

# Ergonomische Aspekte bei der Automatisierung selbstfahrender Landmaschinen

Dr.-Ing T. Uhlig, KDT/Dipl.-Ing. W. Dreessen, KDT/Ing. K. Ziems, KDT  
 Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR  
 Dipl.-Psych. Marion Braemer/Dipl.-Psych. Heide Flamm, Arbeitshygieneinspektion des Rates des Bezirkes Potsdam

## 1. Problemstellung

Der Übergang zu industriemäßigen Methoden in der Landwirtschaft ist in den nächsten Jahren u.a. durch die weitere Durchsetzung der komplexen Mechanisierung zusammenhängender technologischer Prozesse bis zur Verarbeitung der Produkte gekennzeichnet [1]. In der Pflanzenproduktion sind gegenüber der industriellen Produktion neben den allgemeingültigen politischen und materiell-technischen Voraussetzungen beim Einsatz solcher Maschinensysteme einige Besonderheiten zu beachten. Diese beziehen sich hauptsächlich auf die mobilen Arbeitsprozesse — auf die Mechanisierung der Bodenbearbeitung, der Düngung, der Melioration, der Beregnung, der Bestellung, der Pflege, des Pflanzenschutzes, der Ernte und des Transports. Die Besonderheiten der Pflanzenproduktion sind neben den von Marx und Lenin aufgeführten drei grundlegenden Merkmalen die sorten- und witterungsspezifischen Abhängigkeiten und agrobiologischen Zeitspannen der Arbeitsprozesse sowie die Wechselbeziehungen zwischen agrotechnischen und maschinenbautechnischen Bedingungen. Die sorten- und witterungsspezifischen agrobiologischen Zeitspannen in Verbindung mit den variablen Bodeneigenschaften verleihen den Arbeitsprozessen der Pflanzenproduktion ein eigenes stochastisches Charakter. Zwei zu kombinierende Wege führen zu einer optimalen Erzeugung des landwirtschaftlichen Primärprodukts:

- Einschränkung des stochastischen Charakters, z. B. durch die komplexe Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit
- Einstellung der Maschinensysteme auf den stochastischen Charakter der Pflanzenproduktion.

Neben höheren Forderungen an das biologische Ausgangsmaterial, an die Chemisierung, die Melioration, die Organisation der Produktion u. a. gewinnen dabei die Meß-, Steuer- und Regelungstechnik und die elektronische Datenverarbeitung immer mehr an Bedeutung. Die Automatisierung selbstfahrender Landmaschinen wird zunehmend durch die Entwicklung solcher Industriezweige wie Elektronik, Elektrotechnik, Hydraulik und Pneumatik bestimmt. Das heißt, daß mit der Automatisierung nicht nur eine Wandlung am Arbeitsplatz des Mechanisators erfolgt, sondern daß sich die gesamte landtechnische Prägung der Maschinen ändern wird. Bisher vorherrschende Regelungen (z. B. Regelung der Pflugtiefe, automatische Lenkung des Rübenrodelaers KS-6) arbeiten größtenteils auf mechanisch-hydraulischer Basis. Die Entwicklung zeigt, daß durch den Einsatz von Bauelementen der Mikroelektronik kostengünstige und funktionell besser angepaßte Regelungen angewendet werden können (z. B. automatische Lenkung des Mähdeschers E 516). Der Vorteil von solchen mechanisch-elektronischen Varianten der Meßwert- erfassung und -verarbeitung gegenüber mechanisch-hydraulischen resultiert hauptsächlich aus den geringeren Rückwirkungen der Meß-

wertgeber, der einfachen Verrechnung der Meßdaten (Anwendung von Rechenbausteinen auf der Basis von Operationsverstärkern bzw. Mikroprozessoren) und der einfacheren Möglichkeit der logischen Verknüpfung verschiedener Daten.

Mit diesen technischen und technologischen Veränderungen in den Arbeitsprozessen der Pflanzenproduktion ändert sich auch das Beanspruchungsprofil der dort Beschäftigten. Die körperliche Arbeit wird schrittweise zurückgedrängt. In zunehmendem Maß gewinnen Probleme der psychischen Beanspruchung an Bedeutung. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit ihrer Messung und Bewertung ab.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren jedoch keine gesicherten Aussagen über den Grad der psychischen Beanspruchung der Mechanisatoren der Pflanzenproduktion, die auf die verschiedenen Arbeitsprozesse zu beziehen sind.

## 2. Zur Automatisierung selbstfahrender Landmaschinen

Gegenwärtig sind in der Landwirtschaft der DDR auf dem Gebiet der Pflanzenproduktion an selbstfahrenden Landmaschinen die automatische Lenkung (Mähdescher E 516, Rübenrodelaer KS-6), die Kontrolle von Arbeitselementen (E 516, KS-6) und die Verlustkontrolle (E 516) realisiert. Künftig sind folgende Automatisierungseinrichtungen an Maschinen und Anlagen der Pflanzenproduktion notwendig:

- automatische Lenkung von Maschinen nach verschiedenen (natürlichen) Leitlinien
- vertikale (Arbeitstiefe bzw. -höhe) und horizontale (seitliche Abweichung) Regelung der Lage von Arbeitselementen

- Regelung des Durchsatzes
- Regelung von Gutzusammensetzungen und -eigenschaften (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Anteil von Zuschlagstoffen)
- Regelung nach geringsten Verlusten
- Regelung der Übergabe des Erntegutes auf das Transportfahrzeug
- ständige Kontrolle von Funktionselementen (z. B. Ausflußkontrolle von Saatgut und Dünger, Kontrolle der Bewegung von Bauteilen)
- Diagnose von Arbeitsprozessen
- Bildung von unifizierten Automatisierungssystemen.

Am Beispiel einer selbstfahrenden Erntemaschine wird deutlich, welche hohen Anforderungen an den Mechanisator der Pflanzenproduktion gestellt werden (Bild 1). Bemerkt werden muß dazu, daß aufgrund mangelnder Informationen und gleichzeitig notwendiger Verstellungen funktioneller Parameter der Mechanisator oft nicht in der Lage ist, die Erntemaschine optimal auszulasten, und daß die Arbeitsproduktivität und -qualität stark von den Erfahrungen und dem Leistungsvermögen des Mechanisators abhängen. Das drückt sich praktisch so aus, daß einige Funktionen, die im Bild 1 als manuelle Regelungen ausgewiesen sind, konstant eingestellt werden. Das bezieht sich bis auf die Lenkung der Maschine im wesentlichen auf die übrigen Funktionen. Folglich ist die in [2] getroffene Aussage über den Grad der physischen Beanspruchung der Mechanisatoren auf die z. Z. bestehenden praktischen Verhältnisse zu beziehen, die den im Bild 1 dargestellten Anforderungen nicht vollständig gerecht werden.

Das Grundziel der Pflanzenproduktion ist, bei einer hohen Arbeitsproduktivität die Primär-

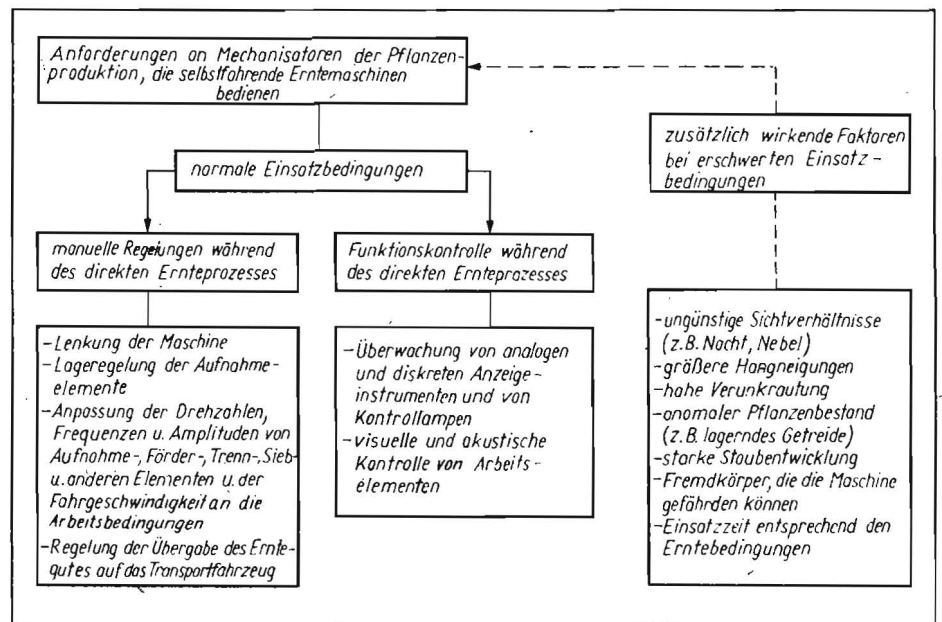


Bild 1. Anforderungen an Mechanisatoren zur Bedienung selbstfahrender Erntemaschinen

Produkte mit höchster Qualität und Quantität bei geringsten Verlusten und Kosten zu erzeugen. Folglich müssen die Automatisierungseinrichtungen fünf wesentlichen Forderungen genügen:

- Steigerung der Arbeitsproduktivität durch ständige Auslastung der Maschinen und Anlagen
- Steigerung der Produktivität durch höhere Arbeitsgeschwindigkeiten und größeren Durchsatz
- Erhöhung der Arbeitsqualität, Senkung der Verluste und Verbesserung der technischen und technologischen Verfügbarkeit
- Eröffnung von Möglichkeiten für die Entwicklung und Einführung neuer produktiver Wirkprinzipien, Arbeitselemente und Verfahren
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Mechanisatoren und deren Entlastung von einseitigen Bedienfunktionen, die unter Umständen Monotonieempfinden hervorrufen können, sowie Erhöhung des Anteils geistig-schöpferischer Elemente.

Nachfolgend sollen verschiedene Stufen der Automatisierung selbstfahrender Landmaschinen gegenübergestellt und die technischen sowie ergonomischen Gesichtspunkte diskutiert werden.

### 3. Beschreibung des Automatisierungsgrades der zu untersuchenden Ausrüstungsvarianten selbstfahrender Landmaschinen am Beispiel einer Erntemaschine

#### 3.1. Ausrüstungsvariante I:

##### Erntemaschine ohne Automatisierungseinrichtungen

Der Mechanisator übernimmt alle erforderlichen Verstellungen zur Bedienung der Maschine nach Bild 1 von der Kabine aus. Dazu gehören insgesamt die Verstellungen, die der Mechanisator aus visuellen und akustischen Informationen und aus der Erfahrung ableiten kann. Solche Verstellungen, die intervallmäßig von biologischen und ackerbaulichen Werten abgeleitet (z. B. Verstellungen am Mähdröschler) und im Stand durchgeführt werden, sollen nicht betrachtet werden. Als Anzeigen sollen nur die vorhanden sein, die beispielsweise zum Betreiben eines Kraftfahrzeugs unbedingt erforderlich sind (Wassertemperatur, Öldruck, Ladekontrolle usw.).

#### 3.2. Ausrüstungsvariante II:

##### teilautomatisierte Erntemaschine

Die Lenkung der Maschine und die Regelung der Lage der Aufnahmeelemente werden automatisiert. Der Mechanisator bekommt von diesen Folgeregelungen den Sollwert-Istwert-Vergleich analog angezeigt und erhält die Möglichkeit der Sollwertvorgabe. Die übrigen Verstellungen werden wie bei der Ausrüstungsvariante I vom Mechanisator vorgenommen.

#### 3.3. Ausrüstungsvariante III:

##### bis auf den Wendevorgang automatisierte Erntemaschine

Alle Arbeitsoperationen während der direkten Ernte sind automatisiert. Der Mechanisator erhält eine analoge Anzeige über die Vorgänge und wählt die Sollwerte entsprechend den äußeren Bedingungen vor. Zusätzlich ist ein Kontrollsystem für die energetischen Antriebe vorhanden, das Über- bzw. Unterschreitungen vorgegebener Arbeitsbereiche digital anzeigt. Damit ist der Mechanisator erstmals in der

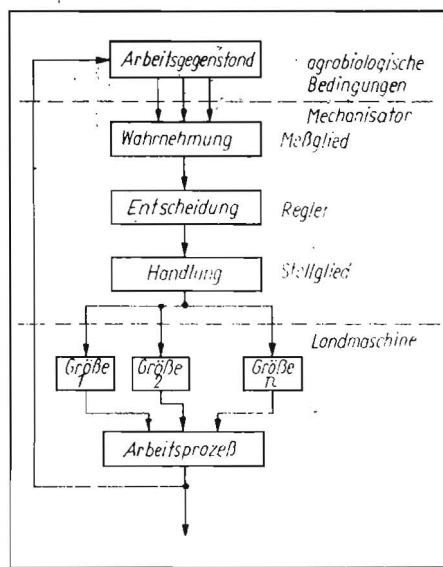


Bild 2. Die Funktion des Mechanisators im Arbeitsregime einer Landmaschine

Lage, den Arbeitsprozess weitgehend zu überblicken und die Funktionsfähigkeit der unterschiedlichen Aggregate sowie die Arbeitsqualität der Maschine vollständig zu überwachen.

### 4. Charakterisierung der psychischen Beanspruchung des Mechanisators in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad selbstfahrender Landmaschinen

Es sei die Gültigkeit der Annahme vorausgesetzt, daß die zu untersuchenden Probleme am Beispiel einer Erntemaschine auf andere selbstfahrende Landmaschinen übertragbar sind. In der Charakterisierung der psychischen Beanspruchungen wird von den theoretischen Anforderungen ausgegangen, die an den Mechanisator der Pflanzenproduktion gestellt werden müssen. Die physischen Beanspruchungen werden nicht erörtert, da diese bei Einhaltung der gültigen Standards vom Automatisierungsgrad nur gering beeinflusst werden.

#### 4.1. Ausrüstungsvariante I

Da alle Funktionen manuell, hauptsächlich unter visueller und akustischer Kontrolle (unvermittelte Informationsaufnahme) ausgeführt werden, beansprucht der Arbeitsprozess die Aufmerksamkeit im Sinn einer Dauerbeobachtung (Bild 2). Eine Vielzahl von gleichzeitig auftretenden nichtnumerischen Informationen mit unvorherbestimmbarer (stochastischer) Ereignisdichte erfordert eine geteilte Aufmerksamkeit auf die unterschiedlichen Teilprozesse, schränkt das planende, vorausschauende Denken ein und verlangt vom Mechanisator eine entsprechende Umstellfähigkeit (Anpassung an Arbeitswechsel) sowie ein hohes Maß an Erfahrungen, um auftretende Ereignisse adäquat beantworten zu können. Die Arbeitsproduktivität und -qualität sind stark vom Leistungsvermögen des Menschen abhängig, wie das im Abschnitt 2 bereits angedeutet wurde.

#### 4.2. Ausrüstungsvariante II

Bei dieser angenommenen 1. Stufe der Automatisierung entfällt die Daueraufmerksamkeit für den Prozeß der unmittelbaren Gutaufnahme in die Maschine, d. h. für den Prozeß an der Trennstelle zwischen Bestand und Maschine. Der Mechanisator kann sich damit auf seine eigentliche Arbeitsaufgabe, den Ernteprozess,

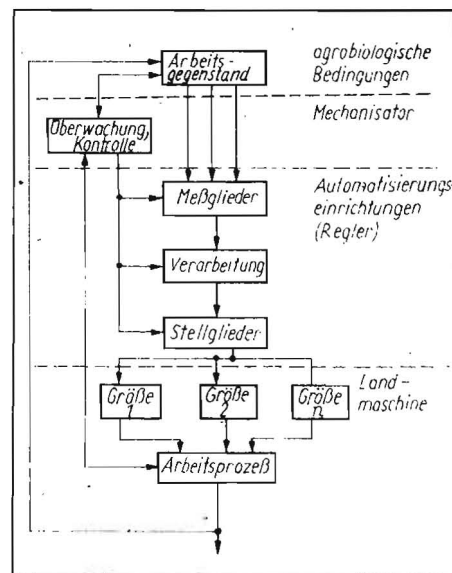


Bild 3. Die Funktion des Mechanisators im Arbeitsregime einer automatisierten Landmaschine

konzentrieren. Im Informationsangebot treten an dieser Stelle bedeutende Unterschiede zwischen der Ernte einzelner Gutarten auf, z. B. ist bei der Hackfruchternte die optische Informationsdichte wesentlich größer als bei der Getreidernte.

Diese Unterschiede können durch geeignete Maßnahmen jedoch abgebaut werden. Durch den Wegfall der ständig notwendigen Aufmerksamkeit für die Lenkung der Maschine und für die Lageregelung der Aufnahmeelemente wird der Mechanisator in die Lage versetzt, den technologischen Durchlauf des Erntegutgemisches durch die Maschine so zu steuern, daß die Verluste gesenkt und die Qualität der Produkte erhöht werden. Die gezielte Verstellung prozeßbestimmender Größen ermöglicht somit die manuelle Anpassung des Erntevorgangs an die sich stochastisch ändernden Bedingungen.

#### 4.3. Ausrüstungsvariante III

Alle unter dem Abschnitt 2 angeführten Teilprozesse seien automatisiert. Der Mechanisator rückt jetzt in die Funktion der reinen Überwachung, der Kontrolle während des direkten Arbeitsprozesses (Bild 3) und regelt nur noch während des Wendevorgangs die Funktionen der Maschine.

Der Mechanisator ist mit dieser angenommenen und bisher nicht realisierten Variante in eine besondere Form der Überwachung und Kontrolle des Produktionsprozesses gerückt, die neben anderen mobilen Prozessen der Pflanzenproduktion eigen ist. Diese Besonderheiten bestehen darin, daß

- sich die Maschine und damit auch der Arbeitsplatz des Mechanisators über das Gelände bewegen
- der Arbeitsrhythmus zwischen menschlicher Kontrolle und Regelung variiert und Situationswechsel auftreten
- eine visuelle und teilweise auch akustische Kontrolle von Instrumenten und vom Arbeitsprozeß verlangt wird
- sich äußere Bedingungen stark ändern können.

Die mit der Ausrüstungsvariante III verkörperte 2. Stufe der Automatisierung erfordert umfangreiche Untersuchungen, damit die geschaffenen Möglichkeiten zur Erhöhung des geistig-schöpferischen Anteils nicht in das Gegenteil, in die Bildung von Tendenzen der Vereinseitigung

gung umschlagen, die die Gefahr einer psychischen Unterforderung des Mechanisators beinhalten.

## 5. Beurteilung der Automatisierungsstufen in der Pflanzenproduktion

In der 1. Stufe der Automatisierung nehmen diese Einrichtungen mehr den Charakter von Produktionshilfseinrichtungen an, was so viel bedeutet, daß die Landmaschine auch ohne die Automatisierungseinrichtungen arbeitsfähig ist (z. B. automatischer Lenkregler des Mähdreischers E 516). Erst dann, wenn Automatisierungseinrichtungen integrierter Bestandteil der Landmaschine sind (wie z. B. an der automatischen Trennanlage E 691), werden einerseits echte Vorteile augenscheinlich und andererseits rücken ergonomische Probleme in anderer Form in den Vordergrund.

Diese schrittweise Einführung der Automatisierung in die Prozesse der Pflanzenproduktion verlangt eine systematische Umgestaltung des Arbeitsplatzes des Mechanisators. Das kann geschehen, indem

- dem Mechanisator Aufgaben zugeordnet werden, die er vor Einführung der konkreten Automatisierungseinrichtungen nicht bzw. nur unvollständig ausführen konnte (z. B. Durchsatzregelung, Regelung nach Qualitätsmerkmalen)
  - der Mechanisator eine größere Menge von numerischen Prozeßdaten zu verarbeiten hat
  - der Mechanisator während des Ernteprozesses seine Sitzposition entsprechend den zu beobachtenden Vorgängen verändern kann.
- Durch diese Maßnahmen ändern sich das Arbeitsfeld und das realisierbare Aufgabengebiet des Mechanisators. Für die 2. Stufe der Auto-

matisierung (Ausrüstungsvariante III) muß eine Lösung gefunden werden, wo der Mechanisator bei der ständigen Überwachung und Kontrolle des gesamten Prozesses das führende Glied im Mensch-Maschine-System verkörpert. Diese Führungsfunktion ist grundlegend vom Grad des Verstehens zwischen Mensch und Maschine abhängig, d. h. von

- der psychischen Bereitschaft des Menschen zur Realisierung des Zusammenwirkens mit der Maschine
- der Zugänglichkeit der Maschine für den Menschen
- der Reaktionsgeschwindigkeit der Maschine auf eine ihr vom Menschen eingegebene Information
- den Kommunikationsmöglichkeiten zwischen dem Menschen und der Maschine.

Erst eine richtige Abstimmung zwischen dem Automatisierungsniveau und der Funktionsteilung im Mensch-Maschine-System ermöglicht dem Mechanisator, der erhöhten Verantwortung für den Einsatz einer solchen Maschine gerecht zu werden. Der Mechanisator ist mit der Ausrüstungsvariante III (teilweise schon bei Variante II möglich) in die Lage versetzt, seine Aufmerksamkeit auf den Ablauf des Arbeitsprozesses zu richten, wobei prozeßstörende Ursachen vor der negativen Wirkung vom Mechanisator erkannt und möglichst ohne Unterbrechung des Arbeitsprozesses beseitigt werden können. Eine effektive Funktionsteilung garantiert auch, daß unvorhersehbare Ursachen im stochastisch gestörten und von äußeren Bedingungen stark abhängigen Arbeitsprozeß der Pflanzenproduktion durch gezielte, vom Menschen vorgenommene Adaption beherrscht werden.

## 6. Zusammenfassung

Die Automatisierung der landwirtschaftlichen Produktion bringt Veränderungen am Arbeitsplatz des Mechanisators mit sich. Ziel ist es, ausgehend von theoretischen Untersuchungen diese physischen und psychischen Veränderungen zu messen und zu bewerten. Gegenwärtig existieren keine gesicherten Aussagen über den Grad der psychischen Beanspruchung der Mechanisatoren der Pflanzenproduktion. Ausgehend vom Stand der Automatisierung selbstfahrender Landmaschinen wurden einige Grundrichtungen dieser Automatisierung dargestellt. Es wurden 3 Ausrüstungsvarianten von Erntemaschinen vorgestellt, die 2 Stufen der Automatisierung verkörpern. Durch analytische Beschreibung dieser Varianten und die Charakterisierung der resultierenden psychischen Beanspruchungen des Mechanisators konnte auf die sich ändernden Bedingungen hingewiesen werden. Die Darstellung der Zusammenhänge verdeutlichte die dem Automatisierungsniveau angepaßte Funktionsteilung im Mensch-Maschine-System und die daraus abzuleitenden und zu beachtenden Aufgaben bei der Bearbeitung von Automatisierungslösungen für selbstfahrende Landmaschinen.

## Literatur

- [1] Reichel, J.: Die Aufgaben auf dem Gebiet der Mechanisierung der Pflanzenproduktion in den Jahren bis 1980, agrartechnik 28 (1978) H. 4, S. 143—144.
- [2] Jürgens, W. W., u.: Professiographische Beschreibung der Tätigkeit des Agrotechnikers/Mechanisators. Bezirksinspektion Gesundheitsschutz in den Betrieben Potsdam, 1976 (unveröffentlicht). A 2327

# Untersuchungen zur Lärm- und Staubbekämpfung im VEB KfL Schmalkalden

Ing. C. Hoffmann, KDT/Dr. H. Rbinski, KDT, Ingenieurschule für Landtechnik Nordhausen

## 1. Bedeutung der Lärm- und Staubbekämpfung

Die systematische Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen, die einen wesentlichen Bestandteil des materiellen und kulturellen Lebensniveaus des Volkes darstellen, schließt auch die Berücksichtigung von arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten ein. So ist dafür zu sorgen, daß der Werk tätige nicht durch ungünstige Umweltbedingungen zusätzlich beansprucht wird oder sogar eine Belastung erfährt. Durch den Einfluß negativer Umweltfaktoren, zu denen auch Lärm und Staub gehören, kommt es neben direkten physischen und psychischen Reaktionen zu einer Beeinträchtigung der Arbeitsleistung der Werk tätigen. Aus diesem Grund ist es notwendig, im Zusammenhang mit der Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen die Durchsetzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts mit der Lärm- und Schadstoffbekämpfung zu verbinden. Dabei sind an den Arbeitsplätzen die Arbeitsbedingungen zu verbessern und gesundheitsgefährdende Arbeiten weiter einzuschränken.

Nachfolgende Untersuchungen wurden im VEB Kreisbetrieb für Landtechnik (KfL) Schmalkalden, Erzeugnisgruppenleitbetrieb für

die Instandsetzung von fahrbaren Trocknern, durchgeführt. Instand gesetzt werden der sowjetische Getreidetrockner ZSPZ-8, der Warmluftkörner trockner T 683-1 vom VEB Petkus Wutha und der zum T 683-1 entwickelte Ofenwagen vom VEB Erfurter Mälzerei- und Speicherbau. Die Instandsetzung erfolgt in einem modernen Hallenflachbau vom Typ Ruhland.

## 2. Beanspruchung durch Lärm

### 2.1. Allgemeine Betrachtungen

Gemäß Standard TGL 10687 ist Lärm kein rein physikalischer Sachverhalt, sondern als Lärm bezeichnet man hörbaren Schall, der eine gewollte Schallaufnahme oder die Stille stört, und Schall, der zur Beeinträchtigung des physischen und psychischen Wohlbefindens, zu Gesundheitsstörungen oder zur Beschränkung der Arbeitsfähigkeit führen kann. Zur Charakterisierung des physikalischen Sachverhalts Schall dient der Schalldruck  $p$ , ein dem Gleichdruck der Luft überlagerter kleiner Wechseldruck [1].

Wegen der Größe des vom menschlichen Gehör wahrnehmbaren Schalldruckbereichs (Hörschwelle:  $p = 0,00002$  Pa bei der Frequenz

$f = 1000$  Hz; Schmerzschwelle:  $p = 20$  Pa) verwendet man den Schalldruckpegel  $L$  in dB, der wie folgt definiert wird [2]:

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

Das ist insofern günstig, da auch für die Hörempfindung die Fechnersche Regel prinzipiell zutrifft. Diese besagt, daß die Stärke der Empfindung eines Reizes dem Logarithmus der physikalisch gemessenen Stärke des Reizes proportional ist [3].

Tafel I vermittelt einen Überblick über Schalldruck und Schalldruckpegel verschiedener Schallereignisse [1].

Als Richtwert kann gelten, daß ein Unterschied beim Schalldruckpegel von 1 dB gerade noch wahrnehmbar ist und eine Änderung des Schalldruckpegels um 10 dB etwa einer Verdoppelung bzw. Halbierung der Schallempfindung entspricht. Um Geräusche, deren Augenblickswert des Schalldruckpegels um mehr als 10 dB schwankt, durch Angeben eines einzigen Wertes charakterisieren zu können, verwendet man eine besondere Größe, den äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$ . Er stellt eine zeitlich konstante Ersatzlärmmwirkung dar [4]. Dabei wird das instationäre Geräusch gedanklich