

# Wirtschaftlicher Energieeinsatz bei der Heißlufttrocknung

Dr.-Ing. J. Dräger, KDT

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR, Betriebsteil Potsdam-Bornim

## 1. Aufgabe

Die Technische Trocknung gehört zu den wesentlichsten Faktoren der Intensivierung der Futterproduktion. Sie trägt zu einer stabilen Versorgung der Viehbestände mit Futter in guter Qualität und damit zur Erfüllung der im Volkswirtschaftsplan gestellten hohen Ziele für die Tierproduktion bei [1].

In der DDR wurden im Jahr 1976 über 2 Mill. t Trockengut produziert, die Trommeltrockner mit Kreuzeinbauten haben hieran den größten Anteil. Zur weiteren planmäßigen Steigerung der Trockengutproduktion sind für das Heißlufttrocknungsverfahren hohe energiewirtschaftliche Aufwendungen notwendig, die entsprechend dem volkswirtschaftlichen Effektivitätskriterium maximal zu nutzen sind. Eine wesentliche Voraussetzung hierzu ist die weitere Verbesserung der Trocknungsanlagen und ihrer Prozeßführung.

Für die durchzuführenden wissenschaftlich-technischen Analysen und experimentellen Untersuchungen zu den bestehenden Gesetzmäßigkeiten des Stoff- und Wärmetransports [2] bestand folgende Zielstellung:

- Erarbeitung einer Betriebscharakteristik für Trommeltrockner mit Kreuzeinbauten, mit deren Hilfe das jeweilige Trocknungsvermögen eines Trockners auf sein Optimum gebracht und die Betriebsparameter — insbesondere Heißluft- und Ablufttemperatur — in Abhängigkeit vom Eintrittswassergehalt des Gutes optimal eingestellt werden können
- Ableitung wissenschaftlich-technisch begründeter Rationalisierungsmaßnahmen in landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen zur Einsparung an Brennstoffenergie und Erhöhung des Trockengutausstoßes.

## 2. Methode

Der Trocknungsprozeß enthält naturwissenschaftlich begründete gegenseitige Abhängigkeiten zwischen

- Wassergehalt des Trockneraufgabegutes

- Heißluft- und Ablufttemperatur
- spezifischer Wasserverdampfung je m<sup>3</sup> Trommelvolumen
- spezifischem Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung
- Trockengutdurchsatz.

Zur Veranschaulichung der bestehenden Zusammenhänge eignen sich Diagramme, die die Heißlufttemperatur und die Ablufttemperatur als Koordinaten und die übrigen Betriebsgrößen als Parameter enthalten. Mit Hilfe dieser Zusammenhänge kann man die optimale Einstellung der Betriebsparameter des Trockners finden, die bei dem durch den Trockner strömenden Trocknungsluftstrom den gewünschten Endwassergehalt des Gutes gewährleisten.

Für die wirtschaftliche Energieanwendung in der Heißlufttrocknung ist der nach den Gln. (1) bis (3) berechnete spezifische Wärmebedarf bedeutsam:

$$q_w = \frac{1}{\eta_T} \frac{h_{Lr} - h_{Lu}}{h_{Lr} - h_{La}} \left[ (h_{Da} - h_{wcr}) + (h_{Ga} - h_{Gr}) \right]; \quad (1)$$

angenäherte Zahlenwertgleichung:

$$q_w = \frac{1}{\eta_T} \frac{\vartheta_{Lr} - \vartheta_{Lu}}{\vartheta_{Lr} - \vartheta_{La}} [2500 + 1,84 \vartheta_{La} - 4,19 \vartheta_{Lu}] + \frac{100 - f_c}{f_c - f_a} (74 + 0,062 \vartheta_{Lr} - 1,68 \vartheta_{Lu}); \quad (2)$$

$$q_G = q_w \frac{f_c - f_a}{100 - f_a}; \quad (3)$$

- q<sub>w</sub> spezifischer Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung in kJ/kg
- q<sub>G</sub> spezifischer Wärmebedarf je kg Trockengut in kJ/kg

- h Enthalpie (Δ Wärmeinhalt) in kJ/kg
- ϑ Temperatur in °C
- f Feuchte des Gutes, bezogen auf Feuchtestanz, in %
- η<sub>T</sub> Wirkungsgrad zur Berücksichtigung von Wärmeverlusten des Trockners

Indizes:

- L Luft
- G Gut
- W Wasser
- D Dampf
- e Eintritt
- a Austritt
- u Zustand der Umgebung.

Der spezifische Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung q<sub>w</sub> dient der energetischen Bewertung des eigentlichen Trocknungsaggregats.

Der Wärmeenergieaufwand für das Gesamtverfahren Trockenfutterproduktion wird durch den spezifischen Wärmebedarf je kg Trockengut q<sub>G</sub> gekennzeichnet.

Gleichung (1) enthält ausschließlich direkt meßbare Zustandsgrößen der Trocknungsluft und des Gutes. Da die Heißlufttemperatur und die Eintrittsfeuchte des Gutes über einen statistischen Zusammenhang verbunden sind, kann der spezifische Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Heißluft- und Ablufttemperatur bestimmt werden.

Die Darstellung im ϑ<sub>La</sub>-ϑ<sub>Le</sub>-Diagramm zeigt, daß bei konstanter Ablufttemperatur die Heißlufttemperatur den Wert von q<sub>w</sub> deutlich beeinflußt (Bild 1). Der spezifische Wärmebedarf wird um so niedriger, je höher die Heißlufttemperatur gewählt wird.

Der spezifische Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung und die Heißlufttemperatur bestimmen eindeutig die spezifische Wasserverdampfung, so daß sich auf diese Weise die Linien konstanter spezifischer Wasserverdampfung — ein Maß für die Trocknerleistung — in das ϑ<sub>La</sub>-ϑ<sub>Le</sub>-Diagramm eintragen lassen (Bild 2). Die Trocknerleistung steigt nahezu linear mit der Heißlufttemperatur.

Bild 1. Zusammenhang zwischen Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung q<sub>w</sub>, Heißlufttemperatur ϑ<sub>Le</sub> und Ablufttemperatur ϑ<sub>La</sub> beim Trommeltrockner UT 66 (Gutart: Grünhafer)

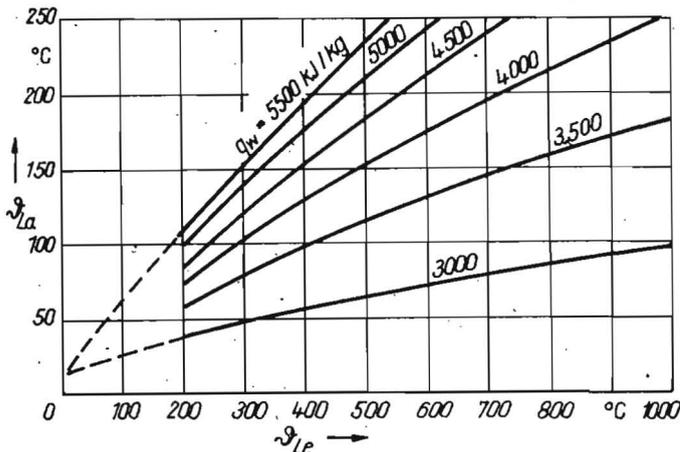
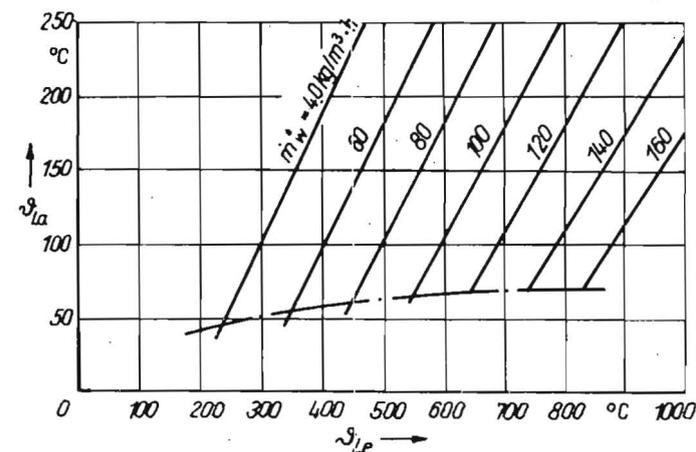


Bild 2. Zusammenhang zwischen spezifischer Wasserverdampfung je m<sup>3</sup> Trommelvolumen m<sub>w</sub><sup>\*</sup>, Heißlufttemperatur ϑ<sub>Le</sub> und Ablufttemperatur ϑ<sub>La</sub> beim Trommeltrockner UT 66 (Gutart: Grünhafer)



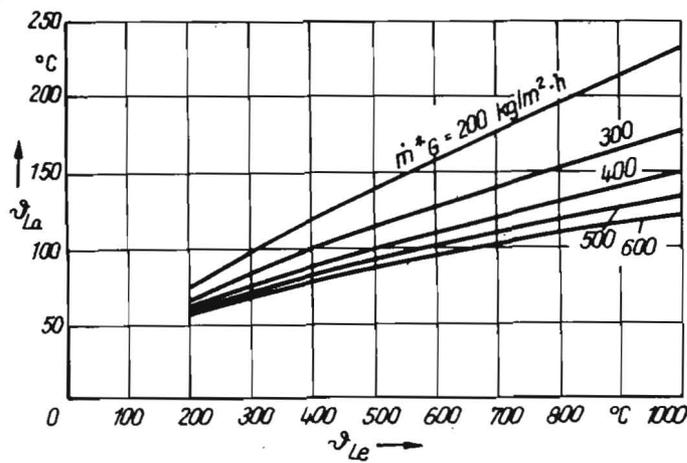


Bild 3. Zusammenhang zwischen dem auf den freien Trommelquerschnitt bezogenen Trockengutdurchsatz  $\dot{m}^*G$ , Heißlufttemperatur  $\vartheta_{Le}$  und Ablufttemperatur  $\vartheta_{La}$  beim Trommeltrockner UT 66 (Gutart: Grünhafer)

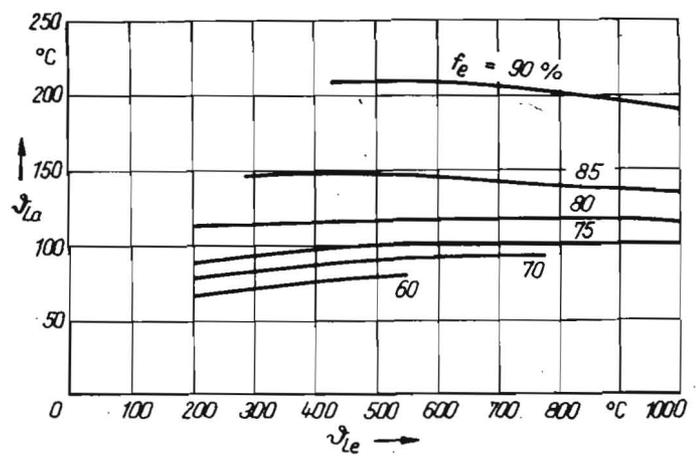


Bild 4. Zusammenhang zwischen Eintrittsfeuchte des Gutes  $f_e$ , Heißlufttemperatur  $\vartheta_{Le}$  und Ablufttemperatur  $\vartheta_{La}$  beim Trommeltrockner UT 66 (Gutart: Grünhafer)

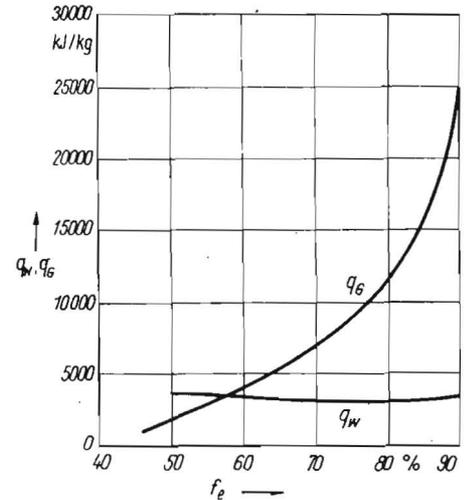
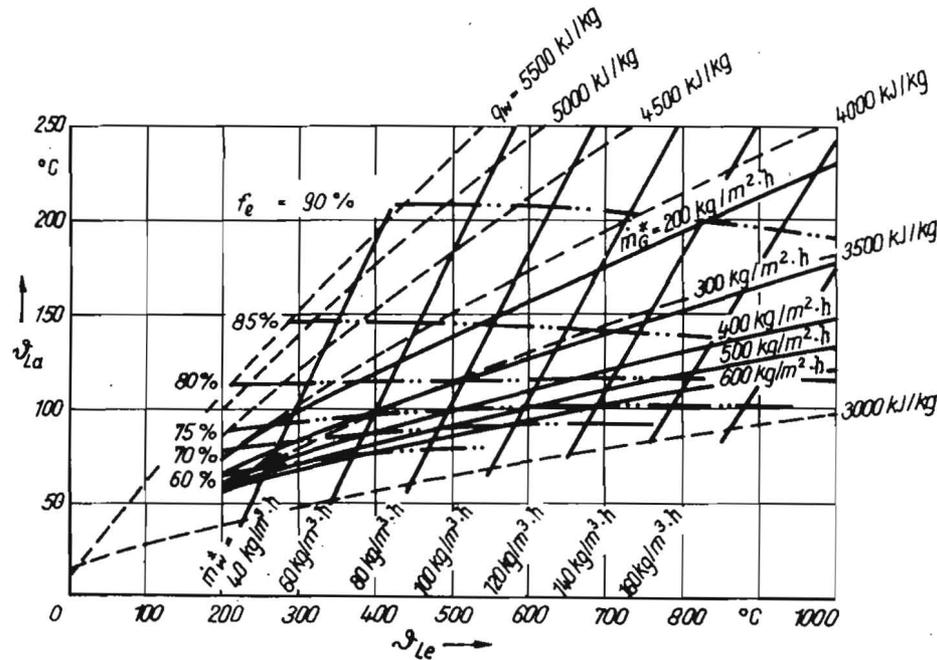


Bild 6. Spezifischer Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Eintrittsfeuchte des Gutes

Bild 5. Betriebscharakteristik des Trommeltrockners mit Kreuzeinbauten (Trommellänge 13 m)

Der erreichbare Trockengutdurchsatz hängt vom Luftstrom, von der Trommeldrehzahl und von dem in der Trommel herrschenden Wärmeübergang zwischen heißer Luft und feuchtem Gut ab. Außerdem hat der Guttransportmechanismus Einfluß.

Die wissenschaftlich-technische Analyse dieses Problems führte in Verbindung mit experimentellen Untersuchungen, die eine radioaktive Markierung des Trockengutes im Trockner einbezogen, zur Bestimmung des Verlaufs der Kurven konstanten Trockengutdurchsatzes im  $\vartheta_{La}-\vartheta_{Le}$ -Diagramm (Bild 3).

Der Trockengutdurchsatz steigt hiernach ebenfalls mit höherer Heißlufttemperatur. Die Wasserbilanz führt für den Fall konstanten Trockengutwassergehalts zu nahezu waagerechten Kurven konstanten Wassergehalts des Trockneraufgabegutes im  $\vartheta_{La}-\vartheta_{Le}$ -Diagramm (Bild 4), d. h., die Ablufttemperatur wird vorwiegend vom Wassergehalt des Trockneraufgabegutes bestimmt.

**3. Ergebnisse**

Die einzelnen Zusammenhänge bilden für den Trommeltrockner mit Kreuzeinbauten eine Betriebscharakteristik, mit deren Hilfe das jeweilige Trocknungsvermögen eines Trockners auf sein Optimum gebracht und die

Betriebsparameter — insbesondere Heißluft- und Ablufttemperatur — optimal eingestellt werden können (Bild 5).

Die Betriebscharakteristik, die für konstanten Trocknungsluftstrom, konstante Trommeldrehzahl und bei Trocknung des Gutes auf eine Austrittsfeuchte  $f_a = 12\%$  gilt, vermittelt in anschaulicher Weise einen Einblick in die Arbeitsweise des Trommeltrockners. Aus zwei beliebigen Größen läßt sich der Betriebspunkt des Trockners mit allen anderen zugehörigen Betriebsgrößen hinreichend genau dem Diagramm entnehmen.

Wird z. B. bei bekanntem Eintrittswassergehalt des Gutes die entsprechende Kurve mit der eingestellten Heißlufttemperatur zum Schnitt gebracht, so erhält man mit dem Betriebspunkt gleichzeitig den zu erwartenden Trockengutausstoß, die Wasserverdampfung und den spezifischen Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung.

Das Betriebsdiagramm ist insbesondere zur Ableitung optimaler Betriebsparameter geeignet, um den Trockner bei jedem Eintrittswassergehalt des Gutes mit maximaler Leistung zu fahren. Die maximale Leistung des Trockners ist dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit vom Wassergehalt ständig eine der drei objektiven Leistungsgrenzen erreicht

wird. Bei niedrigem Wassergehalt ist das der unmittelbar unter der Verstopfungsgrenze liegende maximale Gutdurchsatz der Trommel, bei mittlerem Wassergehalt die Empfindlichkeit des Gutes gegen zu hohe Lufttemperaturen und bei hohem Wassergehalt die maximale Wärmeleistung der Feuerung.

Für einen gegebenen Wassergehalt des Trockneraufgabegutes ist der in Frage kommende Bereich für die Eintrittstemperatur der Trocknungsluft relativ groß (Bild 5). Mit größer werdender Heißlufttemperatur steigt die Wasserverdampfung und damit ebenfalls der Gutdurchsatz. Gleichzeitig sinkt der spezifische Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung. Im praktischen Trocknungsbetrieb wird deshalb die Heißlufttemperatur so hoch wie möglich gewählt.

Wesentlich ist weiterhin, daß die Verläufe der Linien gleichen spezifischen Wärmebedarfes und der Linien gleichen Trockengutdurchsatzes weitgehend übereinstimmen. Das bedeutet, daß bei richtiger Fahrweise des Trockners der spezifische Wärmebedarf je kg Wasserverdampfung nur geringfügig mit kleiner werdendem Eintrittswassergehalt des Gutes steigt. Der Trockengutausstoß erhöht sich dagegen beträchtlich bei Gut mit verminderter Anfangsfeuchte.

Nach Gl. (3) hat der Eintrittswassergehalt des Gutes einen entscheidenden Einfluß auf den spezifischen Wärmebedarf je kg Trockengut. Die grafische Darstellung (Bild 6) zeigt, daß sich z. B. bei einer Verringerung des Eintrittswassergehalts von 82% auf 60% zwar der auf die Wasserverdampfung bezogene Wärmebedarf von 3400 kJ/kg auf 4100 kJ/kg erhöht, der spezifische Wärmebedarf je kg Trockengut sich jedoch von etwa 13000 kJ/kg auf unter 5000 kJ/kg vermindert, was einer Senkung auf fast ein Drittel entspricht. Da die Wirtschaftlichkeit der Heißlufttrocknung in entscheidendem Maß von den Brennstoffkosten je kg Trockengut beeinflußt wird, muß die Forderung nach konsequenter Anwendung des Welkens von Futterpflanzen entschieden bekräftigt werden.

#### 4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Mit dem Ziel, die vorhandene Trocknungskapazität bei wirtschaftlichem Einsatz der Brennstoffenergie maximal zu nutzen, wurden Untersuchungen zur weiteren wissenschaftlich-technischen Durchdringung des landwirtschaftlichen Heißlufttrocknungsprozesses angestellt.

Die als Ergebnis gewonnene Betriebscharakteristik stellt eine Verknüpfung aller wesentlichen Parameter und Einflußgrößen des Trocknungsprozesses in Trommeltrocknern dar.

Dem Anwender, z. B. dem Trocknungsmeister, hilft dieses Diagramm, die inneren Zusammenhänge im Betriebsverhalten bestehender Gleichstromtrockner zu erkennen und deren Fahrweise zu optimieren. Es ist weiterhin als

Grundlage für die Betriebsabrechnung der Trockenwerke, für die Erarbeitung wissenschaftlich begründeter Energieverbrauchsnormen und für die Optimierung der Trocknerauslegung für die verschiedenartigen bekannten und neuen Gutarten geeignet.

Darüber hinaus bildet das Betriebsdiagramm die wissenschaftlich-technische Begründung für durchzuführende Rationalisierungsmaßnahmen in landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen, von denen neben der bereits erörterten Anwendung des Welkens von Futterpflanzen nach der Mahd vorrangig zu nennen sind:

- Vermeidung der Trocknung von Frischgut mit Wassergehalten über 82%, da solches Gut die Kosten des Konservierungsverfahrens Heißlufttrocknung besonders stark erhöht

- Trocknung von Stroh möglichst nur zusammen mit wasserhaltigeren Komponenten, z. B. mit Grünfutter, Rübenblättern, Hackfruchtschnitzeln

Durch diese Maßnahme werden der Trockengutausstoß erhöht und der Füllungsgrad der Trommel vergrößert, was zu einer Verbesserung der Wärmeübertragung führt. Die Trocknung der Strohkomponente erfolgt hier nahezu ohne zusätzlichen Wärmeenergieaufwand.

- Einbau von Falschlufthüllen an dem unzureichend abgedichteten Übergang zwischen dem feststehenden Mischkammerstutzen und der sich drehenden Trommel sowie Abdichtung der Einfüllschürre für das Gut

Dadurch werden die wirksame Heißlufttemperatur erhöht und damit die Trock-

nerleistung und der spezifische Wärmebedarf positiv beeinflusst.

- Einbau von Regeleinrichtungen in kohle-gefeuerte Trockner zur Konstanzhaltung der Ablufttemperatur und damit zur Vermeidung des Übertrocknens des Gutes. Dadurch werden Qualitätsschäden des Gutes und die Vergeudung von Brennstoffenergie verhindert.

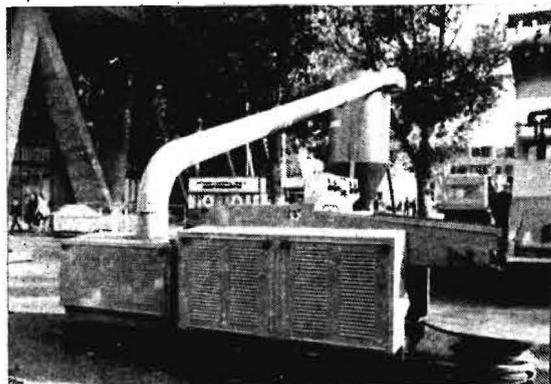
- Einbau zusätzlicher Kreuze in die Schleierzone der Trommel nach dem Beispiel des Trockenwerks Woltersdorf

Durch diese Maßnahme, die sich im Trockenwerk Woltersdorf schon seit mehr als zwei Jahren bewährt hat, werden der Durchsatz des Trockners bei Gutarten mit hohem Wassergehalt vergrößert und gleichzeitig bei allen Gutarten der spezifische Wärmebedarf vermindert.

- Der in einigen Betrieben praktizierte Ausbau der Kreuzeinbauten bei der Trocknung von Stroh muß aus energiewirtschaftlichen Gründen abgelehnt werden, weil durch diese Maßnahme die Wärmeübertragung in der Trommel verschlechtert wird, was sich in der sehr hohen Ablufttemperatur zeigt und zu einer beträchtlichen Erhöhung des spezifischen Wärmebedarfs führt.

#### Literatur

- [1] Honecker, E.: Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den IX. Parteitag der SED. Berlin: Dietz Verlag 1976.
- [2] Dräger, J.: Beitrag zur Klärung der Wärme- und Stofftransportmechanismen in Trommeltrocknern für landwirtschaftliche Güter und zur Energie-wirtschaft des Heißlufttrocknungsprozesses. TU Dresden, Dissertation 1976. A 1766



## Grobfuttermühle FGF-120 MA

Die Grobfuttermühle FGF-120 MA wird mit Erfolg für die Zerkleinerung und die volle Ausnutzung von Grobfutter, wie Heu, Stroh, Maisganzpflanzen u. a., eingesetzt.

Durchsatz	3050 bis 7800 kg/h je nach Mahlgut
Motorleistung	51 kW
Bedienung	1 Person

Exporteur:

## Agromachinaimpex

SOFIA/VR BULGARIEN, AKSAKOV-STRASSE 5  
Tel.: 88 53 25    Fernschreiber: 022 563

Zusätzliche Informationen erhalten Sie von der Berliner Vertretung des GTP AGROMACHINAIMPEX bei der Handelsvertretung der VR Bulgarien in der DDR, 108 Berlin, Friedrichstr. 62, Telefon 2 00 03 21