

Trocknung landwirtschaftlicher Produkte mit Solarenergie unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas

Dr. agr. H. Pohler, VEB Wissenschaftlich-Technisches Zentrum der Saatgutwirtschaft Quedlinburg

1. Einleitung

Die Qualitätserhaltung und Trocknung landwirtschaftlicher Produkte, vor allem von Heu und Mähdruschfrüchten, erfolgt oftmals durch aktive Belüftung mit atmosphärischer Luft. In der DDR wird vordringlich im Bereich der Saatgutwirtschaft der Belüftungstrocknung als einem qualitätsschonenden und energiesparenden Verfahren große Bedeutung beigemessen. Eine materiell-technische Voraussetzung dafür sind die in den letzten 10 bis 15 Jahren errichteten und mit einem ganzflächig belüftbaren und befahrbaren Fußboden ausgestatteten Lagerhallen. Derartige Lagerhallen ermöglichen eine intensive und gleichmäßige Belüftung des Gutstapels, ohne daß die Mehrzwecknutzung der Halle nach Abschluß der Trocknungskampagne behindert wird.

Negativ bei der Anwendung unbehandelter (atmosphärischer) Luft ist die große Abhängigkeit der Trocknungsleistung vom Witte-

rungsverlauf. Um auch bei Regenwetter bzw. bei hoher relativer Luftfeuchte einen Trocknungseffekt zu erzielen, wurde vielfach mit vorgewärmter Luft gearbeitet. Dadurch konnte die für die Belüftungstrocknung nutzbare Zeit zwar verlängert werden, jedoch befriedigt das erzielte Ergebnis nicht. Wie bekannt ist, wird bei der Erwärmung feuchter Luft lediglich die relative Luftfeuchte gesenkt, während der absolute Feuchtegehalt der Luft unverändert bleibt. Das führt dazu, daß bei Wasseraufnahme und gleichzeitiger Abkühlung der Luft im Gutstapel sehr rasch der Taupunkt erreicht und unterschritten wird. Die Wasserabgabe aus der Luft an das Gut, d. h. eine Wiederbefuchtung, ist die Folge. Der Energiebedarf zur Lufterwärmung ist ebenfalls nicht unerheblich. So werden zur Erwärmung von 1000 m³ Luft um 5 K rd. 6280 kJ bzw. 1,74 kWh benötigt. Ein wesentlicher Fortschritt in der Belüftungstrocknung war mit

dem Einsatz entfeuchteter Luft zu verzeichnen. Mit diesem Verfahren kann auch unter ungünstigen Witterungsbedingungen ein hoher Trocknungseffekt erzielt und damit eine hohe Sicherheit in der Qualitätserhaltung erreicht werden. Über technische Möglichkeiten sowie vorliegende Ergebnisse wurde in [1] berichtet.

Aufbauend auf den gesammelten Erfahrungen und Erkenntnissen wurde in den letzten Jahren unter Einbeziehung der Solartechnik an der Weiterentwicklung der Belüftungstrocknung gearbeitet. Ohne Zweifel sind der Nutzung von Solarenergie unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas Grenzen gesetzt, jedoch ist zu berücksichtigen, daß das jahreszeitlich höchste Angebot an Solarenergie (Mai bis September) mit dem Hauptenergiebedarf für die Trocknung landwirtschaftlicher Güter weitestgehend übereinstimmt. Bei der Konzeption der für die Untersuchungen erforderlichen Solaranlage wurde davon ausgegangen, daß ein großer Teil der für die Belüftungstrocknung von Saatgut geeigneten Anlagen in Form von ganzflächig belüftbaren Lagerhallen vorhanden und eine nachträgliche Integrierung von Solaranlagen in die Dachhaut dieser Hallen mit vertretbarem Aufwand nicht realisierbar ist. Daher war eine Lösung zu schaffen, die eine separate Aufstellung und Zuordnung an vorhandene Bauten zuläßt.

2. Technische Lösung der Versuchsanlage

Von den bekannten Lösungen für Solarkollektoren (Medium Luft) wurde für die Versuchsanlage dem Kastenkollektor der Vorrang gegeben. Er besteht aus den Baugruppen Kollektorgehäuse, Absorber, Isolation und Glasabdeckung. Die Fläche eines Kollektors beträgt rd. 1,00 m². Diese Kollektoren wurden zu Kollektorböcken zusammengefügt. Die Versuchsanlage (Bilder 1 und 2) besteht aus 4 Kollektorböcken mit je 35 Kollektoren (Kollektorfläche rd. 130 m²). Die Kollektorfelder sind auf Stahlgerüsten mit einer

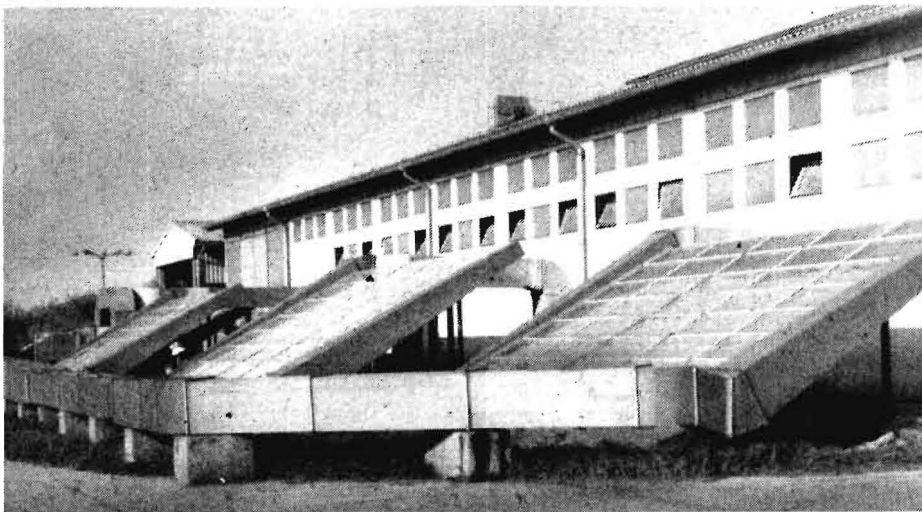


Bild 1. Teilansicht der Solaranlage

Bild 2. Prinzipskizze der Versuchsanlage; Luftstrom bei entfeuchteter Luft (a), solar erwärmter Luft (b) und Kombination (c)

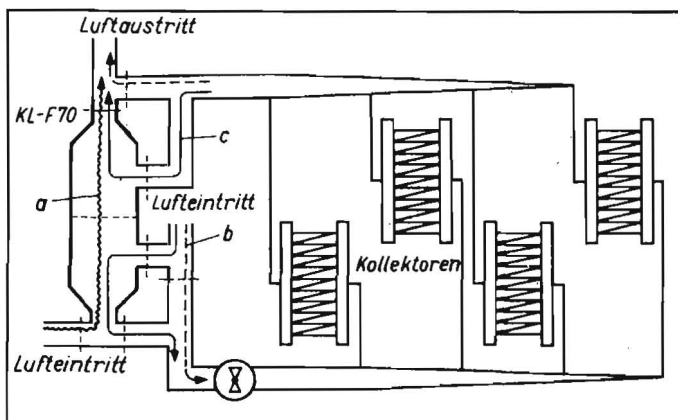
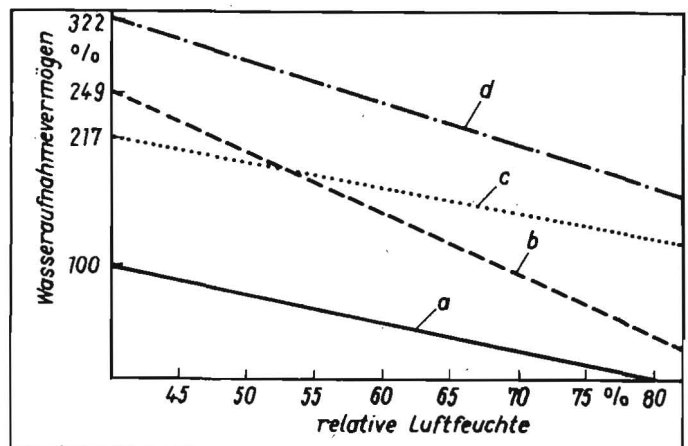


Bild 3. Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft in Abhängigkeit von Betriebsart und relativer Luftfeuchte der atmosphärischen Luft; a unbehandelte Luft, b solar erwärmte Luft, c entfeuchtete Luft, d Kombination



Neigung von 30° in südlicher Richtung montiert. Die Zu- und Abführung der Luft erfolgt mit Hilfe eines Stützlufters über ein Kanalsystem.

Unter Beachtung der Tatsache, daß auch in den Erntemonaten Juli bis September mit Schlechtwetterperioden gerechnet werden muß und mit der Zielstellung, einen relativ gleichmäßigen Trocknungsverlauf innerhalb von 24 Stunden, d. h. auch nachts, zu erreichen, wurde bereits in der Konzeption für die Versuchsanlage die Eingliederung des Kältesatzes KL-F 70 (Luftentfeuchtungswärmepumpe) vorgesehen und der Luftdurchsatz auf dieses Gerät abgestimmt (5 bis 7 m³/s).

Die Einbeziehung des KL-F 70 in die Solaranlage ermöglicht in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Globalstrahlung) folgende Betriebsweisen:

- Trocknung mit solar erwärmter Luft (Variante 1)
- Trocknung mit entfeuchteter Luft (Variante 2)
- Trocknung mit entfeuchteter und solar erwärmter Luft (Variante 3).

Während bei Variante 1 bei hoher Sonneneinstrahlung Umgebungsluft angesaugt, mit Hilfe der Luftkollektoren erwärmt und anschließend in das zu trocknende Gut geblasen wird, erfolgt bei Variante 2 die mit dem KL-F 70 bekannte Belüftung mit entfeuchteter Luft. Diese Variante ist dann möglich, wenn, bedingt durch geringe Globalstrahlung, kein befriedigender Effekt durch die Solaranlage zu erwarten ist. Variante 3 ist die Kombination der Varianten 1 und 2. Hier wird die feuchte Umgebungsluft mit Hilfe des Verdampfers des KL-F 70 abgekühlt und infolge der Taupunktunterschreitung entfeuchtet. Die kalte und entfeuchtete Luft wird zunächst durch die Kollektoren geleitet und hier aufgrund der Temperaturdifferenz zur Außenluft bereits bei geringer Globalstrahlung und auch nachts erwärmt. Noch einmal wird dieser Luftstrom im nachgeschalteten Verdampfer des KL-F 70 erwärmt, so daß zur Trocknung stets eine Luft zur Verfügung steht, die sich durch relativ hohe Temperaturen und geringen Feuchtegehalt auszeichnet. Diese Anordnung (KL-F 70 - Solaranlage) ist patentrechtlich geschützt [2].

3. Ergebnisse und Diskussion

Wie das Wasseraufnahmevermögen der Luft durch die unterschiedlichen Belüftungsvarianten und durch die relative Feuchte der zur Verfügung stehenden Außenluft beeinflusst wird, ist Bild 3 zu entnehmen. In bezug auf das Trocknungspotential der Luft ist die Überlegenheit der Fahrweise „Kombination“ eindeutig. Doch auch bei der alleinigen Anwendung solar erwärmter Luft wird das Wasseraufnahmevermögen der Luft im Vergleich zur unbehandelten Außenluft vor allem bei schönem Wetter (hohe Globalstrahlung, geringe Luftfeuchte) mehr als verdoppelt. Die Variante „entfeuchtete Luft“ ordnet sich zwischen den Varianten „solar erwärmte Luft“ und „Kombination“ ein, wobei bei einer relativen Luftfeuchte unterhalb von 50 bzw. 55% die Trocknung mit solar erwärmter Luft bessere Ergebnisse bringt. Bei Vorhandensein der aufgeführten technischen Möglichkeiten hat die Belüftungstrocknung mit unbehandelte Luft keine Bedeutung. Zur optimalen Steuerung bzw. Auswahl der jeweils günstigsten Variante sind noch weitere Faktoren,

Tafel 1. Vergleich unterschiedlicher Verfahren der Belüftungstrocknung in Relativzahlen

	Variante mit unbehandelte Luft	mit entfeuchteter Luft	mit solar erwärmter Luft	Kombination Solartechnik - entfeuchtete Luft
Trocknungsleistung	100	247	231	274
Energieverbrauch je kg Wasserentzug	100	81	54	68
Trocknungskosten	100	129	132	132

wie z. B. Energieaufwand, Lufttemperatur, Globalstrahlung u. a., zu berücksichtigen. Die Arbeiten zu dieser Problematik sind noch nicht abgeschlossen.

Auf der Grundlage von unter Praxisbedingungen durchgeführten Untersuchungen werden in Tafel 1 unterschiedliche Verfahren der Belüftungstrocknung bei Grassamenrohware verglichen. In bezug auf die Trocknungsleistung ist die Überlegenheit der Trocknung mit vorbehandelter Luft eindeutig, wobei die Variante „Kombination“ entsprechend Bild 3 eine Sonderstellung einnimmt. Bezüglich des spezifischen Energieverbrauchs ist festzustellen, daß trotz des zusätzlichen Energiebedarfs für das Betreiben der Anlagen aufgrund der hohen Trocknungsleistung der spezifische Energiebedarf, d. h. der für den Entzug von 1 kg Wasser erforderliche Energieaufwand, im Vergleich zur Trocknung mit unbehandelte Luft wesentlich gesenkt werden kann. Die diesbezügliche Überlegenheit der Variante „Solartechnik“ ist jedoch erheblich vom Witterungsverlauf abhängig. Als kostengünstig erweist sich dagegen die Trocknung mit unbehandelte Luft. In der geringen Trocknungsleistung wird jedoch der witterungsabhängige Trocknungsverlauf und damit die mögliche Gefährdung der Qualität deutlich. Die erhöhte Sicherheit in der Erhaltung der Qualität des zu trocknenden Gutes durch Anwendung der Varianten 2 bis 4 ist vor allem auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Verkürzung der Trocknungszeit
- schonungsvoller Feuchteentzug durch Trocknung im niederen Temperaturbereich ($\leq 40^\circ\text{C}$)
- erheblich reduzierter Einfluß der Witterung auf den Trocknungsverlauf bei den Varianten 2 und 4.

Während die in Tafel 1 dargestellten Ergebnisse unter den „normalen“ Witterungsbedingungen der Sommermonate des Jahres

Tafel 2. Ergebnisse der Belüftungstrocknung von Grassamenrohware

	mit unbehandelte Luft	mit Kombination KL-F 70/Solar
Wasserentzug kg/h	22,6	129,3
Wasserentzug %	100	572,1
Energieverbrauch je kg Wasserentzug kWh	0,45	0,33
%	100	73,3

1986 erzielt wurden, brachte die regnerische Erntekampagne 1987 eine noch größere Überlegenheit der Variante „Kombination“ (Tafel 2). Die Bedeutung der „Kombination“ wird am Beispiel der Saatgutrocknung noch deutlicher, wenn man bedenkt, daß die Trocknungsleistung von 129 kg Wasser in der Stunde annähernd der Leistung des für Feinsaat entwickelten Wirbelschichttrockners entspricht (140 kg/h), jedoch der dafür erforderliche spezifische Energieaufwand um 80 bis 90% und die Trocknungskosten um rd. 39% geringer sind. Neben der Trocknungsleistung wurde auch der Einfluß auf die Saatgutqualität untersucht (Tafel 3). Während bei Knaulgras aus technologischen Gründen zunächst mit Kaltluft belüftet wurde und daher keine Keimschädigung beim späteren Einsatz solar erwärmter Luft zu erwarten war, ist vor allem das Ergebnis bei einjährigem Weidelgras interessant. Obwohl, beginnend bei einer Gutfeuchte von 42,4%, mit Temperaturen der Trocknungsluft von 40 bis 49°C gearbeitet wurde, traten keine Qualitätsschäden auf. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, daß aufgrund der beim Feuchteentzug auftretenden Verdunstungskälte die Temperaturen im Gutstapel, selbst in der un-

Tafel 3. Einfluß der Trocknungsluft auf die Keimfähigkeit

Belüftungstag	Gutfeuchte %	Keimfähigkeit in % Gutstapel			\bar{x}	Trocknungsluft		Guttemperatur °C
		oben	Mitte	unten		maximale Temperatur °C	Feuchte %	
Knaulgras								
1.	26,8	93	91	92	92	39	17	19
2.	21,9	90	91	91	91	32	19	21
3.	16,6	93	93	91	92	30	20	20
4.	16,6	92	94	91	92	33	20	18
Einjähriges Weidelgras								
1.	42,4	97	97	95	96	49	15	24
2.	39,5	99	97	97	98	40	21	32
3.	38,4	97	97	95	96	45	18	30
4.	31,9	96	96	95	96	44	16	30

teren Schicht, d. h. unmittelbar über dem Siebboden, 30°C kaum überstiegen.

Aus den vorliegenden Ergebnissen und langjährigen Erfahrungen können bezüglich der Trocknung von Grassamenrohware folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Weidelgräser bis zu einer Gutfeuchte von 40 bis 42% und Knaulgras bis 35% können unmittelbar nach der Ernte nach dem Verfahren „Kombination Solartechnik/KL-F 70“ getrocknet werden. Dabei sollte die Guttemperatur 30 bis 35°C nicht überschreiten.
- Bei höheren Gutfeuchten ist zunächst eine zweitägige Belüftung mit unbehandelter bzw. mit entfeuchteter Luft (KL-F 70) vorzunehmen.

Obwohl die Untersuchungen zur Gesamtproblematik noch nicht abgeschlossen sind, wurde die Experimentalanlage am Versuchsstandort bereits in den Produktionsprozeß eingegliedert, und 1987 wurden trotz des ungünstigen Witterungsverlaufs während der Erntekampagne über 400 t Grassamenrohware mit dieser Anlage getrocknet. Im Jahr 1988 konnte dieses Ergebnis wiederholt werden.

4. Zusammenfassung

Vorgestellt wird eine aus Luftkollektoren bestehende Solaranlage, die separat von bestehenden Gebäuden auf ebener Erde errichtet werden kann. In zweijährigen Versuchsergebnissen konnte am Beispiel von Grassa-

menrohware nachgewiesen werden, daß unter mitteleuropäischen Witterungsbedingungen nicht der alleinigen Solartechnik, sondern der Kombination Luftentfeuchtung/Solartechnik für die Trocknung landwirtschaftlicher Kulturen eine besondere Bedeutung zukommt.

Literatur

- [1] Pohler, H.; Stützer, B.; Gacki, K.: Energiesparende und qualitätssichernde Trocknung landwirtschaftlicher Produkte durch Einsatz entfeuchteter Luft. agrartechnik, Berlin 38 (1988) 6, S. 274-276.
- [2] Stützer, B., u. a.: Trocknungsverfahren und Anordnung zur Durchführung des Verfahrens. Patentschrift DD 232 104 A1 F 26 B 3/06. Ausgabebetrag: 15. Jan. 1986 A 5616

Mobiler Dosierförderer zur Leichtguteinlagerung in Bergeräume

Dipl.-Ing. H. Müller, KDT/Dipl.-Agr.-Ing. B. Zscheschang

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

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Heu- und Stroheinlagerung in Bergeräume ist nach wie vor problembehaftet. Nicht befahrbare, erd- und deckenlastige Bergeräume, in denen mobile Technik nicht einsetzbar ist, werden vielerorts in Kombination von Handarbeit und Technik beschickt. Dabei wird das Erntegut ebenerdig abgelegt oder vom Anhänger in Handarbeit, teils unter Nutzung eines Mobilkrans bzw. eines Traktors mit Schiebeschild, über Bandförderer (T222/1, T223/1 u. a.) direkt eingelagert bzw. in Fördergebläse aufgegeben. Für rd. 6000 bis 7000 verfügbare Fördergebläse GIII und FG630 fehlt eine geeignete Mechanisierung der dosierten Beschickung [1]. Diese Einlagerungstechnologie ist durch geringen Durchsatz und hohen Arbeitskräftebedarf gekennzeichnet [2, 3]. Das Durchsatzvermögen des Fördergebläses FG630-1e wird bei Handbeschickung nicht ausgeschöpft. Auch beim Einsatz der zunehmenden Anzahl heckentladender Anhänger, wie Ladewagen u. a., muß im Fall nichtbefahrbarer Bergeräume auf diese unzureichende Verfahrensweise zurückgegriffen werden.

Die neue Bergeraumbeschickungsanlage BBA500 (bestehend aus Annahmedosierer AD84, Austragförderer L486A, Fördergebläse mit Zellenradschleuse FGZ50A, teleskopierbarer Förderrohrleitung mit Endverteiler) ist für die schichtweise Beschickung und Nachfüllung mit Halbheu zur Gewinn-

nung von Qualitätshen bestimmt. Die traktorbetriebene „Mobile Verlademaschine“ T446 A11 ist vorteilhaft zum Anlegen von Freidie-men aus Stroh einsetzbar. Beide Lösungen werden einigen Erwartungen nicht gerecht [4].

Daraus ergibt sich die Forderung nach mobilen, material- und energie günstigen Mechanisierungslösungen zur Heu- und Stroheinlagerung vorzugsweise in nichtbefahrbare Bergeräume mit pneumatischer Förderung, bei Eignung für vielfältige Anhängertypen.

Als Forschungsaufgabe stand die Suche nach Verfahren und technischer Lösung guter Mobilität zum Auflösen eines von Anhängern nach hinten direkt aufgegebenen oder seitlich abgekipperten Leichtgut-Haufwerks zur dosierten Beschickung von Stetigförderern, vornehmlich von mobilen Fördergebläsen.

Über Arbeitsergebnisse [5] als Beitrag zur Lösung der Problematik Annahmedosierer soll berichtet werden. Die Thematik ordnete sich in die Mechanisierungsforschung für die Heuproduktion ein.

2. Agrotechnische Anforderungen

Die an Leichtgutsdosierer vorgegebene Agrotechnische Aufgabenstellung (ATA) leitete sich aus den zutreffenden Anforderungen der „Weiterentwicklung Bergeraumbeschickungsanlage“ [6] ab. Nachfolgend sind die maßgeblichen Anforderungen aufgeführt:

- Einsatzbereich mechanisierte Einlagerung von lossem Heu, Halbheu und Stroh (ungebundenes Preßgut, Schneidgut, Langgut und Häcksel) in nichtbefahrbare erd- und deckenlastige Bergeräume mit Elektroanschluß
- Kennzeichnung der Fördergüter (s. Tafel 1)
- vorgeordnete Mechanisierungsmittel
 - Seitenkipf Fahrzeuge HW60.11, HW80.11, THK-5, W50 jeweils mit großvolumigem Aufbau
 - heckentladende Fahrzeuge, wie HTS 31.04, HTS71.04, HTS50.04 und HTS50.04/1; Direktaufgabe von maximal 2,5 m breiten heckentladenden Fahrzeugen, deren Entladedauer regelbar/abschaltbar ist; Abgabehöhe mindestens 0,5 m
- nachgeordnete Mechanisierungsmittel
 - fahrbare bzw. stationäre Fördergebläse FG630-1e, GIII, FGZ50A oder FG35-2 einschließlich Rohrleitung Ø 630 (Ø 350 bei FG35-2), jeweils bis 30 m lang bei Förderhöhe bis 6 m und Verteiler im Bergeraum
 - mechanische Stetigförderer, Übergabehöhe ≤ 2,1 m
- projektierte Nutzungsdauer 3000 h (jährlich rd. 50 h im Heu und 100 h im Stroh)
- Einsatzkennwerte (s. Tafel 2)

Tafel 1. Kennzeichnung der Fördergüter

Gutform	Länge der Einzelteilchen in mm	TS-Gehalt in %	
		Heu	Stroh
Langgut	50% ≤ 200	55...85	85...90
	70% ≤ 400		
ungebund. Preßgut	50% ≤ 200	55...85	85...90
	70% ≤ 400		
Schneidgut	50% ≤ 200	55...85	85...90
	95% ≤ 400		
Häcksel	50% ≤ 100	55...90	85...90
	90% ≤ 250		

Tafel 2. Geforderte Einsatzkennwerte

- Massedurchsatz (Heu und Stroh) in T ₀₄ bei 80% TS-Gehalt	15 t/h
in T ₀₄ bei 80% TS-Gehalt	12 t/h
in T ₀₈ bei 80% TS-Gehalt	8,4 t/h
- Anzahl der Arbeitskräfte (ohne Arbeitskräfte für Verteilung im Bergeraum)	2 (Mechanisatoren)
- Arbeitszeitaufwand in T ₀₈	0,24 AKh/t
- Standzeit je Transporteinheit (Doppelzug)	5 min
- spezifischer Energieaufwand in T ₀₈	3,75 kWh/t
- Transportgeschwindigkeit	mindestens 10 km/h
- Pflege und Wartung	70 AKmin/100 h