

Stefan Böttinger, Tobias Leipold und Thomas Maier

Bewertung von Mähdrescher-Bediensystemen

Durch den Einsatz von Elektronik in Ackerschleppern und selbstfahrenden Landmaschinen wird in vielen Fällen deren Bedienung erleichtert. Leistungssteigerungen der Maschinen, neue Funktionalitäten durch Elektronik und deren Variantenvielfalt erhöhen jedoch auch die Komplexität der Maschine und deren Bedienung. Bei der Gestaltung von Anzeige- und Bediensystemen verfolgen die Hersteller unterschiedliche Ansätze. Zur Bewertung der Ergonomie der Anzeige- und Bediensysteme sind insbesondere im Pkw-Bereich Verfahren entwickelt worden, die in dieser Untersuchung auf Mähdrescherbedienungen angewendet werden.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Bedienung, Ergonomie

Keywords

Combine harvester, operation, ergonomics

Abstract

Böttinger, Stefan; Leipold, Tobias and Maier, Thomas

Evaluation of operational systems on combine harvester

Landtechnik 66 (2011), no. 5, pp. 329–332, 2 figures, 8 references

In most cases the use of electronics in agricultural tractors and self-propelled machines make their operation easier. But the complexity of the machines and of their operation is increased by improved capacity, new functionalities by electronics and the diversity of variants. The manufacturer pursues different strategies in the designing of display and control units. To evaluate these systems in terms of ergonomics methods have been developed especially for passenger cars. In this study, they are applied exemplary to the operation of combine harvesters.

Mähdrescherhersteller reagieren auf den Trend umfangreicherer Bedienungen durch weiterentwickelte Multifunktionsgriffe und bildschirmbasierte Anzeige- und Bediensysteme. Deren Komplexität kann eine längere Einarbeitung erfordern. Doch häufiges bedienen führt dazu, dass die Bediener die-

se Systeme richtig nutzen. Die Anzeige- und Bediensysteme unterscheiden sich von Hersteller zu Hersteller deutlich. Beispielsweise sind die Anzeigen auf einen Bildschirm in der Nähe des Multifunktionsgriffes konzentriert oder auf mehrere Bildschirme und alphanumerische Anzeigen in der Kabine verteilt. Alle Anzeigen werden nach technischen, ergonomischen und designorientierten Maßstäben entwickelt. Hierbei orientieren sich die Hersteller an internationalen Normen für Bediensysteme. Die wichtigsten Normen werden im Folgenden erläutert. Anschließend wird ein Bewertungsverfahren aus dem PKW-Bereich auf Mähdrescherbedienungen übertragen.

Normative Grundlagen zur Gestaltung und Bewertung von Bediensystemen

Bei der ergonomischen Gestaltung von Bediensystemen von mobilen Arbeitsmaschinen wird auf mehrere Normen zurückgegriffen. Diese können in prozessorientierte und produktorientierte Normen unterteilt werden. In der ersten Gruppe werden einzuhaltende Verfahren und Prozesse für die Entwicklung, in der zweiten die erforderlichen Merkmale von Benutzerschnittstellen festgelegt.

Die DIN EN ISO 6385 kann als ergonomische Grundnorm angesehen werden [1]. Sie regelt grundsätzliche Leitlinien zur Gestaltung von Arbeitssystemen. Diese Grundnorm teilt den Gestaltungsprozess in die Phasen Anforderungsanalyse, Funktionsanalyse, Konzeption und Gestaltung, Realisierung, Einführung, Validierung und Bewertung ein. Mittels Validierung wird ermittelt, ob das System wie vorgesehen funktioniert. Die Bewertung umfasst eine langfristige Überwachung des Systems und liefert Kennwerte für die Kriterien wie Leistung, Sicherheit sowie Gesundheit und Wohlbefinden der Bediener.

Die DIN EN ISO 13407 ist eine Anleitung für die benutzerorientierte Gestaltung rechnergestützter interaktiver Systeme [2]. Diese benutzerorientierte Vorgehensweise ist durch vier Aspekte gekennzeichnet:

1. Durch eine aktive Beteiligung der Benutzer – hierdurch wird ein klares Verständnis von Benutzer- und Aufgabenanforderungen erreicht.
2. Durch die Funktionsaufteilung zwischen Benutzern und Technik, z. B. soll die Automatisierung derart erfolgen, dass für Benutzer sinnvolle Tätigkeiten erhalten bleiben.
3. Durch einen interaktiven Prozess der Gestaltung der Lösung der Benutzerschnittstelle – Rückmeldungen von Anwendern tragen hierzu bei.
4. Durch die Erarbeitung der Lösung von multidisziplinären Gruppen.

Auch diese Norm sieht eine Feststellung der Zielerreichung sowie eine Beurteilung des Systems vor. Zudem sollen durch Langzeitbeobachtungen mittels systematischem Erfassen von Benutzerrückmeldungen auch Auswirkungen erkannt werden, die beispielsweise erst durch unvorhergesehene Änderungen von Arbeitsweisen entstehen.

Die DIN CEN/TR 614 gehört zu der Gruppe der produktorientierten Normen und regelt die Sicherheit von Maschinen. Sie ist als Technischer Bericht veröffentlicht [3]. In Teil 3 werden ergonomische Grundsätze für die Gestaltung von mobilen Maschinen behandelt. Die DIN CEN/TR 614 verweist mehrmals auf die DIN EN 894 [4]. Diese Norm beinhaltet ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen hinsichtlich der Sicherheit von Maschinen. Sie konkretisiert die Anforderungen der neuen EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.

In Teil 1 der DIN EN 894 sind allgemeine Grundsätze für die Interaktion von Benutzern mit Anzeigen und Stellteilen festgelegt. So sollen Fehler des Benutzers auf ein Minimum reduziert und eine effektive Interaktion zwischen Mensch und Maschine sichergestellt werden. Hierzu werden verschiedene Gestaltungsleitsätze aufgestellt. Neben Anforderungen an die Benutzerschnittstelle wie die Reduktion der Komplexität und der Selbsterklärung sind auch a) das Prinzip der Gruppierung, b) die Erwartungskonformität und c) die Forderung nach Anpassbarkeit und Erlernbarkeit aufgeführt. Im Detail bedeutet dies:

- a) Stellteile und Anzeigen sollen durch Gruppierung in der Reihenfolge ihrer Bedienung angeordnet werden. Wenn keine festgelegte Reihenfolge genutzt wird, dann sollen sie gemäß ihrer Wichtigkeit und ihrer Häufigkeit der Benutzung angeordnet werden.
- b) Unter Erwartungskonformität wird beschrieben, welche Stereotypen die Benutzer verfolgen. Beispielsweise ist die Erwartung, dass bei Betätigung eines Stellteils nach oben oder nach rechts sich der Wert einer Einstellung und einer Anzeige erhöht, ein Stereotyp. In Stresssituationen wird erwartet, dass ein Benutzer eher stereotyp handelt und nicht nach dem speziell für diese Maschine erlernten.
- c) Anzeige- und Bediensysteme sollen nicht statisch sein. Die Forderung nach Anpassbarkeit und Erlernbarkeit bedeutet, dass sich diese Systeme an die Bedürfnisse, die Fähigkeiten und an das Lernvermögen der Bediener anpassen lassen.

In Teil 2 der DIN EN 894 werden Empfehlungen für Auswahl, Gestaltung und Anordnung von Anzeigen an Maschinen gegeben. Für optische Anzeigen sind detaillierte Anforderungen an die Erkennbarkeit und die Lesbarkeit aufgeführt. Für akustische Anzeigen sind die Anforderungen für ihre Entdeckung und Identifizierung spezifiziert. Neben dem Signal-Rausch-Abstand der Lautstärke und dem empfohlenen Frequenzbereich wird auf die Möglichkeiten zur Identifizierung einer akustischen Anzeige hingewiesen, z. B. nach Muster, Klang und Wiederholung. Besonders wichtig ist der Charakter von akustischen Alarmsignalen, damit deren Dringlichkeit entsprechend wahrgenommen wird. Taktile Anzeigen, die das Fühlen einer Stellung ermöglichen, werden nach Form und Lage beschrieben.

Die Anforderungen an handbetätigte Stellteile sind in Teil 3 der DIN EN 894 aufgeführt. Vorgestellt wird darin ein Verfahren für ihre Auswahl. In dem Verfahren werden zuerst die Anforderungen spezifiziert. Diese sind z. B. die gewünschte Stellgenauigkeit und die Stellgeschwindigkeit. Auch die Sicht- und/oder die Tastkontrolle der Stellung, eine Anforderung bei Betätigung mit Handschuhen sowie eventuell geforderte Betätigungsarten und -richtungen sind beschrieben. In den nächsten Schritten des Verfahrens werden anhand dieser definierten Anforderungen geeignete Stellteiltypen ausgewählt.

In Teil 4 der DIN EN 894 wird die Lage und Anordnung der Anzeigen und Stellteile im Sicht- und Betätigungsbereich beschrieben. Auch für die Abstände der Stellteile zueinander und für die Anordnung von Anzeigen in Bezug zu Stellteilen werden Angaben gemacht. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Kompatibilität. Mit Kompatibilität ist die Erwartung des Bedieners gemeint, dass sich bei Betätigung eines Stellteiles System und Anzeigen entsprechend verhalten. Dies bedeutet z. B., dass die Bewegungen und Anordnungen von Stellteilen den Reaktionen an den entsprechenden Anzeigen ähneln müssen. Ein Ziel bei der Entwicklung von Bediensystemen ist eine hohe Kompatibilität zwischen der Bewegungsrichtung der Betätigungselemente und der Arbeitselemente.

Zu erwähnen ist ebenfalls die DIN EN ISO 9241 [5]. Ursprünglich sollte diese Normengruppe die ergonomische Anforderung und Bewertung von Büro-tätigkeiten am Bildschirm regeln. Ihr Anwendungsbereich wurde aber auf die „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“ mit Softwareschnittstellen, die benutzerorientierte Gestaltung, allgemeine optische Anzeigen auf Bildschirmen und entsprechende physikalische Eingabegeräte erweitert. Diese Erweiterung ist aber noch nicht abgeschlossen; viele Teile sind noch in Vorbereitung.

Verfahren zur Bewertung ergonomischer Systeme

Neben den in den Normen beschriebenen Bewertungsverfahren wurden im Pkw-Bereich entsprechende Verfahren entwickelt [6]. Ein weiterer Bewertungsansatz für Fahrzeugbediensysteme stellt die Benutzung eines Produktes dar, wobei die Beziehung zwischen Anzeige, Stellteil, Wirkteil und Bediener beschrieben werden [7]. So wird aus einer neutralen Beschreibung eines Fahrzeugcockpits eine objektive Bewertung, d. h.

der Usability-Faktor, hergeleitet. Dazu wird das Cockpit in primäre, sekundäre und tertiäre Sicht- und Greifbereiche unterteilt. Das gesamte Interfacesystem „Fahrzeugcockpit“ setzt sich aus Interfacemodulen z. B. der Sitzverstellung zusammen. Diese setzt sich wiederum aus den Interfaceelementen, z. B. den einzelnen Schaltern der Sitzverstellung, zusammen. Um den Usability-Faktor zu ermitteln, müssen geeignete Kriterien wie Bedienbarkeit oder Bewegungs-Kompatibilität beurteilt werden. Jedes Stellelement des Moduls wird bezüglich der Kriterien untersucht und dessen Erfüllungsgrad auf einer Skala von 0 bis 4 bewertet. Der Usability-Faktor ergibt sich aus der insgesamt erreichten Punktzahl in Bezug zur maximal Möglichen. Sehr gute Bediensysteme liegen bei einem Werte $> 80\%$. Liegt der Usability-Faktor zwischen 60 und 80% wird das System als gut bedienbar bezeichnet.

Anwendung der Bewertung auf Mähdrescher-Bedienelemente

Für die Übertragung auf Mähdrescher-Bedienelemente wurden exemplarisch drei Cockpits der Hersteller Claas, John Deere und New Holland untersucht. Der technische Stand, der an der Universität Hohenheim für diese Untersuchung verfügbaren Cockpits der Serien Claas Lexion 600, John Deere WTS 9000 und New Holland CX 8000, entspricht nicht den aktuellsten und bestausgestatteten Modellen dieser Hersteller.

Alle untersuchten Mähdrescher verfügen über Multifunktionsgriffe. Mit diesen werden die wichtigsten Änderungen der Maschineneinstellung vorgenommen. Manche Taster der Multifunktionsgriffe haben durch mehrere Druckpunkte eine Doppelbelegung; teilweise werden unterschiedliche Funktionen durch die Betätigungsdauer der Tasten erreicht. Die Bedien- und Anzeigeelemente sind bei Claas und New Holland auf zwei, bei John Deere auf drei Hauptbereiche verteilt. Fast alle Elemente befinden sich in den Konsolen rechts vom Fahrersitz. Dort ist bei Claas der zentrale Monitor mit seinen Bedientasten und einem Drehschalter untergebracht. Der Monitor von New Holland ist frei positionierbar vor der Konsole angebracht. Die weiteren Stelleinrichtungen sind nach Funktion gruppiert. In der Dachkonsole sind bei allen Herstellern die Stelleinrichtungen für Sicht und Beleuchtung integriert. Typisch für John-Deere-Mähdrescher ist die Stell- und Anzeigeelemente an der A-Säule der Kabine mit insgesamt vier spezifischen LC-Displays. New Holland integrierte in die A-Säule eine kleinere Anzeige- und Überwachungseinrichtung. Eine ähnliche Funktion hat der Kontrollleuchtenblock von John Deere in der Dachkonsole.

Für die Eingrenzung der Bewertung wurden zwei Bedienabläufe herausgegriffen: Als Erstes sollte die Höhenregelung des Schneidwerkes aktiviert und dann auf die Auflagedruckregelung umgeschaltet werden. Die Begrifflichkeiten dieser Regelungen sind bei den drei Herstellern unterschiedlich, aber die Funktionalität ist prinzipiell vergleichbar. Als zweiter Bedienablauf sollte das jeweilige Durchsatzregelsystem der Mähdrescher aktiviert werden. Die Hersteller verwenden unterschiedli-

Abb. 1



Vergleich der Bedienungsabläufe zur Aktivierung der Schneidwerksregelung (von links nach rechts: Claas, John Deere, New Holland), nach [6])

Fig. 1: Comparison of the sequence of operation to activate the cutterbar control (left to right: Claas, John Deere, New Holland), acc. [6])

che Messgrößen als Signal für die Belastung des Mähdreschers, um danach die Fahrgeschwindigkeit zu regeln. Diese Regelung kann nach Belastung der Drescheinrichtung (Massey Ferguson, Fendt), nach Motorauslastung und Dicke der Gutschicht im Schrägförderer (Claas), nach Belastung von Schneidwerk und Schrägförderer (New Holland) oder nach Belastung von Drescheinrichtung, Motorauslastung und Verlustniveau (John Deere) erfolgen. Bei der vorliegenden Analyse der Bediensysteme existierte auf dem Mähdrescher von New Holland keine Regelung der Fahrgeschwindigkeit.

Vergleicht man die Bewegungsabläufe des Fahrers bei der Bedienung der Höhenregelung des Schneidwerkes, so fallen die Unterschiede bei der Anzahl der Betätigungsschritte und bei der Lage der Stelleinrichtungen zueinander auf (**Abbildung 1**). Bei Claas ist gegenüber den anderen Herstellern ein Betätigungsschritt weniger nötig. Bei New Holland sind die zu betätigenden Stelleinrichtungen am ehesten in einer räumlichen Reihenfolge angeordnet. John Deere integrierte zusätzlich Stelleinrichtungen an der A-Säule, weshalb der Bediener ein weiteres Mal umgreifen muss: Der Wechsel zwischen Höhen- und Auflagedruckregelung erfolgt bei Claas am Multifunktionsgriff, bei John Deere an der A-Säule und bei New Holland am Kippschalter neben dem Multifunktionsgriff. Die Aktivierung der Durchsatzregelung ist bei John Deere ebenfalls in die Bedienung an der A-Säule integriert. Auch hier benötigt der Bediener in einem Claas Mähdrescher, im Vergleich zu den anderen Herstellern, einen Betätigungsschritt weniger.

Werden die einzelnen Anzeige- und Bediensysteme hinsichtlich ihrer Usability-Faktoren untersucht, so ergeben sich in dieser Untersuchung Gesamtwerte von $85,4\%$ für New Holland, $83,5\%$ für John Deere und $75,1\%$ für Claas. Abzüge in der Bewertung gab es vor allem für zusätzliche Bedienschritte oder für Inkompatibilitäten zwischen Betätigungsrichtung eines Stellteils und der Bewegungsrichtung des Arbeitselementes. Beispielsweise gab es für den Claas Multifunktionsgriff Abzüge, weil zum Anheben des Schneidwerkes das entspre-

chende Stellteil nach unten und zum Absenken dementsprechend nach oben gedrückt werden muss. Bei John Deere gab es Abzüge, da die Nummerierung der Aktivierungstasten am Multifunktionshebel von rechts nach links, entgegen der Leserichtung angeordnet ist. Als weiteres Beispiel sei die Haspelhorizontalverstellung vor/zurück angeführt. Alle Hersteller nutzen dafür nach links und rechts orientierte Stellteile. Das links orientierte Stellteil hat bei Claas die Funktion „zurück“, bei John Deere und New Holland die Funktion „vor“. Links/rechts orientierte Stellteile haben gemäß den zitierten Normen auch die Bedeutung von Minus/Plus. Demgemäß korreliert die Funktion „Haspel zurück“ mit dem „Minus“. Bezogen auf die Fahrtrichtung einer Maschine wird vom Bediener stereotypisch eine Stellteilbetätigung „links“ allerdings mit „in Fahrtrichtung“ verknüpft.

Schlussfolgerungen

Die Analyse der Bedienelemente der drei Mähdrescherhersteller zeigt, dass alle Hersteller ein individuelles Bedienkonzept besitzen. Der Vergleich mit der Bedienung an weiteren Modellen der Hersteller zeigt, dass die Konzepte konsequent beibehalten werden. Weiterentwicklungen sind nur bei überarbeiteten und bei neu vorgestellten Modellen der Hersteller sichtbar. So wechselte beispielsweise Claas bei der Monitorbedienung von Cursortasten hin zu Dreh-/Drückstellern und John Deere setzt nun in den Mähdreschern ebenfalls Monitore für die Anzeige und Bedienung ein.

Die in der DIN EN 894 geforderte Anpassung von Bediensystemen an die Bedürfnisse, Fähigkeiten und das Lernvermögen der Benutzer sind derzeit nur in geringem Umfang realisiert. Realisiert ist sie in den Anzeigemonitoren, bei denen der Nutzer die darzustellenden Informationen auswählen kann. Auch bei Monitoren, bei denen der Nutzer bestimmen kann, welche Ebene der Menüstruktur er angezeigt bekommt, ist dies umgesetzt. Eine Anpassung auf mechanischer Ebene ist bereits bei Pkws der Oberklasse in der Bedienung von Komfort- und Entertainmentssystemen mit multifunktionalen Dreh-/Drück-/

Schiebestellern zu finden. Hier passen sich die möglichen Bewegungen des Stellteils an die aktuelle Menüstruktur an. Für weitergehende Konzepte zur Anpassung der Bedienung gibt es Vorschläge für formvariable Stellteile (**Abbildung 2**) [8]. Mit diesen lassen sich adaptiv variable Stellteile verwirklichen. Der Nutzer kann taktil an der Form die möglichen Betätigungsrichtungen erkennen. Bei sehr unterschiedlichen Bediensituationen, wie sie bei Landmaschinen und Ackerschleppern auftreten, könnten damit vereinfachte, adaptive Bediensysteme geschaffen werden.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 6385 (2004): Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin, Beuth Verlag
- [2] DIN EN 13407 (2000): Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme. Berlin, Beuth Verlag
- [3] DIN CEN/TR 614-3 (2011): Sicherheit von Maschinen - Teil 3: Ergonomische Grundsätze für die Gestaltung von mobilen Maschinen. Berlin, Beuth Verlag
- [4] DIN EN 894 Teile 1-4 (2009-2010): Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen. Berlin, Beuth Verlag
- [5] DIN EN ISO 9241 (alle Teile) (1997-2011): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Berlin, Beuth Verlag
- [6] Leipold, T. (2008): Informations- und Bediensysteme an Mähdreschern. Analyse, Bewertung und Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Unveröffentlichte Master-Thesis, Universität Hohenheim
- [7] Schmid, M. (2006): Neuer Bewertungsansatz für Fahrzeugcockpits. In: Maier, T. (Hrsg.): Festschrift 70. Geburtstag von Prof. Hartmut Seeger und 40 Jahre Technisches Design. Bericht Nr. 528 des IKTD der Universität Stuttgart, S. 95-108
- [8] Petrov, A.; Maier, T. (2009): Neue Stellteile - ein Blick in die Zukunft. In: Maier, T. (Hrsg.): Human Machine Interaction Design - Von der Usability zur nutzergerechten Gestaltung. Bericht Nr. 562 des IKTD der Universität Stuttgart, S. 119-128

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger ist Leiter des Fachgebiets Grundlagen der Landtechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in Stuttgart, E-Mail: boettinger@uni-hohenheim.de

M. Sc. agr. Tobias Leipold war Student an der Universität Hohenheim und ist nun Mitarbeiter bei CNH Deutschland.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Maier ist Leiter des Forschungs- und Lehrgebiets Technisches Design am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design der Universität Stuttgart.

Abb. 2



Vier Varianten von adaptiv variablen Stellteilen [8]

Fig. 2: Concepts of four variants of adaptive variable control units [8]