaturen vorher gemessen werden.

### 4. Hinweise für die Projektierung

#### 4.1. Wärmequellenschließung

Bei der Einsatzvorbereitung von Wärmepumpenanlagen sollten alle am jeweiligen Standort für eine Nutzung in Frage kommenden Wärmequellen hinsichtlich folgender drei Kriterien gründlich analysiert werden:

- Sie müssen eine ausreichend hohe Verdampfungstemperatur ermöglichen, die im vorgesehenen Nutzungszeitraum möglichst ständig an der Obergrenze des für die betreffende Wärmepumpe vorgegebenen Höchstwerts liegen sollte.
- Sie müssen über ein Potential verfügen, das die vorgesehene Betriebszeit der Wärmepumpe gewährleistet.
- Sie müssen mit möglichst geringem materiellem, finanziellem und energetischem Aufwand erschlossen werden können.

Dabei sollte die zu erwartende Leistungszahl der Wärmepumpenanlage  $\epsilon_{WPA} \geq 2,4$  sein. Mit dieser Leistungszahl werden im Vergleich zur Kohleheizung Primärenergieeinsparungen von rd. 30 % erzielt.

Für Wärmepumpenanlagen zur Güllewärmenutzung müssen die Rohrleitungen des Wärmeübertragers am Boden des Güllekanals unterhalb der Staustufe verlegt werden, da eine Anordnung oberhalb der Staustufe negative Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit der Entmistungsanlage haben kann (Verlegeabstand zwischen den Rohren und zur Wand des Güllekanals  $\geq 0,3 \text{ m}$ ). Bei Wärmeübertragern aus PE-Rohr sind die Rohrleitungen an den Enden und am Boden im Abstand von 10 bis 15 m mit Rohrschellen zu befestigen.

Die Schaltung des Quellenkreislaufs kann entsprechend Bild 1 erfolgen. Zur Minimierung der Druckverluste sollten die Rohrschleifen parallel geschaltet werden. Die Parallelschaltung ist aber nur dann sinnvoll, wenn in jeder Rohrschleife noch turbulente Strömung garantiert ist. Bei laminarer Strömung sinkt die Wärmeübergangszahl für den Wärmeübergang Rohrwand/Wasser stark ab. Zur Kompensation von Volumenänderungen des Wärmeträgers im Quellenkreislauf ist ein Ausdehnungsgefäß vorzusehen. Die Auslegung der Wärmepumpenanlage und damit auch des Wärmeübertragers muß so erfolgen, daß die mittlere Leistungszahl der Wärmepumpenanlage im vorgesehenen Benutzungszeitraum  $\epsilon_{WPA} \geq 2,4$  ist:

$$\bar{\epsilon}_{WPA} = \frac{\bar{Q}_H}{\bar{P}_{WP} + P_{UP,Q}} \geq 2,4;$$

- $\bar{Q}_H$  mittlere Heizleistung der Wärmepumpe
- $\bar{P}_{WP}$  mittlerer Elektroleistungsbedarf der Wärmepumpe
- $P_{UP,Q}$  Elektroleistungsbedarf der Umwälzpumpe im Quellenkreislauf.

Die Wärmeübertragerfläche muß also so groß bemessen werden, daß bei Einhaltung der für den jeweiligen Einsatzfall erforderlichen Vorlauftemperatur im Heizkreislauf und bei der durch Messungen im vorgesehenen Nutzungszeitraum ermittelten Gülletemperatur eine Temperatur des Wärmeträgers am Verdampfeintritt erreicht wird, die gemäß den vom Hersteller angegebenen Leistungsdaten der Wärmepumpe bei Berücksichtigung des Leistungsbedarfs für die Umwälzpumpe im Quellenkreislauf eine Leistungszahl  $\epsilon_{WPA} \geq 2,4$  garantiert. Praktisch sollte so verfahren werden, daß man für die erforderliche Vorlauftemperatur im Heizkreislauf und für eine ausgehend von der Gülletemperatur abgeschätzte Temperatur des Wärmeträgers am Verdampfeintritt ( $t_{VE} \approx t_G - 3 \text{ K}$ ) die Heizleistung, die Antriebsleistung der Wärmepumpe und die erforderliche Quellenleistung aus den Leistungsdaten der Wärmepumpe ermittelt.

Aus der erforderlichen Quellenleistung  $\dot{Q}_0$  wird unter Berücksichtigung der Stoffdaten des vorgesehenen Materials für den Wärmeübertrager die erforderliche Wärmeübertragerfläche  $A_{WU}$  ermittelt:

$$A_{WU} = \frac{\dot{Q}_0}{k \Delta t_m}$$

- $\Delta t_m$  mittlere logarithmische Temperaturdifferenz zwischen der Gülle- und der Wärmeträgertemperatur
- $k$  Wärmedurchgangszahl.

Als Wärmeübergangszahl für den Wärmeübergang Gülle/Rohrwand sollte  $\alpha_s = 30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  angesetzt werden.

Dann sind für die ermittelte Wärmeübertra-

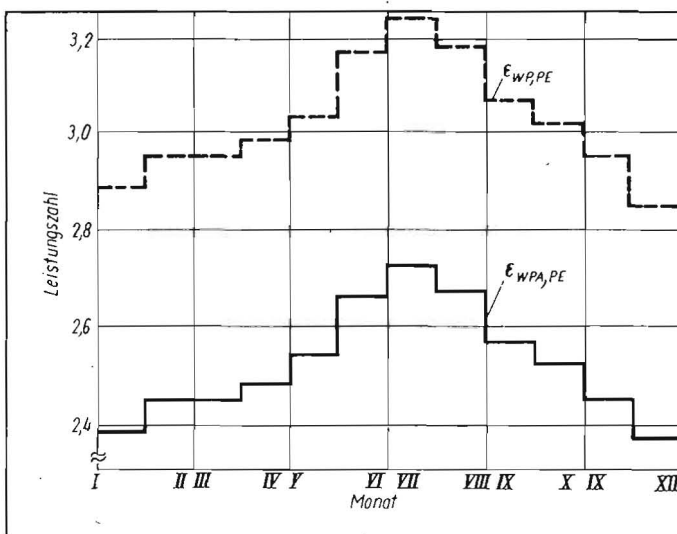


Bild 3 Jahresgang der Leistungszahlen der Wärmepumpe  $\epsilon_{WP}$  und der Wärmepumpenanlage  $\epsilon_{WPA}$

gefläche der Rohrverlegungsplan zu entwerfen, die Druckverluste zu ermitteln, eine geeignete Umwälzpumpe auszuwählen und ihr Leistungsbedarf festzustellen. Dabei muß für den Verdampfer der Wärmepumpe WW 12 wasserseitig ein Volumenstrom von 2 m<sup>3</sup>/h garantiert werden. Anschließend ist zu prüfen, ob für die entworfene Lösung eine Leistungszahl  $\bar{\epsilon}_{WPA} \geq 2,4$  erreicht wird. Wird dieser Wert unterschritten, ist die Wärmeübertragerfläche schrittweise so weit zu vergrößern und der verbesserte Entwurf nachzurechnen, bis die angestrebte Leistungszahl erreicht wird.

Abschließend ist zu prüfen, ob für den Minimalwert der Gülletemperatur die Heizleistung der Wärmepumpe ausreicht und ob die Temperatur des Wärmeträgers im Quellenkreislauf hoch genug ist, um ein Abschalten der Wärmepumpe wegen zu geringer Temperatur am Verdampfer eintritt auszuschießen. Gegebenenfalls muß die Wärmeübertragerfläche nochmals vergrößert werden.

#### 4.2. Einbindung der Warmwasserbereiter

Für Wärmepumpenanlagen zur Warmwasserbereitung sind hinsichtlich der Einbindung der Warmwasserbereiter in den Kondensatorkreislauf zwei prinzipiell verschiedene Schaltungen anwendbar. Bei der direkten Erwärmung wird das zu erwärmende Wasser durch den Kondensator geleitet und dabei erwärmt. Im Fall der indirekten Erwärmung erfolgt die eigentliche Erwärmung des Wassers über einen Wärmeübertrager, dem die Wärmeenergie von der Wärmepumpe über einen Heizkreislauf zugeführt wird (s. Bild 1).

Die direkte Erwärmung des Wassers ist energetisch günstiger, da zum Erreichen der gewünschten Warmwassertemperatur eine geringere Kondensationstemperatur als bei der indirekten Erwärmung erforderlich ist. Diese Lösung ist aber aus hygienischen Gründen nicht generell anwendbar.

Wenn die indirekte Warmwasserbereitung gewählt wird, kann die Schaltung analog Bild 1 genutzt werden. Auf den Warmwasserspeicher sollte jedoch verzichtet werden, wenn das nicht durch besondere Einsatzbe-

dingungen der Wärmepumpen (z. B. kombinierte Nutzung für Heizung und Warmwasserbereitung) erforderlich ist.

Weitere Schaltungsvarianten sind in [1] angegeben.

Aus ökonomischen Gründen sollte nur ein Warmwasserspeicher eingesetzt werden, dessen Speichervolumen i. allg. den täglichen Warmwasserbedarf fassen muß. Aus energetischer Sicht ist die ausreichend große Bemessung der Wärmeübertragerfläche des Heizregisters wichtig. Sie sollte so bemessen werden, daß die Übertemperatur des Heizwarmwassers gegenüber der Warmwassertemperatur  $< 5$  K ist. Nach Berechnungen muß deshalb die Wärmeübertragerfläche des Heizregisters beim Einsatz einer Wärmepumpe WW 12 mindestens 5,7 m<sup>2</sup> betragen.

Außerdem sollten bei der Errichtung von Wärmepumpenanlagen zur Warmwasserbereitung folgende Punkte beachtet werden:

- Warmwasserbereiter sollen dem realen Wasserbedarf möglichst gut angepaßt sein, da eine Überdimensionierung zu höheren Kosten und höheren Transmissionswärmeverlusten führt.
- Auf eine gute Isolierung der Leitungen und Speicher ist Wert zu legen, um die Wärmeverluste minimal zu halten. Außerdem muß in schlecht isolierten Systemen der hohe Temperaturabfall durch eine höhere Kondensationstemperatur ausgeglichen werden, was eine Verringerung der Leistungszahl der Wärmepumpe bewirkt.
- Die Warmwasserbereitungsanlagen sollten mit konventionellen Heizanlagen gekoppelt arbeiten, um in Havariefällen die Warmwasserbereitung zu garantieren.
- Wenn periodisch in größeren Abständen (z. B. einmal wöchentlich bei der Reinigung nach der Ausstellung) ein höherer, aber planbarer Warmwasserbedarf auftritt, ist es häufig sinnvoller, mit der ohnehin vorhandenen konventionellen Heizanlage den erhöhten Bedarf zu decken, als die Wärmepumpenanlage so groß auszu-legen, daß der Maximalbedarf gedeckt werden kann.
- Unbedingt sollte gewährleistet sein, daß ausreichend Meßtechnik zur Überwa-

chung der Wärmepumpenanlage eingebaut wird.

- Wärmepumpenanlagen mit einer Leistungszahl  $\bar{\epsilon}_{WPA} < 2$  erbringen im Vergleich zu Warmwasserbereitungsanlagen mit Kohleheizung keine Primärenergieeinsparungen und sollten deshalb nicht errichtet werden.

#### 5. Energetische Bewertung

Im Bild 3 sind die Monatsmittelwerte der Leistungszahlen für die untersuchte Wärmepumpe WW 12 und die Wärmepumpenanlage angegeben. Im Jahresmittel erreichte die Leistungszahl der Wärmepumpenanlage  $\bar{\epsilon}_{WPA} = 2,55$ . Die Primärenergieeinsparung im Vergleich zur Kohleheizung beträgt rd. 32%.

#### 6. Ökonomische Bewertung

Die ökonomische Bewertung erfolgte nach Standard TGL 190-452 auf der Basis der vereinfachten Aufwandkennzahlen. In die Bewertung der beiden Wärmepumpenanlagen wird zum Vergleich eine Warmwasserbereitungsanlage mit Braunkohlenheizung einbezogen, die aus einem Gliederkessel, Umwälzpumpen, Rohrleitungen und Warmwasserbereiter besteht. Dabei wurde davon ausgegangen, daß die Warmwasserbereitungsanlagen nur außerhalb der Heizperiode betrieben werden. Im Winter erfolgt die Warmwasserbereitung durch das Kohleheizhaus der Tierproduktionsanlage. Nach den Berechnungen liegen die spezifischen Kosten für die Wärmepumpenanlage um 46% unter dem Wert für die Anlage mit Kohleheizung. Diese Einsparungen werden nur durch die Reduzierung von lebendiger Arbeit erreicht. Der Investitionsbedarf und die Materialkosten sind für die Wärmepumpenanlage wesentlich höher.

#### Literatur

- [1] Projektierungsrichtlinie für anwendungstechnische Vorzugslösungen für Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme mit Kleinwärmepumpe vom Typ WW 12. VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung Leipzig 1982.

A 3906

## Institut für Energie- und Transportforschung in der Landwirtschaft

Mit Wirkung vom 1. März 1984 ist bei der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR das Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock gebildet worden. Das Institut ist die zentrale wissenschaftliche Einrichtung für die Energie- und Transportforschung in der Landwirtschaft der DDR. Es löst gleichzeitig festgelegte Aufgaben der technologischen Grundlagenforschung. Das Institut hat seinen Sitz in Meißen. Am Sitz des Instituts werden wie bisher Forschungsarbeiten zu Transport, Umschlag und Lagerung und zur technologischen Grundlagenforschung durchgeführt. Die Energieforschung ist in Rostock-Sievershagen konzentriert. Außenstellen hat das Institut im VEG (T) Nordhausen und in der LPG Frühgemüsezentrum Dresden-Kaditz. Das Institut löst vor allem technische und technologische Forschungsaufgaben. Vom Bereich Energetik in Rostock-Sievershagen werden folgende Aufgaben bearbeitet:

- optimierter Energieeinsatz sowie Methoden der Planung und Verteilung der Energieträger und ihre Bilanzierung
  - technische und technologische Lösungen zur Senkung des Energieverbrauchs einschließlich Nutzung von sekundären und alternativen Energiequellen (u. a. Wärmehückgewinnung in Tierproduktionsanlagen, Nutzung von regenerierbaren Energiequellen für die Gewächshausbeheizung sowie Biogaserzeugung und -verwertung).
  - Vom Bereich Transport, Umschlag und Lagerung in Meißen wird an Aufgaben gearbeitet, die folgende Probleme betreffen:
    - perspektivische Gestaltung der Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse
    - Neu- und Weiterentwicklung der Verfahren sowie der Transport- und Umschlagmittel
    - Planung und Leitung der TUL-Prozesse.
- Besondere Schwerpunkte sind u. a. die Ver-

minderung der Bodenbelastung durch Transportfahrzeuge, die Modernisierung von Transport- und Umschlagmitteln sowie die Transportaufwandsenkung.

Von der Abteilung Grundlagen der Technologie werden im Zusammenwirken mit Instituten der AdL und Sektionen der Universitäten und Hochschulen schwerpunktmäßig methodische Aufgaben als Grundlage für eine effektivere Verfahrensforschung bearbeitet und eine systematische Qualifizierung der Technologen durchgeführt.

Das Institut löst seine Aufgaben in Kooperation mit Partnern aus Wissenschaft und Praxis der DDR und Einrichtungen der UdSSR und der anderen sozialistischen Länder. Besondere Verpflichtungen ergeben sich aus der Überleitung und Demonstration des wissenschaftlich-technischen Fortschritts auf den Gebieten „Energetik“ sowie „Transport, Umschlag und Lagerung“ in den Konsultationspunkten „Rationeller Transport und ra-