

BGAG-Report 2/2004

Ergonomische Anforderungen an Multifunktionsstellteile bei Erdbaumaschinen



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Verfasser: Hanna Zieschang, Hiltraut Müller-Gethmann
Berufsgenossenschaftliches Institut Arbeit und Gesundheit – BGAG
Dresden

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)
Berufsgenossenschaftliches Institut Arbeit und Gesundheit – BGAG
Alte Heerstr. 111, D-53754 Sankt Augustin
Telefon: +49 / 02241 / 231 – 01
Telefax: +49 / 02241 / 231 – 1333
Internet: www.hvbg.de
– Juni 2004 –

ISBN: 3-88383-665-6

Kurzfassung

Zielstellung des Projektes

An Erdbaumaschinen werden vermehrt Multifunktionsstellteile (MFST) auch zur Steuerung sicherheitsrelevanter Funktionen eingesetzt. Dabei können neben den Grundfunktionen mehrere zusätzliche Funktionen, die z.B. durch Taster oder Schalter betätigt werden, auf dem MFST angeordnet sein bzw. können die Grundfunktionen des MFST durch weitere Betätigungseinrichtung, z.B. Schalter auf dem MFST oder Schalter auf der Konsole in ihrer Funktion umgeschaltet werden. Insgesamt werden die Stellteile mit immer mehr Funktionen belegt, die zu Einheiten zusammengefasst und auf mehreren Ebenen abgelegt sein können.

Die zentrale Frage des Projektes war, wie viele Funktionseinheiten auf einem MFST ein ausgebildeter Maschinenführer bewältigen kann, um die Maschine – auch in kritischen Situationen, z.B. im Gefahrenfall – sicher und zuverlässig bedienen zu können.

Projektverlauf

Das interdisziplinär angelegte Projekt wurde in mehreren Schritten realisiert:

1. In einer Bestandsaufnahme wurden aus sicherheitstechnischen Normen und Ergonomie-Normen, gesetzlichen Vorschriften, Ergebnissen anderer Forschungsaktivitäten und berufsgenossenschaftlichen Untersuchungen Kriterien zusammengestellt, anhand derer die Tätigkeit mit MFST bei Erdbaumaschinen aus sicherheitstechnischer, ergonomischer und psychologischer Sicht beurteilt werden kann.
2. In einem zweiten Teil wurde die Tätigkeit von Erdbaumaschinenführern mithilfe von Videoaufzeichnungen erfasst
 - auf dem Gelände von Erdbaumaschinenherstellern mit Vorführern als Testpersonen und
 - auf Baustellen mit den dortigen Baumaschinenführern. Damit konnte der Praxisbezug sicher gestellt werden.

Diese Untersuchungen wurden kombiniert mit Messungen der Herzfrequenz und der Armaktivität der Maschinenführer sowie der Umgebungsparameter am Arbeitsplatz.

3. Eine Befragung von Maschinenführern sollte Aufschluss über die subjektive Einschätzung der Belastung bei der Arbeit mit MFST geben und Verbesserungsvorschläge der Nutzer aufgreifen.

Ergebnisse des Projekts

Eine Antwort auf die zentrale Frage nach der maximal zu bewältigenden Anzahl von Funktionseinheiten konnte aus den Untersuchungen nicht unmittelbar abgeleitet werden, da in der Testphase keine Erdbaumaschinen mit einer so großen Funktionsbelegung zur Verfügung standen, dass die Maschinenführer an die Grenze der Beherrschbarkeit gestoßen wären. Dennoch lassen sich die wichtigsten Ergebnisse der Studie in folgenden Empfehlungen zusammenfassen:

- Die Anzahl der Funktionseinheiten sollte auf die Grundbewegungen plus maximal vier Zusatzfunktionseinheiten pro MFST begrenzt werden.
- Die Verbindung von Funktion auf dem MFST und Reaktion der Maschine muss so weit wie möglich kompatibel gestaltet sein.
- Das MFST selbst und die darauf angebrachten Bedienelemente sollten ergonomisch gestaltet sein z.B. durch Anpassung der Form an Finger und Hand und durch Anbringen einer Handkanten-/ Unterarmauflage.
- Die Anordnung und die Belegung der Bedienelemente auf dem MFST sollten unter Berücksichtigung von Nutzungshäufigkeit und Risikopotenzial der Funktionseinheiten standardisiert werden.

Ein Teil der Ergebnisse wurde als Checkliste aufbereitet zur Beurteilung der ergonomischen Gestaltung von MFST bei Erdbaumaschinen und als Empfehlungen für die Normung von MFST.

Evaluating Safety Related Aspects of Multipurpose Controls on earthmoving machinery

Abstract

Aim of the project

Multi-purpose controls are increasingly being used on earthmoving machinery for the control of safety-related functions. In addition to the basic functions, a number of auxiliary functions may be operated for example by buttons or switches on the joystick, or the basic functions on the multi-purpose control may be switched to other functions by further control elements such as switches on the multi-purpose control itself or on the operator panel. The result is that an increasing number of discrete functions, which are grouped to form units and may be accommodated on several layers, are assigned to the controls.

The key objective of the project was to establish the number of function units which can be assigned to a multi-purpose control and which a trained machine operator may cope with whilst still being able to operate the machine safely and reliably, even under critical conditions such as in hazard situations.

Course of the project

The project, which was interdisciplinary in nature, was implemented in a number of stages:

1. A survey was conducted of safety and ergonomics standards, statutory regulations, the results of other research projects, and studies by the Berufsgenossenschaften. Based upon the results, criteria were formulated against which tasks involving multi-purpose controls on earthmoving machinery can be evaluated from safety, ergonomic and psychological perspectives.
2. In the second stage, the tasks of earthmoving machinery operators were recorded on video:

- ❑ at the premises of earthmoving machinery manufacturers, with demonstrators acting as test persons;
- ❑ on construction sites, the machines being operated by their local operators. This phase assured the practical relevance.

The above studies were combined with cardiac and arm-activity measurements on the machine operators, and measurements of the ambient parameters at the workplace.

3. A survey was conducted of machine operators in order to gain information on the subjective assessment of stress arising during work with multi-purpose controls and to gather suggestions for improvements from users.

Results of the project

The study failed to provide a direct answer to the key question, that of the maximum number of function units which an operator can cope with, since an earthmoving machine with a greater number of function units than operators were capable of handling was not available during the test phase. The chief results of the study can however be summarized in the following recommendations:

- ❑ The function units should be restricted in number to the basic movements and a maximum of four further function units per multi-purpose control.
- ❑ The function on the multi-purpose control should be designed for maximum compatibility with the machine's response.
- ❑ The multi-purpose control itself and the control elements accommodated on it should be of ergonomic design, for example with adaptation of the geometry to the fingers and hand by the provision of a rest for the edge of the hand and/or forearm.
- ❑ The arrangement of the control elements on the multi-purpose control and the assignment of functions to them should be standardized in consideration of frequency of use and the risk potential presented by the function units.

The results have in part been edited to produce a checklist for evaluation of multi-purpose controls on earthmoving machines from an ergonomic design perspective, and as recommendations for the standardization of multi-purpose controls.

Les exigences ergonomiques auxquelles doivent répondre les organes de service multifonction sur les engins de terrassement

Résumé

Objectif du projet

De plus en plus souvent, les engins de terrassement sont équipés d'organes de service multifonction (OSM), utilisés notamment pour la commande de fonctions ayant une incidence sur la sécurité. Outre les fonctions de base, plusieurs fonctions additionnelles, activables par exemple par un bouton-poussoir ou par un commutateur, peuvent être également disposées sur l'OSM. Les fonctions de base peuvent être également modifiées par l'actionnement simultané d'autres dispositifs de commandes, par exemple de commutateurs disposés sur l'OSM même, ou sur la console. D'une manière générale, on constate que les organes de service servent à commander de plus en plus de fonctions, qui sont regroupées en unités, et peuvent être mémorisées sur plusieurs niveaux.

La question centrale du projet était de déterminer combien d'unités fonctionnelles disposées sur un OSM un opérateur qualifié est capable de gérer pour pouvoir manœuvrer l'engin fiablement et en toute sécurité, même dans les situations critiques, par exemple en cas de danger.

Déroulement du projet

De conception interdisciplinaire, cette étude comportait plusieurs volets :

1. Un état des lieux, lors duquel ont été recherchés – à partir de normes de sécurité et normes ergonomiques, de réglementations légales, de résultats d'autres activités de recherche, et d'études réalisées par les organismes d'assurance et de prévention des risques professionnels – des critères permettant d'évaluer

l'utilisation des OSM sur les engins de terrassement, tant sous l'aspect de la sécurité, que du point de vue ergonomique et psychologique.

2. Le deuxième volet du projet a consisté à saisir l'activité d'opérateurs d'engins de terrassement au moyen d'enregistrements vidéo
 - à l'usine de constructeurs, les démonstrateurs faisant alors office de sujets expérimentaux, et
 - sur des chantiers, avec les opérateurs qui y travaillaient, ce qui a permis de garantir le lien avec la pratique.

Ces études ont été accompagnées de mesures de la fréquence cardiaque et des mouvements du bras des opérateurs, ainsi que de paramètres environnementaux sur le lieu de travail.

3. Une enquête effectuée auprès des opérateurs, qui visait à renseigner sur l'appréciation subjective de la charge subie lors de la manœuvre des OSM, et à collecter des suggestions d'amélioration auprès de ces utilisateurs.

Résultats du projet

Les examens effectués n'ont pas permis de répondre directement à la question centrale de savoir quelle est la quantité maximum d'unités fonctionnelles gérable par un opérateur : durant la phase de test, il a été en effet impossible de disposer d'engins de terrassement dotés d'un nombre de fonctions tel que les opérateurs se seraient heurtés aux limites du maîtrisable. Les principales conclusions de l'étude peuvent être néanmoins résumées dans les recommandations suivantes :

- Il serait bon de limiter le nombre des unités fonctionnelles aux mouvements de base, plus un maximum de quatre unités fonctionnelles additionnelles par OSM.
- Le rapport entre la manœuvre effectuée sur l'OSM et la réaction de l'engin doit être aussi pertinent que possible.
- Il faudrait que l'OSM proprement dit, et les éléments de commande qui s'y trouvent, soient conçus de manière ergonomique, en ayant par exemple une forme adaptée aux doigts et à la main, et en possédant un support sur lequel peuvent

reposer le tranchant de la main et l'avant-bras.

- ❑ Il serait bon que la disposition et la fonction des éléments de commande sur l'OSM soit standardisée, en tenant compte de la fréquence d'utilisation et du potentiel de risques présenté par les unités fonctionnelles.

Une partie des résultats a été synthétisée sous forme de check-list permettant d'évaluer le caractère ergonomique d'un OSM sur les engins de terrassement, et pouvant servir de recommandation pour la normalisation des OSM.

Exigencias ergonómicas de dispositivos de mando multifunción en máquinas para el movimiento de tierras

Resumen

Los objetivos del proyecto

En las máquinas para el movimiento de tierras, es cada vez más frecuente la utilización de dispositivos de mando multifunción que también se aplican para funciones de control con relevancia de índole de seguridad. Además de las funciones básicas, en estos dispositivos de mando multifunción es posible situar funciones adicionales que, por ejemplo, pueden ser activadas por medio de teclas o conmutadores; o también es posible que las funciones básicas del dispositivo de mando multifunción sean conmutadas de una función a otra, por medio de otros elementos de control y mando en el dispositivo multifunción mismo, o por medio de elementos de control y mando dispuestos en la consola. Los dispositivos de mando multifunción contienen cada vez más funciones que pueden ser agrupadas en unidades y depositadas en diferentes niveles.

La cuestión central que se había planteado en el marco del proyecto era, cuál sería la cantidad de unidades de funciones en un dispositivo de mando multifunción que podía ser dominada por un maquinista formado para que éste aun fuera capaz de controlar la máquina de manera segura y eficaz - incluso en situaciones críticas, por ejemplo, en caso de peligro.

El transcurso del proyecto

Este proyecto que tenía carácter interdisciplinario, fue realizado siguiendo los diferentes pasos que aquí se describen:

1. En un estudio de la situación existente, se han reunido ciertos criterios como resultado del análisis de normas técnicas de seguridad, normas de ergonomía, reglamentos legales, resultados de otros estudios investigativos y estudios llevados a cabo por los organismos de seguros y prevención de riesgos profesionales. En

base a estos criterios, fue posible evaluar las actividades con los dispositivos de mando multifunción desde el punto de vista de la seguridad técnica, de la ergonomía y de la psicología.

2. En un segundo paso se han analizado las actividades de los maquinistas con ayuda de grabaciones en video
 - en recintos de productores de maquinaria para el movimiento de tierras con maquinistas presentadores de los productos como personas de prueba, y
 - en áreas de obras de construcción con los maquinistas que ahí utilizaban estas máquinas. De esta manera se pudo garantizar la relación de la investigación con la realidad de la práctica profesional.

Estos estudios se combinaron con mediciones de la frecuencia cardíaca y de la actividad de los brazos de los maquinistas, así como con los parámetros del entorno de su correspondiente puesto de trabajo.

3. Además se realizó una encuesta entre los maquinistas para averiguar su valoración objetiva de las cargas que se dan al trabajar con los dispositivos de mando multifunción, así como para poder utilizar las propuestas de mejora que hacían aquellos usuarios mismos.

Los resultados del proyecto

Como resultado del estudio no se pudo deducir una respuesta concreta a la pregunta central de cuál sería el número máximo de unidades de funciones dominable por el maquinista, ya que durante la fase de prueba no se tuvieron a disposición unas máquinas para el movimiento de tierras con una disposición de funciones tan grande que los maquinistas hubieran llegado a sus límites de capacidad de resistencia. Sin embargo, los resultados más importantes de esta investigación se pueden reunir en las siguientes recomendaciones:

- El número de unidades de función debería ser limitado a los movimientos básicos más, como máximo, cuatro funciones adicionales por cada uno de los dispositivos de mando multifunción.
- La conexión entre la función en el dispositivo de mando multifunción y la reacción de la máquina tiene que ser configurada de la manera más compatible posible.

- ❑ El dispositivo de mando multifunción mismo y los elementos de control y mando que se dispongan en él, deberían ser configurados de manera ergonómica, por ejemplo, por medio de la adaptación de su forma a los dedos y a la mano del usuario, y la disposición de un soporte para el canto de la mano y el brazo inferior.
- ❑ Se debería estandarizar la disposición y la asignación de los elementos de control y mando en el dispositivo de mando multifunción, siempre bajo la consideración de la frecuencia de utilización y el potencial de riesgo de las unidades de función.

Una parte de los resultados se ha utilizado para establecer una lista de chequeo por medio de la cual es posible evaluar la configuración ergonómica de los dispositivos de mando multifunción en máquinas para el movimiento de tierras, y además emitir recomendaciones para la normalización de estos mismos dispositivos.

Am Projekt beteiligte Institutionen

Projektgruppe des HVBG:	Dr. Hanna Zieschang, BGAG (Projektleitung) Dr. Hiltraut Müller-Gethmann, BGAG Dipl.-Ing. Rico Stoll, Geschäftsstelle BG-PRÜFZERT
Unterstützt durch die Tiefbau-Berufsgenossenschaft:	Fachausschuss Tiefbau, Prüf- und Zertifizierungsstelle: Dipl.-Ing. Univ. Reinhold Hartdegen Ing. Werner Schmidt
Unterstützt durch Erdbaumaschinenhersteller:	Dipl.-Ing. Peter Labitzke, Komatsu Hanomag Dr. Uli Melchinger, O&K Orenstein & Koppel Dipl.-Ing. Werner Ruf, Liebherr-Hydraulikbagger GmbH Heinz Werner, Volvo Compact Equipment
Unterstützt durch ITT Cannon, Hersteller von Multifunktionssteilteilen:	Dipl.-Ing. Klaus Lamm Dipl.-Ing. Joachim Meyer-Quade Reinhard Weitzel
Projektnehmer:	Technische Universität Dresden Institut für Arbeitsingenieurwesen: Dr. Wilfried Prescher Dipl.- Ing. Silke Paritschkow Theo Sommer Institut für Psychologie I: Dr. Frauke Jahn Anika Döring

Wissenschaftlich begleitet durch: Emmanuelle Brun, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA

Prof. Dr. Heiner Bubb, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie

Dr. Herbert Rausch, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie

Dr. Dietmar Reinert, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA

Dipl.-Ing. Manfred Schweigert, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie

Danksagung

Das BGAG dankt allen Beteiligten für die Unterstützung und kritische Begleitung des Projekts. Besonders der Tiefbau-Berufsgenossenschaft sei Dank für den personellen Einsatz und die finanzielle Unterstützung der Studie sowie der Technischen Universität Dresden für die fruchtbare Kooperation. Unser Dank geht ebenso an die Erdbaumaschinenherstellern Liebherr, Orenstein und Koppel und Volvo sowie den Joystickhersteller ITT Cannon für die personelle und inhaltliche Unterstützung, aber auch für die Bereitstellung von Maschinen. Der Firma Mitsubishi danken wir für die kostengünstige Bereitstellung der Ausrüstung für die Videoaufzeichnungen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	17
1.1	Ziel- und Problembeschreibung.....	17
1.2	Die Norm ISO 10968	19
1.3	Begriffsklärungen.....	20
2	Bestandsaufnahme	23
2.1	Gestaltungsanforderungen an MFST in Regelwerken und Literatur	23
2.2	Vorkommen von Multifunktionsstellteilen.....	34
2.3	Die Mensch-Maschine-Schnittstelle	42
3	Untersuchungen	49
3.1	Material und Methoden.....	49
3.2	Untersuchungen bei Herstellern von Erdbaumaschinen	53
3.3	Untersuchungen auf Baustellen	57
3.4	Befragung von Maschinenführern.....	58
4	Ergebnisse	61
4.1	Ergonomische Gestaltung der Stellteile und Anordnung der Bedienelemente	61
4.2	Anzahl und Belegung der Funktionseinheiten, Kompatibilität	64
4.3	Bedienhäufigkeit und Zyklusdauern	69
4.4	Gefahrensituationen	72
4.5	Bedienfehler, Automatisierung	73
4.6	Beanspruchung, Stress, Monotonie.....	78
4.7	Einfluss von Umgebungsparametern	81
5	Diskussion.....	88
5.1	Beurteilung des Status quo.....	88
5.2	Vorschläge zur Optimierung	91
5.3	Anregungen für die Normung.....	96
6	Ausblick	100
6.1	Inhalte weiterer möglicher Untersuchungen.....	100
6.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete	101

7	Literaturverzeichnis.....	102
	Anhang 1: Ergonomische Checkliste (Lastenheft).....	106
	Anhang 2: Funktionseinheiten des MFST.....	109
	Anhang 3: Beanspruchungsfragebogen BMS	112
	Anhang 4: Befragung zur Gestaltung von Stellteilen (Joysticks) in Erdbaumaschinen (Bagger und Radlader)	113
	Anhang 5: Multifunktionsstellteile der in der Studie untersuchten Erdbaumaschinen	123



1 Einleitung

In der Norm ISO 10968:1995 „Earth-moving machinery – Operator’s controls“ [1] werden grundsätzliche Anforderungen an Stellteile bei Erdbaumaschinen formuliert. Diese internationale Norm stand im Jahr 2000 zur Überarbeitung an. Im Zuge dieser Überarbeitung erörterte die Arbeitsgruppe „Multifunktionsstellteile“ (MFST) des Arbeitsausschusses Erdbaumaschinen im DIN, dass Stellteile bei Erdbaumaschinen mit zunehmend mehr Funktionen belegt werden. Somit werden höhere Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Maschinenführers gestellt. Die Grenze der Informationsmenge, die ein Maschinenführer gleichzeitig verarbeiten kann, scheint dabei aber schon erreicht oder sogar überschritten zu sein. Wie sollte man mit diesem Problem in der Norm umgehen?

Aus der Arbeit des genannten DIN-Arbeitsausschusses ergab sich die grundlegende Frage des vorliegenden Forschungsprojekts:

Wie viele Funktionseinheiten auf einem Multifunktionsstellteil kann ein ausgebildeter Maschinenführer bewältigen, um die Maschine – auch in einer kritischen Situation, z.B. im Gefahrenfall – sicher und zuverlässig zu bedienen?

1.1 Ziel- und Problembeschreibung

Der Umgang mit einer Erdbaumaschine mittels eines Multifunktionsstellteils (z.B. Abbildung 1.1, siehe Seite 18) ist ein Beispiel für eine Mensch-Maschine-Schnittstelle. Der Benutzer oder Maschinenführer nimmt Informationen über eine Situation z.B. auf einer Baustelle auf, verarbeitet sie und reagiert, d.h. bewegt die Maschine nach vorne oder hinten, neigt die Baggerschaufel, kippt und leert sie, etc. Davon, wie der Maschinenführer die auf ihn eintreffende Information aufnehmen, verarbeiten und daraus abzuleitende Handlungsschritte ausführen kann, hängt ab, wie sicher er die Maschine handhabt. Vermutlich wird er dies umso sicherer tun

- je mehr Informationen über die Maschine und vor allem ihr Bedienelement, das MFST, in seinem Gedächtnis vorhanden sind,



- je mehr er von diesen Informationen gleichzeitig aus seinem Gedächtnis abrufen kann,
- je weniger es zu Interferenzen mit Information ähnlicher Art oder Inhalts beim Abruf kommt,
- je schneller der Abruf erfolgt (Reaktionszeit),
- je stärker bei der Gestaltung von MFST solcher Erdbaumaschinen ergonomische Grundsätze berücksichtigt wurden.



Abbildung 1.1:
Standardmultifunktionsgriff der Firma ITT Cannon,
z.B. für einen Radlader einsetzbar

Derzeit werden MFST bei mobilen Maschinen bereits mit bis zu 15 Funktionen belegt. Fraglich ist, ob und wie ergonomische Grundsätze bei dieser hohen Anzahl überhaupt beachtet werden können. Zwar kann man bei einem Benutzer, der die Tätigkeit an einem MFST schon länger ausführt, davon ausgehen, dass die Bedienung bereits als automatisiertes Wissen vorliegt. Solch eine Art automatisierten Wissens ist z.B. vom Schaltvorgang beim Autofahren bekannt. Doch selbst in diesem Fall kann es z.B. unter Stress zu Reaktionsverzögerungen oder Fehlern kommen. Es ist zu vermuten, dass Bedienungsfehler umso häufiger auftreten, je größer die Anzahl der Funktionen und je ähnlicher die Tastenbelegung ist.

Um also Kriterien für ergonomische Grundsätze zur Gestaltung von MFST berücksichtigen zu können, sind Antworten auf folgende Fragen notwendig:



1. Wie viele auf einem MFST abgelegte Funktionseinheiten kann ein Benutzer behalten und schnell genug abrufen, um die Maschine noch sicher bedienen zu können?
2. Wie müssen die Funktionen auf dem MFST angeordnet sein, damit ein sicherer Umgang möglich ist, d.h.:
 - Unterscheiden sich die Funktionen, die zu unterschiedlichen Reaktionen der Maschine führen, deutlich genug voneinander?
 - Sind die Reaktionen der Maschine mit den Bewegungen des MFST kompatibel, d.h. entsprechen sie einander in ihrer Logik z.B. in der Richtung?
 - Wird die Sicherheit erhöht, wenn die Funktionen nicht alle parallel, sondern auf mehreren Ebenen abgelegt sind (siehe Abschnitt 1.3)?
 - Ist es sicherer, die unterschiedlichen Funktionen statt auf mehrere Ebenen auf zwei MFST zu verteilen?
3. Wie groß ist der Verlust an Sicherheit, wenn ein Benutzer zwischen unterschiedlichen MFST an verschiedenen Maschinen wechseln oder sich durch eine neue Belegung umgewöhnen muss?

1.2 Die Norm ISO 10968

Initiiert wurde dieses Projekt von der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG), die an der Überarbeitung der Norm ISO 10968:1995 „Earth-moving machinery-Operator's controls“ [1] beteiligt ist. In der derzeit noch gültigen Norm ISO 10968 in der Fassung von 1995 kommt der Begriff des MFST nicht vor. Es geht insgesamt um „controls“, bei denen es sich sowohl um Joysticks als auch um Bedienelemente im Sinne des in dieser Studie verwendeten Begriffs handeln kann. Unterschieden werden dabei „primary control“ und „secondary control“. Die entsprechenden Definitionen orientieren sich an den Häufigkeiten bzw. der Kontinuität von Steueroperationen. Die Norm beschreibt für „primary controls“ spezieller Maschinengattungen (z.B. für Hydraulikbagger) eindeutige Anordnungs- und Funktionsvorgaben.

Grund- und Zusatzfunktionen – in dem Sinne, wie die Begriffe in dieser Ausarbeitung verwendet werden – werden in der Norm nicht unterschieden. Die Begriffe „primary



control“ und „secondary control“ spiegeln allerdings eine Funktionszuordnung wider, die auch mit den Begriffen „Grundfunktion“ und „Zusatzfunktion“ belegt werden könnte.

Zeitlich parallel zum Projektverlauf ist ein neuer Normentwurf ISO/DIS 10968 (Date: 2002-04-26) [2] entstanden. Die im Projekt erhaltenen Erkenntnisse konnten durch die Mitarbeit der TBG in entsprechenden Normungsspiegelgremien des DIN zum ISO/TC 127 und CEN/TC 151 WG 1 direkt Eingang finden. Gegenüber der Normversion von 1995 enthält dieser neue Entwurf ein Kapitel zu „Multifunctional controls“, der insbesondere auf „Basic movements“ und „Basic functions“ sowie „Additional controls“ eingeht. Eine Begrenzung der Anzahl von „Additional controls“ ist in diesem Entwurf nun normativ vorgegeben. Es heißt: „It is recommended that no more than 4 additional control mechanisms should be located on the control....“. Im informativen Anhang des Normentwurfs werden Vorschläge für die genauere Belegung dieser Funktionseinheiten für die unterschiedlichen Baumaschinen gegeben.

Kapitel 5 wird ausführlicher darauf eingehen, welche Vorschläge für die Normung aufgrund der in der Studie gewonnenen Ergebnisse gemacht werden können.

1.3 Begriffsklärungen

In der DIN EN 60447 [3] wird ein „Multifunktionales Bedienteil“ definiert als ein „Bedienteil oder ein Satz von Bedienteilen, die abwechselnd mit verschiedenen Endzuständen in Wechselbeziehung stehen (z.B. Bewegungsrichtung oder Anordnung der Bedienteile)“. Nach dieser Definition ist schon der übliche Kreuzschalthebel, ohne zusätzliche Funktionen, ein solches multifunktionales Bedienteil.

Schmidtke [4] gibt folgende Definition: „Man spricht von integrierten Stellteilen, Multifunktionshebeln oder Multifunktionsstellteilen, wenn in einem Stellteil mehrere Stellteilfunktionen zur alternativen, sequentiellen oder simultanen Betätigung so zusammengefasst sind, dass sie der Erfüllung unterschiedlicher Teil- oder Parallelaufgaben dienen“. Diese Definition soll prinzipiell auch hier verwendet werden. Bezogen auf Erdbaumaschinen werden als MFST in diesem Projekt Kreuzschalthebel oder Joysticks ver-



standen, die – und dadurch werden sie multifunktional – mit weiteren Stellteilen wie Tastern, Wippen, Kreuzschalthebeln etc. versehen oder in ihren Grundfunktionen umschaltbar sind. Die Taster, Wippen, etc. sollen im vorliegenden Bericht als Bedienelemente bezeichnet werden, um den Begriff „Stellteil“ nicht mehrfach zu belegen.

Bei Joysticksteuerungen – und damit auch bei MFST – werden die durch die unterschiedlichen Bewegungsrichtungen des Joysticks hervorgerufenen Funktionen als Grundfunktionen bezeichnet. Die Bewegungen sind solche nach vorn, hinten, rechts, links oder Kombinationen daraus (Abbildung 1.2).

Natürlich kann ein solcher Kreuzschalthebel weitere Freiheitsgrade haben wie Heben, Senken und Drehen, die ebenfalls mit Funktionen belegt sein können. Bei den in dieser Studie behandelten Erdbaumaschinen waren diese Richtungen jedoch nicht mit Funktionen belegt.

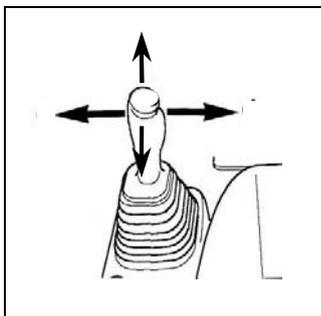


Abbildung 1.2:
Richtungen der Grundfunktionen bei einem MFST

Eine Funktion, die durch Betätigen eines auf dem MFST untergebrachten Bedienelements ausgelöst oder durch das Umschalten einer Grundfunktion des MFST eingeleitet wird, wird als Zusatzfunktion bezeichnet. Dabei gibt es folgende Möglichkeiten:

- Eine Zusatzfunktion wird unmittelbar durch das Betätigen eines auf dem MFST angebrachten Bedienelements ausgelöst.
- Eine Zusatzfunktion wird durch die Belegung einer MFST-Richtung in einer neuen Ebene realisiert: Durch vorheriges Betätigen eines Bedienelements auf dem MFST oder auf der Konsole der Baumaschine ist die entsprechende Bewegungsrichtung nicht mehr durch die Grundfunktion, sondern durch eine Zusatzfunktion belegt.



- Auch ein Bedienelement auf einem MFST kann mehrfach, d.h. in weiteren Ebenen belegt sein, indem diesem Bedienelement z.B. nach Betätigen eines Hebels an der Konsole oder eines Fußschalters eine andere Funktion zugewiesen wird.

Eine oder mehrere Funktionen bilden zusammen eine Funktionseinheit, wenn sie logisch zusammen gehören, z.B. vorwärts/rückwärts fahren, Löffel ein-/auskippen.

Man unterscheidet entsprechend obiger Definitionen Grundfunktionseinheiten (GFE) und Zusatzfunktionseinheiten (ZFE).

Da es bei der Anzahl an GFE zwischen unterschiedlichen Maschinen keine Variationsmöglichkeiten gibt – es gibt immer gleich viele mögliche Bewegungsrichtungen für ein Stellteil – wurde die Zielstellung des Projektes auf ZFE eingeschränkt:

Wie viele **Zusatzfunktionseinheiten** auf einem Multifunktionsstellteil kann ein ausgebildeter Maschinenführer bewältigen, um die Maschine - auch in einer kritischen Situation, z.B. im Gefahrenfall - sicher und zuverlässig zu bedienen?



2 Bestandsaufnahme

In einer Bestandsaufnahme als Teil des Projekts wurde aus sicherheitstechnischen Normen und Ergonomie-Normen, gesetzlichen Vorschriften, Forschungsberichten, berufsgenossenschaftlichen Untersuchungen und weiterer Literatur zum Thema zusammen getragen, welche Hinweise es bereits zum sicheren Arbeiten mit MFST gibt. Dabei waren nicht nur Ergebnisse bei Erdbaumaschinen von Interesse, sondern es wurde auch geschaut, ob zu anderen, mit MFST gesteuerten Maschinen oder Anlagen bereits Untersuchungen oder Regelungen vorliegen, deren Ergebnisse sich übertragen ließen.

Entsprechend teilt sich die in diesem Kapitel vorgenommene Bestandsaufnahme in zwei Teile: Zum einen werden aus der gesichteten Literatur Kriterien zusammengestellt, anhand derer die Tätigkeit mit MFST bei Erdbaumaschinen aus sicherheitstechnischer, ergonomischer und psychologischer Sicht beurteilt werden kann. Diese Sichtung mündet in einer Checkliste, die solch eine Beurteilung bei MFST von Erdbaumaschinen unterstützt. Zum anderen wird dargestellt, welche MFST es bei anderen Maschinen gibt und wie sie gestaltet sind.

2.1 Gestaltungsanforderungen an MFST in Regelwerken und Literatur

Arbeitsmittel sollten so weit wie möglich an die physischen und mentalen Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen angepasst werden. Für MFST lassen sich anhand der Literatur folgende Grundsätze zusammenstellen [5; 6]:

- Nutzergerechte Anordnung**
Stellteile müssen so platziert sein, dass der Nutzer sie aus einer bequemen und entspannten Körperhaltung heraus betätigen kann.
- Wahrnehmbarkeit**
Der Nutzer muss durch seine Sinne (Sehen, Hören, Fühlen) den Betriebszustand der Maschine bzw. die Stellung des MFST und dessen Bedienelemente erkennen und daraus seine Handlungsmöglichkeiten ableiten können.
- Aufgabenangemessenheit**
Das MFST muss so gestaltet sein, dass es den Nutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe effektiv durchzuführen.



- ❑ Erwartungskonformität
Die Beziehungen zwischen den Handlungen des Nutzers und den Reaktionen der Maschine sollten den Erwartungen des Nutzers entsprechen.
- ❑ Fehlerrobustheit
Soweit es konstruktiv möglich ist, dürfen Fehler, die unabsichtlich durch menschliches Fehlverhalten verursacht werden, nicht zur Gefährdung von Personen oder Sachgütern führen.

Für die Anordnung von MFST in der Fahrerkabine sind die Greifbereiche des sitzenden Maschinenführers maßgebend. Dabei können die Maschinenführer unterschiedlich groß sein. Es hat sich international durchgesetzt, Arbeitsplätze mobiler Maschinen für einen Körpergrößenbereich von 90 % der Nutzergruppe zu konzipieren (siehe EN ISO 3411 [7] für Erdbaumaschinen, sonst auch DIN EN 60447 [3]). Grundlage zur ergonomischen Anordnung von (hand- und fußbetätigten) Stellteilen ist die DIN EN ISO 6682 [8].

Zur nutzergerechten Anordnung gehört, dass häufig betätigte Stellteile – und dazu gehören MFST in Erdbaumaschinen – im Bequemlichkeitsbereich liegen. Dies ist dadurch gegeben, dass unterschiedlich große Nutzer ihre Sitzposition über die vielfältig verstellbaren Komfortsitze moderner Erdbaumaschinen optimieren können.

Im Allgemeinen sind MFST im Fahrzeugbau rechts und links des Fahrerplatzes angeordnet (Abbildung 2.1, siehe Seite 25). Ist nur ein MFST vorhanden, ist dieses meist rechts des Fahrerplatzes positioniert. Dies bringt einerseits den Vorteil einer Vereinheitlichung, die Umgewöhnungsfehler verringert. Andererseits könnten Linkshänder benachteiligt sein. Nach Erfahrungen der TBG ist Letzteres aber nicht der Fall. Es gibt auch Erdbaumaschinen, bei denen der Steuerknüppel für die Fahrbewegung – wie in Flugzeugcockpits – zwischen den Beinen des Maschinenführers angeordnet ist.

MFST bei Erdbaumaschinen und vergleichbaren Bedienständen können in die Armkonsole integriert oder vor ihr angeordnet sein. Dabei gibt es sowohl Sitze, bei denen der gesamte Sitz inklusive Armkonsole als Einheit bewegt werden kann, als auch solche, bei denen der Sitz relativ zur Armkonsole verschiebbar ist. Sind Sitz und Armkonsole fest miteinander verbunden, werden Vibrationen der Maschine nicht auf den Fahrer und das MFST übertragen, sondern vom Dämpfungssystem des Fahrsitzes aufge-



fangen. Dadurch treten zwischen Maschinenführer und MFST keine Relativbewegungen auf, die zu Fehlbedienungen führen könnten.

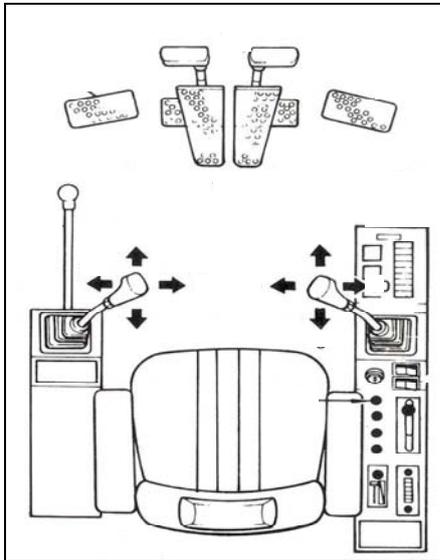


Abbildung 2.1:
Anordnung der Betätigungselemente eines
Hydraulikbaggers auf einem Raupenfahrwerk
nach [9]

Folgende Eckpunkte machen eine nutzergerechte Anordnung von MFST in der Fahrerkabine aus [9 bis 14]:

- Bei Betätigung der Stellteile müssen die Finger, Hände und Arme eine natürliche Haltung einnehmen können (Bequemlichkeitsbereich nach DIN EN ISO 6682 [8]).
- Die Nullstellung des MFST sollte der beanspruchungsärmsten Stellung des Hand-Arm-Systems entsprechen (normale Gelenkstellung).
- Handbetätigte Hebel sollten vorzugsweise symmetrisch zum Fahrerplatz angeordnet sein.
- Eine standardisierte Anordnung sollte gewährleistet sein, um Fehlbedienung und damit Unfallgefahren durch Umlern- bzw. Umgewöhnungsvorgänge zu vermeiden.
- Die Anordnung sollte so erfolgen, dass die Richtungen der Stellteilbewegungen günstig für die Kraftausübung und die Bewegung der betätigenden Körperteile sind.
- Stellteile sollen soweit wie möglich in ihrer Bewegung keine Anzeigen oder andere Bedieneinrichtungen verdecken bzw. blockieren.



Zur Formgestaltung der MFST und ihrer Bedienelemente (Form, Abmessungen, Material) sind in der Literatur nur wenig spezifische Angaben zu finden. Wichtig für die Griffgestaltung ist der Griffumfang der Hand. Dieser beträgt 108 mm für das 5-Perzentil weiblich und 154 mm für das 95-Perzentil männlich. Unterschiedliche Handbreiten sollten sich durch eine höhenverstellbare Auflagefläche für die Handkante am Griff des MFST, wie sie z.B. bei Mähdreschern bereits Anwendung finden [15], ausgleichen lassen.

Auf anthropomorph gestaltete Handseiten von MFST, z.B. Profile für die Finger o. Ä., sollte verzichtet werden, da diese stets nur individuell richtig sein können. „Die anthropometrischen Maße der Hand sind bei den Menschen so unterschiedlich, dass solche für eine Einzelperson richtige Gestaltungen stets Zwangshaltungen bei einer großen Anwendergruppe zur Folge haben“ [11].

Weitere Hinweise für die Griffgestaltung sind [9; 11; 15]:

- rutschfeste und gering Wärme leitende Griffflächen (Gummi, Kunststoff),
- bei Umfassungsgriffen keine Profilierungen der Kontaktflächen, da sie die Haut stärker beanspruchen, ohne die Reibung zu erhöhen,
- schlichte, ellipsoide Griffform.

Die Bedienelemente auf den MFST können Taster, Druckschalter, Kippschalter, Wippschalter, Kreuzwippen oder Fingerschieber sein (siehe auch Abbildung 2.2, Seite 28). Dabei haben sie je nach Ausgestaltung folgende Vorteile [13]:

- zwei (ein/aus) oder drei (senken/neutral/heben) mögliche Stellungen,
- einhändiges, gleichzeitiges Stellen mehrerer Bedienelemente möglich,
- geringer Platzbedarf,
- Sehen und Tasten der Stellung möglich.

Die Abmaße der Bedienelemente (Tabelle 2.1, siehe Seite 27) werden nach den anthropometrischen Maßen der Daumen- und Zeigefingerspitze ermittelt. Ihre Maximalwerte orientierten sich am 95-Perzentil männlich um sicherzustellen, dass auch versenkt angeordnete Druckknöpfe von großen Personen betätigt werden können. Bei



Fingerschiebern sollten die Längen-Breiten-Verhältnisse so gewählt werden, dass eine ausreichende Berührungsfläche (ca. 100 mm²) vorhanden ist [11].

Tabelle 2.1:

Abmaße unterschiedlicher Typen von Bedienelementen auf MFST (aus [11]). Je nach Literaturquelle differieren die empfohlenen Maße für handbetätigte Bedienelemente, besonders bei Kipp- und Wippschaltern, stark

Druckschalter und -taster

	∅ bei Fingerbetätigung (mm)	∅ bei Daumenbetätigung(mm)
minimal	10	15
mittel	12	20
maximal	24	28

Kipp- und Wippschalter

	Fingerbetätigung		Daumenbetätigung	
	mittlere Breite (mm)	Länge (mm)	mittlere Breite (mm)	Länge (mm)
minimal	20	40	23	50
mittel	22	46	25	60
maximal	24	60	27	80

Fingerschieber (hier sind die Länge-Breite-Verhältnisse wichtig)

Länge des Schiebers (mm)	20	17	14	12	11	10	9	8
Breite des Schiebers (mm)	5	6	7	8	9	10	11	12

Die geometrischen Formen der einzelnen Bedienelemente sind je nach Hersteller recht unterschiedlich (Abbildung 2.2, siehe Seite 28). Folgende Kriterien sollten möglichst immer eingehalten werden [9; 11; 13]:

- konkave Oberfläche bei Tastern zur Zentrierung der Finger,
- ausreichende Kontaktflächen entsprechend der oben angeführten Maße,
- rutschfeste Oberflächen bzw. Materialien (Gummi, profilierte Kontaktflächen),
- Zusammengehörigkeit von Bedienelementen durch Formgebung unterstützen,



- ❑ Rückschlüsse auf die Funktion des Bedienelements durch Formgebung und entsprechende Zuordnung von Piktogrammen ermöglichen (z.B. Pfeiltasten für vorwärts/rückwärts fahren),
- ❑ haptische Unterscheidung der einzelnen Funktionen (z.B. mittels unterschiedlicher Formen, Materialien oder Oberflächen der Bedienelemente).

Für bestimmte Arbeiten auf Baustellen sind Schutzhandschuhe notwendig. Dies muss bei der geometrischen Gestaltung und den Maßen der MFST und ihrer Bedienelemente zusätzlich berücksichtigt werden.

Abbildung 2.2:

Beispiele verschiedener Bedienelemente, wie sie auf MFST von Radladern (a), Erntemaschinen (b) oder bei einer Armlehnenbedieneinheit für einen Traktor (c) zu finden sind



Bei a wurden die Taster zum Teil versenkt eingebaut. In b ist ein MFST mit zwei Kreuzwippen dargestellt, die in den vier Hauptrichtungen je eine Funktion aktivieren. Bei c sind die Bedienelemente sehr unterschiedlich geformt. Dies unterstützt eine haptische Unterscheidung (siehe hier auch [15]). (MFST der Firma ITT Cannon)

Eine sinnvolle räumliche Anordnung der Bedienelemente auf dem MFST wird in erster Linie durch die anthropometrischen Daten der menschlichen Hand bestimmt. Angaben hierzu enthält die DIN 33402 Teil 2 [16].

Darüber hinaus sind die Bewegungsmöglichkeiten der Fingergelenke für die Anordnung von Bedeutung. Die Bedienelemente müssen mit den Fingern betätigt werden können, ohne dabei die Hand vom MFST zu lösen. Ein Lösen der Hand könnte dazu führen, dass die Grundfunktionen nicht mehr sicher kontrolliert werden. Schätzt man



unter dieser Bedingung z.B. den Greifbereich eines Zeigefingers ab und bezieht Mindestgrößen und Mindestabstände der Bedienelemente (siehe weiter unten) ein, ergibt sich, dass mit dem Zeigefinder maximal zwei Bedienelemente wirklich gut erreicht werden können. In der Literatur waren allerdings keine systematischen wissenschaftlichen Untersuchungen zu Greifbereichen von Fingern zu finden, die als Grundlage hätten herangezogen werden können.

Empfehlenswerte Abstände zwischen Bedienelementen oder von Bedienelementen zu anderen Konstruktionsteilen sind in Tabelle 2.2 zusammengestellt. Allerdings berücksichtigen diese Werte weder die Hand- oder Fingerhaltung am MFST noch die unterschiedlichen Breiten von Daumen und Zeigefinger. Genauere Angaben zu optimalen Abständen sind bisher in der Literatur nicht vorhanden. Diese müssten sich am 95-Perzentil männlich orientieren, um ein unbeabsichtigtes Betätigen nebeneinander angeordneter Bedienelemente zu vermeiden.

Tabelle 2.2:
Lichte Abstände (gemessen von Rand zu Rand) zwischen handbetätigten Bedienelementen [9]

Bedienelement	Optimaler Abstand in mm	Minimaler Abstand in mm
Druckschalter, Drucktaster	50	12
Kippschalter, Wippenschalter	50	20
Tastschalter	maximal 7	3

Kriterien für die Anordnung von Bedienelementen auf MFST sind [9; 15; 17]:

- Bedeutsamkeit und Betätigungshäufigkeit der Bedienelemente,
- Verwendung der gleichen Bedienelemente für gleiche Funktionen bei verschiedenen Erdbaumaschinen,
- Anordnung von Bedienelementen auf der Rückseite des MFST, um den Daumen zu entlasten,



- kein Bedienelement dort, wo sich Finger und Daumen in ihrer nicht-ausgelenkten Position befinden, da sonst Gefahr einer unbeabsichtigten Betätigung.

In den meisten Fällen werden Stellwege und Stellkräfte in der Literatur gemeinsam behandelt, da sich für eine optimale taktile Rückmeldung an den Benutzer die Stellkräfte in Abhängigkeit vom Stellweg ändern sollten (siehe Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3:
Stellkräfte für häufiges Betätigen, gilt für Bewegungen zum Körper hin bzw. vom Körper weg

Bedienelement	Stellweg in mm	Stellkraft in N*
Stellhebel	100 bis 400	10 bis 200
Drucktaster	2 bis 40	1 bis 8
Kippschalter	10 bis 40	2 bis 10
Wippschalter	4 bis 10	2 bis 8
Fingerschieber	5 bis 25	1,5 bis 20

* Für Bewegungen quer zum Körper sollten geringere Stellkräfte eingesetzt werden [13]

Maximal- und Minimalwerte für Betätigungskräfte können je nach Norm bzw. Literaturquelle weit auseinander liegen. Das liegt unter anderem daran, dass bei der Abgrenzung von „häufige Betätigung“ gegen „weniger häufige Betätigung“ keine Einigkeit herrscht. So kann es vorkommen, dass Angaben für Maximalkräfte zur Vorwärts/Rückwärts-Bewegung um bis zu 400 % schwanken [9]. Ebenso darf die Stellkraft ein Mindestmaß nicht unterschreiten, da sonst das Gefühl für den Schaltvorgang verloren gehen und die Gefahr der unbeabsichtigten Betätigung ansteigen würde.

Auch von der Arbeitsaufgabe hängt ab, welche Stellwege und Stellkräfte wünschenswert sind. Erfordert die Arbeitsaufgabe hohe Genauigkeit und Sorgfalt, z.B. Baggerarbeiten in der Nähe von Gasleitungen, sind große Stellwege und geringe Stellkräfte sinnvoll. Muss hingegen z.B. in kurzer Zeit viel Volumen Erdrum bewältigt werden und sind keine Personen oder Sachgüter im Arbeitsumfeld gefährdet, sind eher kleine



Stellwege angebracht. Ein von der Firma Komatsu bei der BAUMA 2001 vorgestellter Mobilbagger war hierfür mit einem Betriebsartenwahlsystem ausgestattet, das eine entsprechende Einstellung des MFST je nach Arbeitsaufgabe ermöglichte.

Ein weiterer Aspekt der ergonomischen Gestaltung ist die Kompatibilität des MFST. Der Begriff Kompatibilität charakterisiert ganz allgemein die Übereinstimmung von erwarteten Handlungsfolgen und tatsächlich eingetretenen Handlungsergebnissen. Kompatibilität bedeutet im Rahmen der Bedienelement-Gestaltung die Vereinbarkeit von Bewegungstereotypen mit dem Funktionseffekt oder der intendierten Bewegungsrichtung des Systems (Reiz-Reaktions-Kompatibilität).

Die in Tabelle 2.4 (siehe Seite 32) aufgeführten Beziehungen zwischen Funktion und Bewegungsrichtung werden als kompatibel angesehen (nach [12; 13; 14]).

Die Forderung der Kompatibilität wird für die Lenk- und Fahrbewegung eines Baggers bei gedrehten Oberwagen nicht erfüllt [14]. Die TBG und Erdbaumaschinenhersteller haben sich intensiv mit dem Problem der Kompatibilität beim Schwenken des Oberwagens durch automatische Umschalteinrichtungen in der Steuerung beschäftigt. Solche Einrichtungen erwiesen sich als nicht sinnvoll, da es nicht möglich war, einen eindeutigen und sicher zuzuordnenden Schaltpunkt festzulegen. Praxistests haben ergeben, dass die automatischen Umschalteinrichtungen von den Fahrern der Bagger nicht angenommen wurden und sogar eher ein Sicherheitsrisiko darstellen. Am Erfolg versprechendsten sieht *Speck* eine optische Warneinrichtung, die dem Fahrer die jeweilige Stellung des Oberwagens anzeigt [14].

Wichtig für die Erhöhung der Arbeitssicherheit sind Maßnahmen gegen eine unbeabsichtigte Betätigung der Bedienelemente. Die Europäische Maschinenrichtlinie (umgesetzt durch das Gerätesicherheitsgesetz und seine 9. Verordnung) enthält entsprechende Forderungen (siehe Abschnitte 1.1.2 und 1.2.3 im Anhang I der Maschinenrichtlinie) [18].



Tabelle 2.4:
Kompatible Beziehungen zwischen Funktionen und Bewegungsrichtungen

Funktion	Bewegungsrichtung
ein	aufwärts, nach rechts, vorwärts, im Uhrzeigersinn
aus	abwärts, nach links, rückwärts, gegen Uhrzeigersinn
öffnen	abwärts, vorwärts, gegen Uhrzeigersinn
schließen	aufwärts, rückwärts, im Uhrzeigersinn
rechts	nach rechts, im Uhrzeigersinn
links	nach links, gegen Uhrzeigersinn
heben	aufwärts, rückwärts, im Uhrzeigersinn
senken	abwärts, vorwärts, gegen Uhrzeigersinn
einziehen	aufwärts, rückwärts
ausfahren	abwärts, vorwärts
zunehmen, verstärken	vorwärts, aufwärts, nach rechts, im Uhrzeigersinn
abnehmen, vermindern	rückwärts, abwärts, nach links, gegen Uhrzeigersinn
vorwärts	vorwärts, aufwärts, nach rechts, im Uhrzeigersinn
rückwärts	rückwärts, abwärts, nach links, gegen Uhrzeigersinn

Bei mobilen Baumaschinen haben sich Sicherheitshebel als Schutz vor unbeabsichtigter Betätigung der Stellteile beim Besteigen und Verlassen des Gerätes bewährt [14]. Um ein- oder aussteigen zu können, muss der Sicherheitshebel gezwungenermaßen angehoben werden. Dadurch werden die Fahr- und Arbeitsfunktionen deaktiviert. Weitere Möglichkeiten sind Kontaktschalter in der Kabinentür oder in den Fahrersitz integrierte Kontaktschalter, die die Fahr- und Arbeitsfunktionen deaktivieren, sobald die Fahrtür geöffnet wird bzw. der Fahrer sich vom Sitz erhebt [14]. Diese haben sich allerdings für Erdbaumaschinen nach Erfahrungen der TBG nicht bewährt, da es durch



das Sitz-Dämpfungssystem zu vertikalen Relativbewegungen und damit zu ungewollten Abschaltungen kommen kann. Weiterhin sollten die Kabinen mobiler Maschinen abschließbar und die Fenster von außen nicht zu öffnen sein [9].

Darüber hinaus findet man in der Literatur weitere Gestaltungsmaßnahmen, die ein unbeabsichtigtes Betätigen und Fehlbedienungen während der Arbeitstätigkeit verhindern können [9; 13]:

- Bedienelemente gleicher Gestalt nicht unmittelbar nebeneinander platzieren,
- ausreichend große Abstände zwischen den einzelnen Bedienelementen einhalten,
- Bedienelement versenkt einbauen oder Schutzkragen um das Bedienelement anbringen,
- unterschiedliche Formen (z.B. Pfeiltasten für rechts/links) und Materialien sowie Oberflächenstrukturen verwenden, damit auch über den Tastsinn eine Unterscheidung der einzelnen Bedienelemente möglich ist,
- Entriegeln des Bedienelements in andere Richtung als nachfolgende Stellbewegung,
- Mindestauslösekräfte zur Betätigung der Bedienelemente,
- Einhaltung der Kriterien für Kompatibilität,
- ausreichende Kennzeichnung und eventuell visuelle und/oder akustische Unterlegung der Funktion.

Auf der BAUMA 2001 wurden weitere Lösungen vorgestellt:

- Aktivierung der Funktionen des MFST nur dann, wenn der Bediener das MFST mit der Hand umschließt; erreicht wird dies durch einen Sensor im Griff,
- Deaktivierung der Funktionen des MFST, wenn über einen bestimmten Zeitraum (z.B. 20 sec) keine Betätigung erfolgt,
- Motordrehzahl- und Leistungssteuerung über Sensoren (Haut-/ Körperwärmekontakt).

Aus den in diesem Kapitel zusammen getragenen Kriterien für die äußere Gestaltung von MFST wurde eine ergonomische Checkliste erarbeitet, die die Beurteilung von zur Zeit in Erdbaumaschinen eingesetzten MFST nach ergonomischen Kriterien erlaubt



(Anhang 1). Diese Checkliste wurde bei den in Kapitel 3 und 4 beschriebenen Untersuchungen eingesetzt.

2.2 Vorkommen von Multifunktionsstellteilen

2.2.1 Funktionen und Funktionsbelegung bei Erdbaumaschinen

Untersuchungsgegenstand dieses Projektes waren in erster Linie die MFST von Hydraulikbaggern und Radladern. Als Basis der folgenden Daten dienten Bedienungsanleitungen der Hersteller Liebherr und Volvo.

Die in Abbildung 2.3 dargestellte Belegung der Grundfunktionen bei Baggern entspricht der Norm-Steuerung, wie sie in der ISO 10968 [1] Anhang C empfohlen wird. Sie wird auch als Europa-Steuerung bezeichnet.

Für weitere Arbeitsaufgaben können an einen Bagger verschiedene Arbeitsausrüstungen mit unterschiedlichen Zusatzfunktionen montiert werden (siehe Tabelle 2.5, Seite 35).

Abbildung 2.3:
Typische Grundfunktionen eines Baggers. Die Seitenangaben beziehen sich auf den in der Erdbaumaschine sitzenden Fahrer

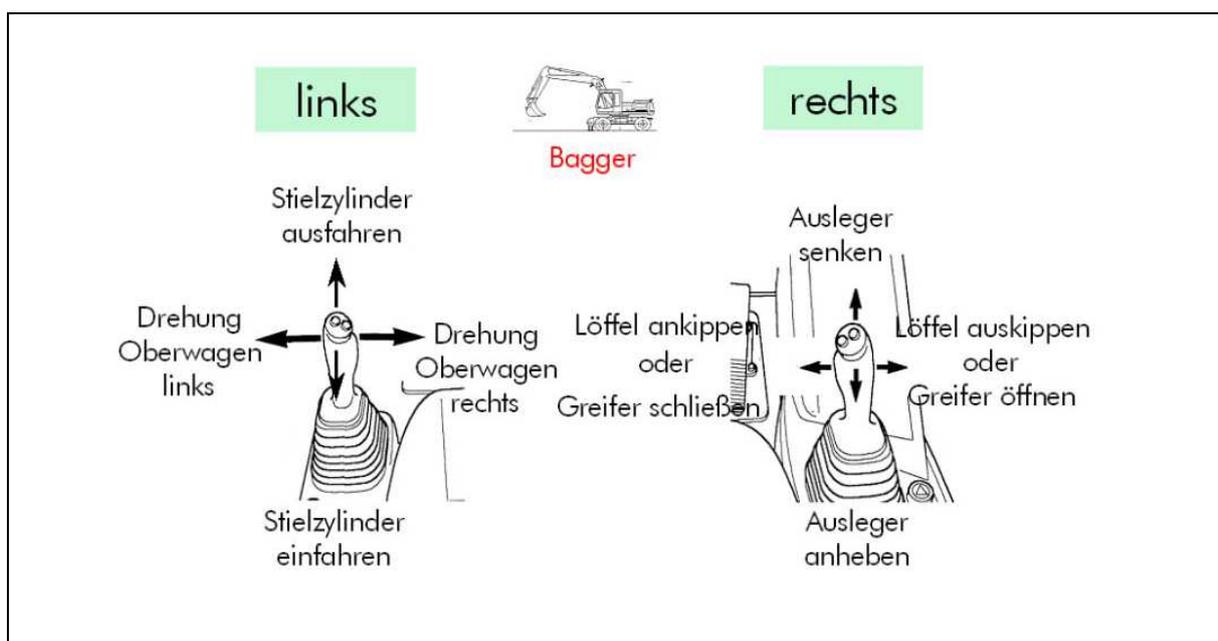




Tabelle 2.5:
Mögliche Zusatzfunktionen bei Baggern von Liebherr und Volvo,
aufgelistet nach Betriebsarten

Betriebsart	Zusatzfunktionen
unabhängig von der Betriebsart (nie alle gleichzeitig an einem Bagger)	<input type="checkbox"/> Vorwahl der Fahrtrichtung vorwärts/0/rückwärts <input type="checkbox"/> Abstützung ein-/ausfahren <input type="checkbox"/> Deaktivierung des Fahralarms <input type="checkbox"/> Aktivierung des Auslegerschwenklager-/Löffelzylinders <input type="checkbox"/> Powerboost (kurzzeitige Erhöhung der Grabkräfte) <input type="checkbox"/> Schwimmstellung aktivieren/deaktivieren <input type="checkbox"/> Motordrehzahl erhöhen/senken <input type="checkbox"/> Hupe
Greifer	<input type="checkbox"/> nach links/rechts drehen
Schwenklöffel	<input type="checkbox"/> nach links unten/rechts unten bewegen (Böschungswinkelverstellung)
Magnet	<input type="checkbox"/> Aktivierung/Deaktivierung
Fräse	<input type="checkbox"/> drei Positionen: zusätzliche Baggerbewegungen/Fräse drehen/Schutzklappe auf - zu
Staubsauger	<input type="checkbox"/> drei Positionen: zusätzliche Baggerbewegungen/Entleerungsklappe/ohne Funktion
Hydraulische Schnellwechseleinrichtung	<input type="checkbox"/> Verriegelungsbolzen ein-/ausfahren
Hammer	<input type="checkbox"/> Aktivierung/Deaktivierung

Unterschiedlich ist es, wie die ZFE auf dem MFST abgelegt werden, ob durch Belegen von Bedienelementen am MFST oder von weiteren Ebenen der MFST-Richtungen (siehe Abschnitt 1.3). Beispielsweise kommt folgende Anordnung vor:

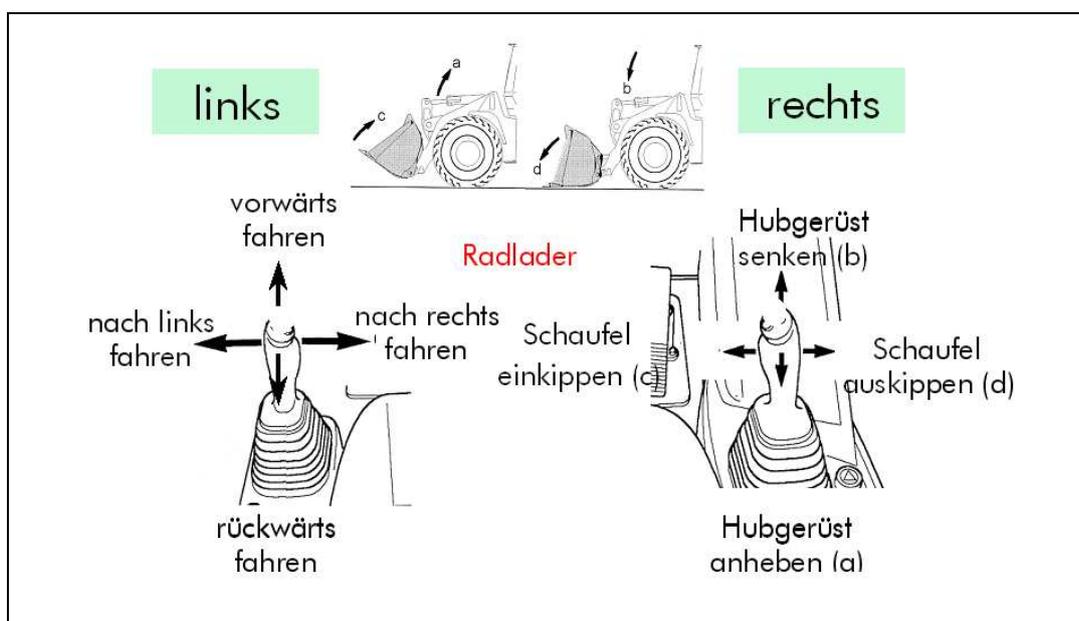


MFST-Bewegung links/rechts	1. Ebene = GFE 2. Ebene = ZFE	Löffel ankippen/auskippen bzw. Greifer schließen/öffnen Auslegerschwenklager nach links/rechts drehen
MFST-Bewegung vor/zurück	1. Ebene = GFE 2. Ebene = ZFE	Ausleger senken/anheben Schildabstützung aus-/einfahren

Ist eine solche Zusatzfunktion hoch sicherheitsrelevant, werden für das Umschalten in die 2. (oder eine höhere) Ebene besondere Sicherheitsmaßnahmen gefordert, z.B. eine Zweihandschaltung oder eine optische oder akustische Anzeige für die Nutzungsdauer der Zusatzfunktion mit Zwangsrückstellung in die Basisfunktion. Ein Beispiel für eine solche hoch sicherheitsrelevante Zusatzfunktion stellt die Aktivierung der Schnellwechseleinrichtung dar.

Radlader haben in der Regel nur ein MFST, das rechts vom Fahrer angeordnet ist. Für Radlader mit zwei MFST links und rechts empfiehlt die ISO 10968 [1] Anhang C.3 folgende Funktionsbelegung für die Grundfunktionen des Radladers:

Abbildung 2.4:
Grundfunktionen eines Radladers nach ISO 10968 [1]





Bei der Belegung des rechten MFST der derzeit gängigen Radlader können folgende Abweichungen vorkommen:

Bewegung des rechten MFST	Funktion
links/rechts	Fahrbereiche herunter-/hochschalten
vor bis Druckpunkt	Hubgerüst senken (ISO 10968 [1])
vor bis Anschlag (bei Volvo gerastet)	Schwimmstellung des Hubgerüsts oder Hubgerüst schnell absenken

Ein Beispiel für die Belegung bei einem Radlader, der nur ein MFST hat, ist in Anhang 5 gegeben.

Für weitere Arbeitsaufgaben können an einen Radlader verschiedene Arbeitsausrüstungen mit unterschiedlichen Zusatzfunktionen montiert werden (Tabelle 2.6).

Tabelle 2.6:
Zusatzfunktionen bei Radladern von Liebherr und Volvo

Betriebsart	Zusatzfunktionen
unabhängig von der Betriebsart immer verfügbar	<input type="checkbox"/> Vorwahlschalter für Fahrtrichtung vorwärts/rückwärts oder Vorwahlschalter für Fahrtrichtung vorwärts/0/rückwärts <input type="checkbox"/> Differentialsperre einlegen <input type="checkbox"/> Kickdown (hydrostatisches Abbremsen des Radladers und danach automatisches Schalten in Gang 1)
Schnellwechseleinrichtung	<input type="checkbox"/> Verriegelungsbolzen ein-/ausfahren <input type="checkbox"/> Aktivieren der Schnellwechselfunktion, gleichzeitiges Drücken eines Tasters und Bewegung des MFST (2. Ebene)

Zum Aktivieren der Schnellwechseleinrichtung muss ein Schalter am Bedienpult betätigt werden. Somit wird ein unbeabsichtigtes Betätigen der Verriegelungsbolzen während der Arbeitstätigkeiten verhindert.



2.2.2 Mit MFST ausgerüstete Arbeitsplätze außerhalb von Erdbaumaschinen

MFST kommen nicht nur bei Erdbaumaschinen zum Einsatz. Sie sind insbesondere da verbreitet, wo Maschinen oder Maschinenteile bewegt und gleichzeitig noch andere Funktionen bedient werden sollen. Bei diesen anderen Anwendungsgebieten sollte geschaut werden, ob es Begrenzungen für die Anzahl der Funktionseinheiten auf den MFST gibt und sich die dortigen Festlegungen in geeigneter Form auf Erdbaumaschinen übertragen lassen.

Bereits ein Lenkrad im Auto könnte man als MFST bezeichnen. Lenkräder bei denen die Hand zur Bedienung des Blinkers, Radios o.ä., vom Steuer völlig gelöst werden muss, passen nicht auf die eigentliche Definition eines MFST. Ist jedoch die Bedienung von Radio, Handy, Hupe o.ä. integriert, wird das Lenkrad zu einem MFST. Die neuste Entwicklung zum Steuern von Autos, die Sidesticks, entsprechen am ehesten der Vorstellung von MFST (Abbildung 2.5).

Das Sidestickkonzept wurde von DaimlerChrysler entwickelt. Hierbei sind zwei Sidesticks fest in Mittelkonsole und Fahrertür integriert. Linker und rechter Sidestick werden synchron bewegt. Da die Betätigungskräfte addiert werden, entsteht beim Fahrer der Eindruck einer mechanischen Kopplung der beiden Sidesticks. Bewegungen der Sidesticks nach vorn und hinten bewirken Beschleunigen und Bremsen, Bewegungen nach rechts und links lenken das Fahrzeug in diese Richtungen. Dabei sind die maximalen Stellwinkel der Joysticks 25° und 33° in transversaler und longitudinaler Richtung. Aktive Stellteile melden dem Fahrer über die Position in Quer- und Längsrichtung sogar Fahrdynamikgrößen zurück. Dadurch wird das Fahren mit diesem Bedienkonzept als „intuitiv“ empfunden.



Abbildung 2.5:
Prototyp R 129 von DaimlerChrysler
(aus [19])



Als Vorteil der Steuerung mit Sidesticks wird angegeben, dass der Bremsvorgang ohne einen durch den sonst üblichen Pedalwechsel verursachten Zeitverzug erfolgen kann. Dadurch ist die Fahrsicherheit erhöht [19].

Im Daumenbereich sind Taster für die Blinker angeordnet, im Zeigefingerbereich ein Haupttaster oder die Lichthupe bzw. die Umschaltung zwischen Abblend- und Fernlicht. Untersuchungen über eine Höchstzahl von ZFE auf dem Sidestick wurden von DaimlerChrysler bisher nicht durchgeführt. Zurzeit werden Tests mit Sidesticks in Sattelschleppern betrieben. Hier wurden zwei zusätzliche Tasten für die Gangwahl integriert.

Eingabegeräte wie Joystick, Mouse, Lenkräder für entsprechende Computerspiele, Gamepads und Trackballs sind heutzutage bei einem Computerarbeitsplatz nicht mehr ungewöhnlich. Letztlich ist die Computerindustrie Vorreiter der Joystickentwicklung, die schon mit der Einführung der ersten Computerspiele vor circa 15 Jahren begann.

Auf Joysticks für Computer sind bis zu 17 Taster für Zusatzfunktionen integriert. Diese sind vorrangig auf dem Sockel des Joysticks angeordnet. Bei manchen Modellen lassen sich die Taster doppelt, also in zwei Ebenen programmieren. „Aber der Sinn dieser Knöpfeflut steht in den Sternen“, so *Bernhard* und *Locher* 1999 [17]. Auch im Computerbereich gibt es keine Hinweise auf optimale Tasterabmessungen oder eine Höchstzahl von beherrschbaren Zusatzfunktionen. In Testberichten sind lediglich sehr allgemeine Anforderungen wie „ergonomische Gestaltung“, „ermüdungsfreies und exaktes Steuern“ oder „sollte von kleinen und großen Händen bequem bedienbar sein“ zu finden [17].

Ein in Flugzeugen verwendetes MFST ist der sogenannte Track-Ball. Er stellt die zentrale Schnittstelle zwischen Mensch und Flugplanungs- und Navigationssystem (FPNS) dar. Das FPNS hat eine graphische Oberfläche. Durch Bewegung des zentral sitzenden Track-Balls werden die einzelnen Felder der Oberfläche durch einen Cursor ausgewählt und über Betätigung der beiden seitlichen Rechtecktaster aktiviert (Abbildung 2.6). Zwei weitere Schalter dienen zur Steuerung der Displayhierarchie. Ihre Stellung – und damit die Displayhierarchie – kann sowohl optisch als auch haptisch erfasst wer-

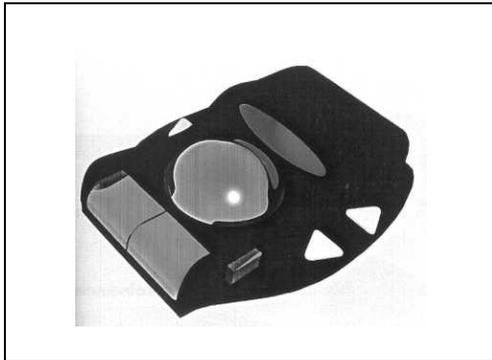


Abbildung 2.6:
Track-Ball [5]

den. Mit dem breiten, ovalen Schalter erfolgt ein Umschalten vom Flug- in den Planungsmodus. Die dreieckigen Taster aktivieren eine Zoomfunktion und können mit Daumen oder Zeigefinger bedient werden [5]. Ein unbeabsichtigtes Auslösen von Funktionen ist durch mehrere Faktoren fast ausgeschlossen: durch die Anordnung der Taster, das unterschiedlich tiefe Versenken der Taster gegenüber der Oberfläche und dadurch, dass die Aktivierungs- und die Bedienrichtung senkrecht zueinander stehen.

Insbesondere in Kampfflugzeugen sind MFST verbreitet. Informationen über deren Gestaltung oder Funktionsbelegung standen allerdings aus Geheimhaltungsgründen nicht zur Verfügung.

Auch moderne Gabelstapler haben als Joystick gestaltete MFST. Die dort abgelegten Funktionen sind in Tabelle 2.7 zusammengefasst [20].

Tabelle 2.7:
Grundfunktionen und Zusatzfunktionen bei Gabelstaplern

Grundfunktionen	<input type="checkbox"/> Heben/Senken des Hubgerüsts <input type="checkbox"/> Vor-/Zurückneigen des Hubgerüsts
Zusatzfunktionen	<input type="checkbox"/> Fahrrichtungsschalter <input type="checkbox"/> Signalhorn <input type="checkbox"/> Seitenschieberbetätigung <input type="checkbox"/> bei Bedarf Funktionsschalter für Anbaugeräte wie Drehklammer



Die Universität Kiel, der Staplerhersteller Still und ein Sitzhersteller haben einen Fahrersitz (ISRI-Sitz) entwickelt, bei dem Aufnahmen für Armstützen sowie für Stellelemente vorgesehen sind. Dadurch entfällt die Relativbewegung zwischen schwingendem Fahrersitz und Stellelementen und die Belastung des Hand-Arm-Systems des Fahrers wird reduziert [21].

In vielen Landmaschinen, vorwiegend in Traktoren und Mähdreschern gehören MFST zur Standardausrüstung. Die MFST weisen hier in der Regel eine sehr hohe Funktionsdichte auf. Bei diesen Maschinen kommt es weniger auf die Steuerung der Bewegung von verschiedenen Maschinenteilen an, als auf die Überwachung des Erntevorgangs. Dadurch wird das Stellteil in seinen Grundfunktionen kaum benutzt und ein sicheres Bedienen der vielen Zusatzfunktionen scheint eher möglich. Auch in forstwirtschaftlichen Maschinen, z.B. Vollerntern, sind multifunktionale Bedienelemente gängig.

Ein aktuelles Projekt am Institut für Arbeitsingenieurwesen der TU Dresden über die Gestaltung von Führerständen bei der Deutschen Bahn zeigt, dass hier keine MFST zum Einsatz kommen.

Auch zur Steuerung von Kranen werden Joysticks verwendet. Allerdings ist bei ihnen maximal eine ZFE integriert (Abbildungen 2.7 und 2.8).

Abbildung 2.7:
Bedienstuhl in einem Kran



Abbildung 2.8:
Fernsteuerung für Krane





MFST kommen in weiteren Industriebereichen bei stationären Maschinen vor. Allerdings werden sie hier – z.B. bei Werkzeugmaschinen – selten in Joystickform eingesetzt, sondern eher als „Fingersticks“. Auf ihnen liegen keine Zusatzfunktionen zur präzisen Positionierung des Werkzeugs oder des Werkstücks.

2.3 Die Mensch-Maschine-Schnittstelle

MFST an Erdbaumaschinen stellen eine Schnittstelle zwischen dem Menschen und einer Maschine dar. Um diese Schnittstelle optimal gestalten zu können, sollten relevante psychologische Erkenntnisse hierbei berücksichtigt werden. Entsprechende Erkenntnisse, die bei der Gestaltung von bzw. dem Umgang mit Stellteilen relevant sind, werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

2.3.1 Informationsverarbeitung

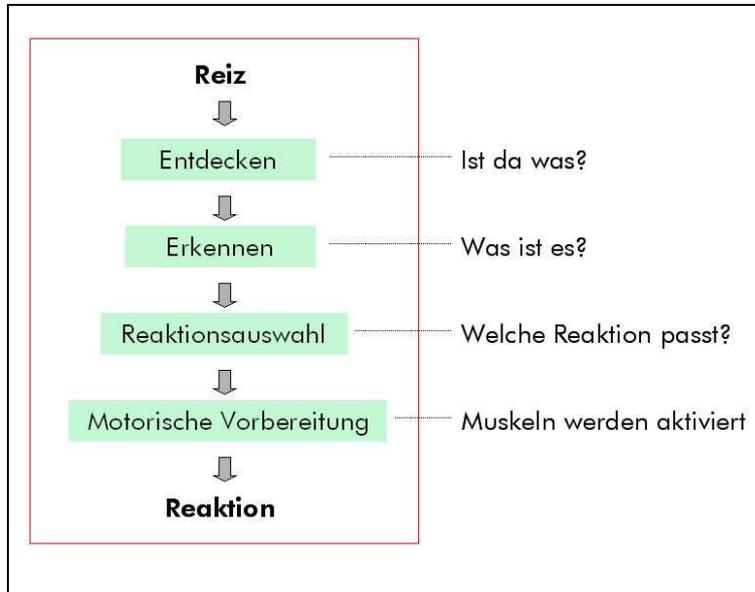
Beim Umgang mit einer Erdbaumaschine mittels eines MFST

1. nimmt der Benutzer der Maschine Informationen über eine Situation z.B. auf einer Baustelle auf,
2. verarbeitet sie und
3. reagiert, d.h. bewegt die Maschine nach vorne oder hinten, neigt die Bagger-schaufel, kippt und leert sie, etc.

Die einzelnen Schritte der Informationsverarbeitung werden in dem in Abbildung 2.9 (siehe Seite 43) dargestellten Modell beschrieben: Zunächst muss entdeckt werden, dass überhaupt ein Reiz vorhanden ist, dann muss erkannt werden, um was es sich handelt, anschließend muss entschieden werden, welche Reaktion die angemessene ist und schließlich müssen die motorischen Prozesse vorbereitet werden. Diese Schritte können an einem Beispiel aus dem Straßenverkehr veranschaulicht werden: Ein Autofahrer fährt auf eine Kreuzung zu, an der sich eine eingeschaltete Ampel befindet. Zunächst muss der Autofahrer entdecken, dass sich dort eine Ampel befindet, die leuchtet. Dann muss er erkennen, ob die Ampel auf rot, gelb oder grün steht. Danach muss



Abbildung 2.9:
Modell der Informationsverarbeitung (nach [22])



er die angemessene Reaktion auswählen (bremsen oder weiterhin Gas geben). Und diese Reaktion muss vorbereitet werden; die entsprechenden Muskeln sind zu aktivieren. Dann kann die Reaktion ausgeführt werden.

Wesentliche Faktoren, die sich auf die Leistung auswirken und die auch im Rahmen dieses Informationsverarbeitungsmodells häufig untersucht worden sind, sind die Anzahl der Reize und der Reaktionsalternativen sowie die Kompatibilität.

Je höher die Anzahl der Reize und die der Reaktionsalternativen, umso langsamer sind die Reaktionen bzw. umso mehr Fehler können passieren. Dieser Zusammenhang kann anhand von zwei extremen Alternativen verdeutlicht werden: Gibt es nur einen Reiz und eine Reaktion, kann beim Erkennen kein Fehler passieren bzw. findet das Erkennen nicht statt. Lediglich das Entdecken muss geleistet werden. Auch bei der Reaktionsauswahl wird es keinen Fehler geben, da nur eine Reaktion möglich ist. Gibt es hingegen 100 mögliche Reize und 100 dazugehörige Reaktionen, sind das Erkennen und die Reaktionsauswahl erschwert. Es muss erkannt werden, um welchen der 100 möglichen Reize es sich handelt und es muss unter den 100 Reaktionen die richti-



ge ausgewählt werden. Es ist klar, dass dieser Prozess länger dauert als bei nur einem Reiz und fehleranfälliger ist.

Der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Reize, der Reaktionsalternativen und der Reaktionszeit bzw. den Fehlern ist bereits häufig untersucht worden. Für die Fragestellung der vorliegenden Studie ist die Untersuchung von *Rammsayer und Hackstein* [23] besonders relevant. Sie haben die Reaktions- und Ausführungszeit bei einer Zwei-, Vier- und Sechsfach-Wahl-Reaktionszeitaufgabe gemessen, bei der mit einem Joystick reagiert werden musste. Es gab also entweder 2 oder 4 oder 6 Reize und entsprechend 2 oder 4 oder 6 zugehörige Reaktionen. Die Aufgabe bestand darin, auf eine bestimmte Reizdarbietung mit einer vorher festgelegten Auslenkung eines Joysticks zu reagieren. Die Reaktionszeit wurde definiert als die Zeit zwischen Beginn der Reizdarbietung und Beginn der Auslenkung des Joysticks. Als Ausführungszeit wurde die Zeit vom Beginn der Reaktion bis zum Erreichen eines vorher definierten Neigungswinkels definiert. Die mittlere Sechsfach-Wahl-Reaktionszeit war mit 554 ms deutlich langsamer als die Zwei- und Vierfach-Wahlreaktionszeiten. Letztere beide wiesen mit 504 ms bzw. 498 ms praktisch identische Mittelwerte auf. Die Ausführungszeit wurde ebenfalls mit der Erhöhung der Reiz- und Reaktionsanzahl länger (69 ms, 77 ms, 87 ms).

Bei der Kompatibilität geht es um die Vereinbarkeit verschiedener Systeme, so dass die Gestaltung und Anordnung von Elementen sowie die Handlungsergebnisse mit den Erwartungen der Personen übereinstimmen. Diese Erwartungen können auf kulturgebundenen Konventionen beruhen. Ein vertrautes Beispiel hinsichtlich der Gestaltung stellen Wasserhähne dar. Bei ihnen wird „kalt“ mit „blau“ gekennzeichnet und „heiß“ mit „rot“. Diese Konvention sollte auch in anderen Zusammenhängen beibehalten werden. Wenn z.B. ein Herd eingeschaltet ist, sollte eine rote und nicht eine blaue Lampe leuchten. Ein Beispiel für die Übereinstimmung von erwarteten Handlungsfolgen und Handlungsergebnissen stellt die Bedienung eines MFST im Bagger dar: Wird das Stellteil nach vorne bewegt, sollte sich auch die Baggerschaufel nach vorne bewegen bzw. umgekehrt bei der Rückwärtsbewegung (siehe Abschnitt 2.1).



Wie bereits anhand der Beispiele deutlich wird, gibt es unterschiedliche Arten der Kompatibilität, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Bei Funktionskompatibilität handelt es sich um die Beziehung zwischen einer spezifischen motorischen Handlung und einer definierten Zustandsänderung eines technischen Systems, d.h. die Übereinstimmung der erwarteten Handlungsfolgen mit den tatsächlichen Handlungsergebnissen. Verstößt die Stellteilauslegung gegen solche Erwartungen, so steigt die Wahrscheinlichkeit für Fehlhandlungen des Bedieners.

Positionskompatibilität bezieht sich auf die räumliche Anordnung von Anzeigen und Stellteilen, d.h. aus der Zuordnung von Anzeigen und Stellteilen wird der funktionelle Zusammenhang zwischen ihnen deutlich. So sollte z.B. ein Taster, bei dessen Betätigung etwas nach oben bewegt wird, auf dem MFST oberhalb des Tasters angeordnet sein, mit dem etwas nach unten bewegt wird.

Bei symbolischer Kompatibilität handelt es sich um eine Vereinbarkeit verschiedener Systeme, bei denen die Zusammenhänge durch Konvention festgelegt wurden und die inzwischen allgemein gültigen Charakter haben. Hierunter fällt das o.g. Beispiel mit der farblichen Gestaltung bei Wasserhähnen. Man hätte auch festlegen können, dass z.B. grün generell „kalt“ entspricht.

Kompatibilitätseffekte sind Wirkungen eines Ökonomieprinzips in der menschlichen Informationsverarbeitung. Je stärker das Prinzip der Kompatibilität eingehalten wird, umso geringer ist die Anzahl der Transformationsschritte bei der Informationsverarbeitung. Damit verringern sich auch Reaktionszeit und Fehlerzahl.

Neben den Faktoren, die im Rahmen des Modells der Informationsverarbeitung untersucht werden, spielen noch andere psychische Prozesse eine wichtige Rolle beim Umgang mit Mensch-Maschine-Schnittstellen. Sie werden im Folgenden erläutert.

2.3.2 Gedächtnis

Um MFST bedienen zu können, müssen Informationen aus dem Gedächtnis abgerufen werden, also z.B. das Wissen welche Funktion betätigt werden muss, um eine be-



stimmte Reaktion der Maschine hervorzurufen. Dieses Wissen kann im sogenannten Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Wichtig hierbei ist, dass die Informationen in einer Art und Weise verarbeitet werden, die zu einer guten Speicherung im Gedächtnis führt. Günstig ist es, die Bedeutung der zu lernenden Inhalte zu verarbeiten und Beziehungen zwischen den Inhalten zu knüpfen. Einfaches Wiederholen führt hingegen nicht zu so sicherem Abspeichern. Im Arbeitsalltag kann es dann beim Abruf der gespeicherten Information zu Problemen kommen, die unter dem Begriff „Interferenzeffekte“ zusammengefasst werden (vgl. [24]). Interferenz bedeutet, dass zu lernendes bzw. zu behaltendes Wissen sich gegenseitig hemmen kann. Zwei Effekte sind relevant bei der Arbeit mit MFST:

1. Werden zu einem Begriff bzw. Element neue Assoziationen gelernt, so kann dies ein Vergessen alter Assoziationen bewirken. Wurde z.B. zu einem Taster auf einem MFST eine zugehörige Funktion gelernt, d.h. die Assoziation „Betätigung des Tasters A führt zur Maschinenreaktion A“, kann diese Assoziation vergessen bzw. schlechter abgerufen werden, wenn eine neue Assoziation gelernt werden muss: „Betätigung des Tasters A führt zur Maschinenreaktion B“. Werden so im Laufe der Zeit immer mehr Funktionen auf einem Taster abgelegt, kann dies dazu führen, dass frühere Funktionen nicht mehr oder schlechter abgerufen werden können.
2. Je mehr Fakten mit einem Begriff assoziiert sind, desto länger dauert der Abruf jedes einzelnen Faktums. Je mehr Funktionen also auf einem MFST abgelegt sind, mit ihm „assoziiert“ sind, desto länger dauert es, die einzelnen Funktionen abzurufen und zu betätigen. Die Reaktionszeit verlängert sich, so dass möglicherweise in kritischen Situationen nicht schnell genug reagiert wird.

2.3.3 Verarbeitungsressourcen

Muss eine Vielzahl von Informationen verarbeitet und darauf reagiert werden, beansprucht dies Ressourcen der Informationsverarbeitung. Die Verarbeitungsressourcen, über die eine Person verfügt, sind begrenzt [24]. Wenn die gleichzeitige Verarbeitung



mehrerer unterschiedlicher Informationen die Kapazität der vorhandenen Ressourcen übersteigt, können Aufgaben nicht mehr vollständig und fehlerfrei gelöst werden.

Verarbeitungsressourcen werden mithilfe so genannter Doppelaufgaben untersucht: Personen müssen zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeiten und die jeweils erzielte Leistung wird gemessen. Zunächst ging man davon aus, dass eine Aufgabe nur dann optimal bewältigt werden kann, wenn die Aufmerksamkeit vollständig auf diese gerichtet ist. Weitere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass es vermutlich multiple Ressourcen gibt ([25; 26]). Gemeint ist, dass bei strukturell unterschiedlichen Tätigkeiten (z.B. eine motorische Tätigkeit wie Gehen und eine kognitive Tätigkeit wie Kopfrechnen) auch unterschiedliche Ressourcen in Anspruch genommen werden. Unterschiedliche Tätigkeiten können also besser gleichzeitig ausgeführt werden als solche, bei denen dieselben Ressourcen beansprucht werden (z.B. zwei kognitive Tätigkeiten wie Kopfrechnen und gleichzeitig vorbeifahrende Autos Zählen). Je ähnlicher sich also zwei Aufgaben sind, um so stärker hemmen sie sich gegenseitig.

Übertragen bedeutet das: Muss ein Baumaschinenführer gleichzeitig zwei motorische Tätigkeiten ausführen (z.B. das rechte und linke Stellteil gleichzeitig bedienen) kann es zu Interferenzen und damit zu Fehlern in der Bedienung kommen. Dies ist vor allem bei einem geringen Geübtheitsgrad im Umgang mit einer Baumaschine der Fall.

2.3.4 Automatisierte Prozesse

Im vorhergehenden Abschnitt wurde deutlich, dass die Menge der verarbeitbaren Informationen eine Funktion der Verarbeitungskapazität ist. Die Menge der verarbeitbaren Information ist aber auch abhängig von dem Grad der Automatisiertheit der verarbeitenden Prozesse. Prozesse, die stark geübt wurden, benötigen weniger Aufmerksamkeit bzw. weniger Verarbeitungsressourcen. Beispiele sind das Autofahren oder das Fahrradfahren. Während diese Tätigkeiten beim Erlernen viel Aufmerksamkeit erfordern, laufen sie nach entsprechender Übung mehr oder weniger automatisch und ohne bewusste Kontrolle ab [24]. Insgesamt können dann mehr Informationen verarbeitet werden.



Ist ein Baumaschinenführer mit der Bedienung einer Maschine noch nicht vertraut, benötigt er mehr Aufmerksamkeit für die Steuerung. Bei gleichzeitiger Aufmerksamkeit auf die Umgebung, Anzeigen etc. werden die mentalen Ressourcen überschritten und es kommt zu Fehlern. Im Laufe der Zeit wird die Bedienung automatisiert und die Aufmerksamkeit kann fast vollständig auf die Umgebung gerichtet werden.

Allerdings bergen automatisierte Prozesse auch die Gefahr von Fehlern in sich. Hier lassen sich zwei fehlerauslösende Bedingungen unterscheiden. Zum einen können Fehler aufgrund von zeitlicher Nähe und Häufigkeit in der vorherigen Nutzung entstehen. Dies ist z.B. der Fall, wenn bei einem Maschinenführer die Bedienung eines Stellteils automatisiert ist und dieser Maschinenführer innerhalb eines Tages zwischen verschiedenen Baumaschinen wechseln muss, bei denen die Belegung der Stellteile unterschiedlich ist. Zum anderen kann es zu Assoziationsfehlern kommen, d.h. Reaktionen werden aufgrund gemeinsamer Merkmale unbeabsichtigt ausgelöst. Hierbei wird auf zwei Reize, die nur geringfügig voneinander abweichen, mit demselben automatisierten Verhalten reagiert, da der Unterschied zwischen den Reizen nicht erkannt wird.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass Prozesse der Informationsverarbeitung und des Gedächtnisses sowie Verarbeitungsressourcen und automatisiertes Wissen bei Festlegungen von Anforderungen an MFST berücksichtigt werden sollten.



3 Untersuchungen

Um die eingangs gestellte zentrale Frage des Projekts beantworten zu können, wurden Untersuchungen bei Herstellern von Erdbaumaschinen und auf Baustellen vorgenommen. Die Untersuchung bei Herstellern diente dazu, bei möglichst gleichen Versuchsbedingungen (häufige Nutzung der ZFE, praxisrelevante Tätigkeiten mit Störungen) den Einfluss der MFST-Belegung mit ZFE auf die sichere Maschinenhandhabung zu erfassen. Dazu wurden Maschinen mit unterschiedlich belegten MFST eingesetzt. Auf den Baustellen sollte die sichere Handhabung der Maschine unter praxisrelevanten (möglichst hochbelastenden) Bedingungen untersucht werden. Dadurch variierten die Versuchsbedingungen stärker.

Der Schwerpunkt der Studie lag bei den Untersuchungen auf Baustellen, um möglichst nah an der Praxis die reale Arbeitssituation zu erfassen. Da – wie schon erwähnt – die Bedingungen auf den Baustellen sehr unterschiedlich und die Vielfalt der eingesetzten Maschinentypen groß waren, war von vorne herein klar und wurde bewusst in Kauf genommen, dass die Ergebnisse nur Stichproben beschreiben und nicht als Grundlage einer statistischen Auswertung dienen können. Es wird nicht der Anspruch erhoben, wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse zu liefern, dafür aber eine genaue Beschreibung der Praxis zu geben.

Insgesamt kamen bei den Untersuchungen (Baustellen und Hersteller) Erdbaumaschinen von drei unterschiedlichen Herstellern zum Einsatz. Diese Firmen werden im Folgenden mit Fa1, Fa2 und Fa3 bezeichnet.

3.1 Material und Methoden

In Tabelle 3.1 (siehe Seite 50) ist aufgelistet, mit welchen Methoden welche Variablen erfasst wurden.



Tabelle 3.1:

Bei Untersuchungen auf Herstellergelände (H) und auf Baustellen (B) erfasste Variablen; BMS - **B**elastung, **M**onotonie und **S**ättigung. Weitere sowohl unabhängige als auch personengebundene Variablen mit Aussagen zu Merkmalen des Maschinenführers wurden anhand der Interviews untersucht (siehe Abschnitt 3.3)

Variable	erfassende Methode	Einsatz	
		H	B
Unabhängige Variablen		H	B
Gestaltung und Anordnung der Bedienelemente (Größe, Abstand, Farbe, Beschriftung)	Ergonomische Checkliste (Anlage 1), Checkliste Anhang 2	X	X
Anzahl und Belegung der Funktionseinheiten am MFST	Checkliste Anhang 2	X	X
Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten	Videoaufzeichnung, Beobachtung	X	X
Fehlerquellen	Videoaufzeichnung, Beobachtung	X	X
Beanspruchung (Stress, Ermüdung, Monotonie, Sättigung)	Messung der Herzfrequenz, Messung der Armaktivität, BMS-Fragebogen (Anhang 3), Interview (siehe Abschnitt 3.3)		X
Umweltvariablen / Störvariablen		H	B
Lärm	Messung des Schallpegels	X	X
Klimatische Bedingungen	Messung der Temperatur und Feuchte		X
Störvariablen: <input type="checkbox"/> Situationswechsel (Wechsel zwischen Maschinen auf der Baustelle) <input type="checkbox"/> Sichtverhältnisse <input type="checkbox"/> Personen auf der Baustelle <input type="checkbox"/> kritische Situationen wie Arbeiten unter Oberleitungen, Treffen auf Bodenleitungen	Beobachtung z.T. Videoaufzeichnung	(X)	X



Die Videoaufzeichnungen wurden durchgeführt mit

- einer Außenkamera vom Typ Mitsubishi C – 4000, angebracht am Außenspiegel der Erdbaumaschine, zur Aufzeichnung des Arbeitsbereiches (Abbildung 3.1a, siehe Seite 52),
- bei Radladern eine, bei Baggern zwei Innenkameras vom Typ Mitsubishi CCD 430 EW, jeweils auf das eine / das linke und rechte MFST gerichtet, zur Aufzeichnung der Tätigkeit am MFST (Abbildung 3.1b, siehe Seite 52),
- eine Quad-Box vom Typ Mitsubishi eneo VT-6054/427C zur Synchronisierung der Aufzeichnungen von allen drei Kameras (Abbildung 3.1c, siehe Seite 52),
- ein Videorekorder vom Typ Mitsubishi HS 7424 EDC 12/24 Volt (VHS-Format) mit der Einstellmöglichkeit unterschiedlicher Aufzeichnungsfrequenzen (Abbildung 3.1c, siehe Seite 52),
- ein Monitor zur Überprüfung der Kameraeinstellungen vom Typ Mitsubishi CM-7000 (Abbildung 3.1d, siehe Seite 52).

Die Stromversorgung der Videoausstattung auf der Erdbaumaschine erfolgte unabhängig vom Bordnetz über einen 12V Blei-Akku 4Ah. Zum ungestörten gleichmäßigen Aufzeichnen der Kameras erwies es sich als notwendig, die Stromversorgung unabhängig von der je nach Belastung stark schwankenden Versorgung durch die Maschinenbatterie aufzubauen.

Die Aufzeichnungen wurden auf VHS-Videobändern von 4 h Länge gespeichert. Die Aufzeichnungsfrequenz betrug 6 Bilder/sec.

Zur Aufzeichnung der Herzfrequenz und der Armaktivität wurde ein zweikanaliges Physiomodul von der Firma med-natic verwendet. Die Messung der Aktivität erfolgte über einen zweiachsigen piezoelektrischen Beschleunigungsmesser, der am Handgelenk befestigt wurde. Die Herzfrequenz wurde mit drei Elektroden von der Brustwand abgeleitet. Die Abtastrate betrug 100/s.

Zur Erfassung der **B**elastung, **M**onotonie und **S**ättigung wurde das **BMS**-Screening eingesetzt [27]. Hierbei mussten die Baggerführer bei den Untersuchungen auf Herstellergelände und auf den Baustellen auf einer 5-stufigen Ratingskala (1 = trifft nicht zu, 5 = trifft völlig zu) 18 Fragen zu den drei oben genannten Bereichen beantworten



Abbildung 3.1a:
Anbringung der Außenkamera mit Richtung auf den Arbeitsbereich



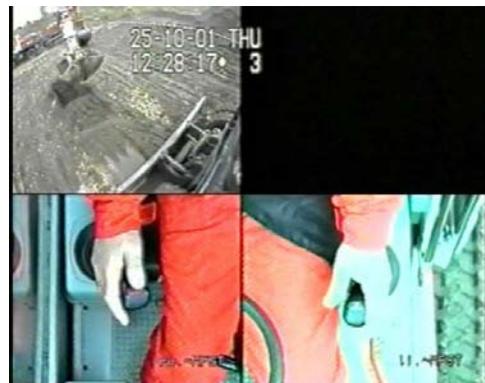
Abbildung 3.1b:
Anbringung der Innenkameras, auf die beiden MFST ausgerichtet



Abbildung 3.1c:
Anbringung der Aufnahmeeinheit auf dem Bagger



Abbildung 3.1d:
Art der Darstellung auf dem Aufzeichnungsvideo, oben: Sichtfeld des Maschinenführers, unten: MFST-Bedienung



(siehe Anhang 3). Die Erfassungszeitpunkte lagen zu Arbeitsbeginn, in der Mittagspause und am Arbeitsende.

Der Schalldruckpegel wurde mit einem Gerät vom Typ NC 10 von Brüel & Kjaer gemessen. Sowohl bei einer Untersuchung auf Herstellergelände als auch bei einer Messung auf einer Baustelle wurde jeweils für etwa 30 min der Schalldruckpegel aufgezeichnet.



Temperatur und Luftfeuchte wurden mit dem Messgerät Bappu der ELK-Ingenieurbüro GmbH bestimmt.

Auf Messungen von Vibrationen wurde verzichtet, da für die untersuchten Maschinen genaue Daten bei der TBG und den Herstellern vorliegen.

3.2 Untersuchungen bei Herstellern von Erdbaumaschinen

Zusammen mit Vertretern der TBG und der Erdbaumaschinen-Hersteller wurde ein definierter Arbeitsablauf entwickelt, der folgende Randbedingungen erfüllt:

- möglichst häufige Nutzung der Zusatzfunktionen auf dem oder den MFST
- enge Fahrwege
- hoher Schwierigkeitsgrad hinsichtlich der Geschicklichkeit des Maschinenführers.

Für Untersuchungen mit dem Radlader wurde folgender Arbeitsablauf entworfen und mehrfach nacheinander ausgeführt (Abbildungen 3.2 und 3.3, siehe Seite 54):

1. Erde aufnehmen bei 1,
2. auf Erdhügel fahren und Erde abkippen bei 2,
3. rückwärts zu 1 von Erdhügel herunter, dann zu 3 fahren,
4. dort Erde aufnehmen und über Drahtseil 4 abkippen, dabei Grube beim Rangieren beachten.

Bis hierher 3x mal wiederholen.

5. Schaufel ablegen bei 5,
6. Gabelzinken über Schnellwechseleinrichtung montieren bei 6,
7. Palette mit Wasserwanne aufnehmen bei 7
8. Palette auf Gerüst bei 8 abstellen, Hubgerüst absenken,
9. Palette erneut aufnehmen von Gerüst bei 8,
10. Palette bei 7 wieder abstellen,
11. Gabelzinken ablegen bei 6,



12. Schaufel über Schnellwechseleinrichtung montieren bei 5.

Abbildung 3.2:
Definierter Arbeitsablauf mit dem Radlader für Untersuchungen auf Herstellergelände

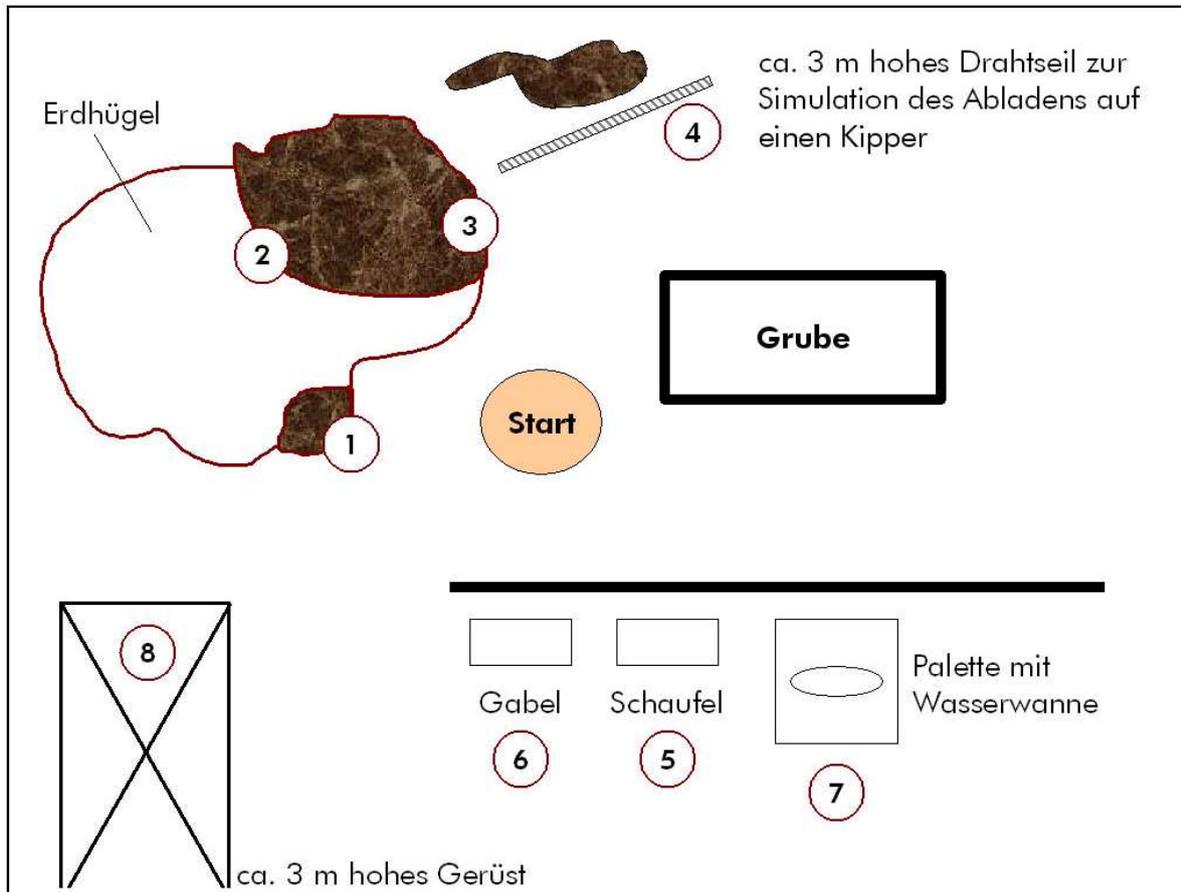


Abbildung 3.3:
Szenen aus dem Arbeitsablauf, der auf Herstellergelände mit dem Radlader ausgeführt wurde. a: auf Erdhügel fahren und Erde abkippen; b: Rangieren um die Grube herum; c: Wechsel zwischen Schaufel und Gabel





Zum Einsatz kam ein Radlader der Fa1 mit nur einem, rechts vom Fahrer angeordneten MFST. Zur Erhöhung der Schwierigkeit wurden die Schritte 7 bis 10 ohne Benutzung der automatischen Schaufel-Parallelführung ausgeführt. Innerhalb von 90 Minuten konnten etwa sechs bis acht Arbeitszyklen absolviert werden.

In den Untersuchungen mit verschiedenen Baggern war als Arbeitsaufgabe ein Kanal auszuheben und anschließend wieder zuzukippen. Ausgangspunkt des Baggers war Punkt 1 in Abbildung 3.4 (siehe Seite 56). Der Bagger war in Pfeilrichtung aufgestellt, d.h. die Vorderachse zeigte zu 3. Der Oberwagen war um 180° gedreht, um den Kanal von 1 aus in Pfeilrichtung ausheben zu können. Das Schild war abgesenkt. Der Ablauf war folgendermaßen gestaltet (Abbildungen 3.4 und 3.5, siehe Seite 56):

1. Material bei 1 mit Greifer aufnehmen, Ausleger anheben,
2. Oberwagen mit gefülltem Greifer um 180° rechts herum (2) unter der Oberleitung (Drahtseil) durch schwenken, dabei Hauswand (Traversierband) beachten,
3. Schild anheben und in Pfeilrichtung bis zur Position 3 fahren,
4. Aushub bei 4 abladen (in Pfeilrichtung),
5. Oberwagen in Richtung Punkt 1 zurückschwenken, dabei wieder Oberleitung und Hauswand beachten, mit gedrehtem Oberwagen zu Punkt 1 fahren, Schild absenken.

Nach etwa 45 min wurde der Kanal in umgekehrter Reihenfolge wieder zugeschüttet.

Zum Einsatz kamen zwei Mobil-Hydraulikbagger: Der Bagger von Fa1 wurde, wie im Ablauf beschrieben, mit einem Greifer eingesetzt. Bei Bagger 1 von Fa2 wurde der gesamte Arbeitsablauf mit dem Grabenräumlöffel ausgeführt (siehe auch Anhang 5).

Zur gewollten Ablenkung oder Störung des Radlader- bzw. Baggerführers wurde jeweils überraschend ein Ball in den Arbeitsbereich geworden und es erfolgte ein Anruf auf seinem Handy.



Abbildung 3.4:
Definierter Arbeitsablauf mit dem Bagger für Untersuchungen auf Herstellergelände

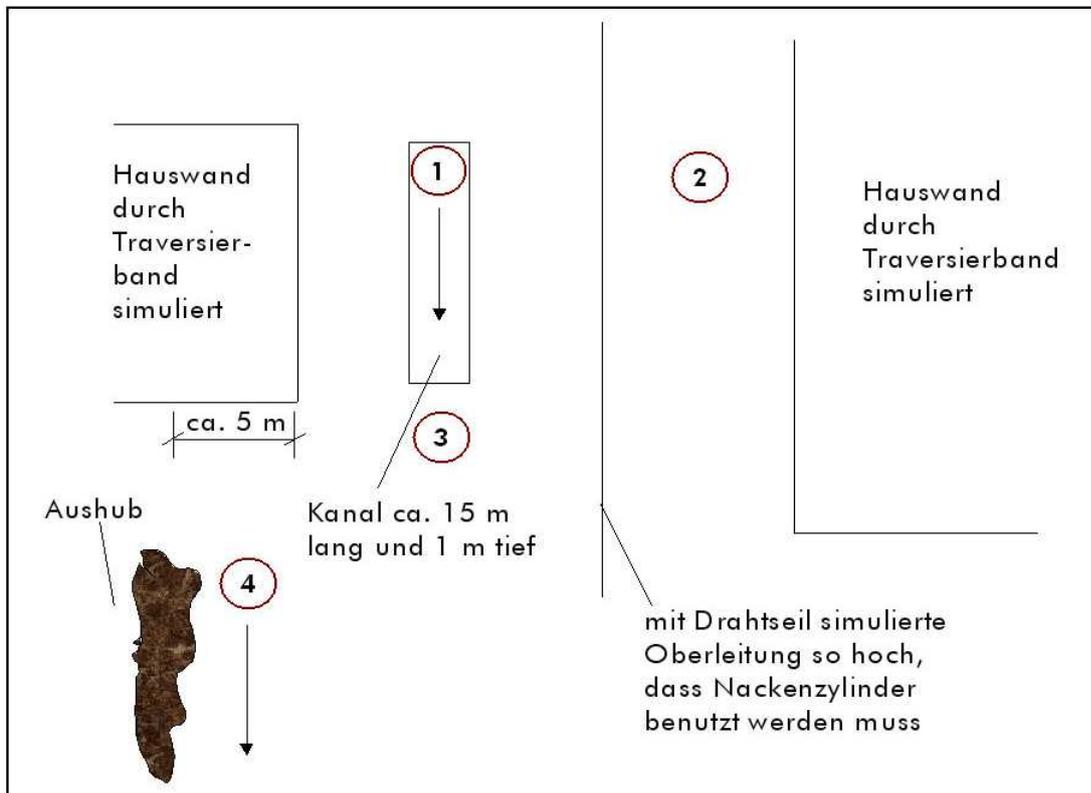


Abbildung 3.5:
Tätigkeit „Kanal ausgraben“ aus dem Arbeitsablauf, der auf Herstellergelände mit dem Hydraulikbagger ausgeführt wurde



3.3 Untersuchungen auf Baustellen

Je nach aktuellem Tagesgeschäft auf den Baustellen sahen die dort untersuchten Arbeitsaufgaben mit Erdbaumaschinen sehr unterschiedlich aus. Es wurden vier Untersuchungen auf Baustellen durchgeführt:

Baustelle 1:	Lübbenau
Eingesetzter Bagger	Mobil-Hydraulikbagger Fa1 (siehe Anhang 5)
Arbeitsaufgabe	Anlegen von Fußwegen und Abstellplätzen für Mülltonnen vor Hauseingängen in einem Wohngebiet
Besondere Bedingungen	<input type="checkbox"/> Öffentlichen Verkehr gab es durch Bewohner der anliegenden Häuser und über die zu beiden Seiten der Baustelle angrenzenden Straßen (verkehrsberuhigter Bereich). <input type="checkbox"/> keine Oberleitungen, keine Bodenleitungen
Baustelle 2:	Peitz
Eingesetzter Bagger	Mobil-Hydraulikbagger Fa3 (siehe Anhang 5)
Arbeitsaufgabe	Abdecken einer mit Bäumen bepflanzten Grünfläche mit Muttererde, Laden von Betonbruch von einem alten Spielplatz in einen LKW
Besondere Bedingungen	<input type="checkbox"/> kein Einfluss von öffentlichem Verkehr <input type="checkbox"/> keine Oberleitungen, keine Bodenleitungen
Baustelle 3:	Seinstedt
Eingesetzter Bagger	Mobil-Hydraulikbagger Bagger 2 von Fa2 (siehe Anhang 5)
Arbeitsaufgabe	Anschluss von Häusern an die Kanalisation (ca. 2 m tief) in einer engen Seitenstraße
Besondere Bedingungen	<input type="checkbox"/> rechts angrenzend an den auszuhebenden Kanal eine 1,80 m tief liegende Wasserleitung <input type="checkbox"/> links Telefonleitungen in einer Tiefe von ca. 1 m <input type="checkbox"/> Platzverhältnisse sehr beengt, da die Seitenstraße nur 4 m breit und von Häusern begrenzt ist <input type="checkbox"/> Einsetzen von Verbaukästen zur Abstützung in den Kanal,



diese mussten über die Bundesstraße transportiert werden, dort war also öffentlicher Verkehr zu beachten

- gefällegerechter Grabenaushub im Bereich des Verbaues durch Einweiser, weil z.T. eingeschränkte Direktsicht in den Graben

Baustelle 4:	Dresden
Eingesetzter Bagger	Mobil-Hydraulikbagger Fa3 (siehe Anhang 5)
Arbeitsaufgabe	Umbau einer zweispurigen Hauptverkehrsstraße in eine vierspurige Allee mit Grünstreifen zwischen den beiden Fahrrichtungen
Besondere Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> seitlich zur im Bau befindlichen Fahrspur führte eine Straßenbahn entlang, die den Arbeitsbereich der untersuchten Maschine aber nicht tangierte <input type="checkbox"/> Überquerung der Baustelle durch Passanten, um die Straßenbahnhaltestelle jenseits der Baustelle zu erreichen

Auf allen vier Baustellen verfügten die Maschinenführer über eine langjährige Berufserfahrung und waren sehr geübt in ihrer Tätigkeit.

3.4 Befragung von Maschinenführern

Neben den in Abschnitt 3.1 dargestellten Variablen wurden die Erdbaumaschinenführer zu verschiedenen Aspekten hinsichtlich des Umgangs mit MFST befragt. Hierzu wurden zunächst so genannte qualitative Interviews mit vier Baumaschinenführern durchgeführt. Für diese Interviews wurde ein Leitfaden mit offenen Fragen entwickelt, die im Gespräch mit den Maschinenführern von diesen beantwortet wurden. Ziel der Interviews war nicht die quantitative Auswertung der Antworten, sondern zu den Leitfragen genauere Informationen von Experten zu erhalten.

Im Vorfeld der Interviews wurden folgende Fragebereiche formuliert, die als Ausgangspunkt für den Interviewleitfaden dienten (Leitfaden siehe Anhang 4):

1. Wie bewerten die Nutzer die Gestaltung der MFST hinsichtlich der Anzahl der Funktionen, Unterscheidbarkeit, Anordnung, Abstand und Kompatibilität der Bedienelemente?



2. Wie wird die Aufgabenschwierigkeit (Komplexität) und Aufgabenbewältigung aus der Sicht des Nutzers eingeschätzt?
3. Welche möglichen Gefahrenquellen gibt es bei der Arbeit mit Erdbaumaschinen, und welche Fehler können dabei unterlaufen?
4. Wie häufig wechseln die Nutzer die Erdbaumaschine und welche Konsequenzen hat der Wechsel auf die Tätigkeit? Besteht ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Wechsels und der sich daraus ergebenden Konsequenzen?
5. Was sind mögliche Störeinflüsse auf die Tätigkeit und in welcher Stärke wirken sie störend?
6. Wie wird die Beanspruchung während der Arbeit in einer Erdbaumaschine aus der Sicht des Nutzers eingeschätzt?

Des Weiteren wurden Merkmale des Nutzers wie Ausbildung, Berufserfahrung und Geübtheitsgrad erfasst.

Die Antworten der vier Maschinenführer in den qualitativen Interviews dienten als Grundlage, auf der dann ein Fragebogen entwickelt wurde, der 31 Erdbaumaschinenführern vorgelegt wurde. Dieser Fragebogen bestand aus den folgenden fünf Teilen (Fragebogen siehe Anhang 4):

Teil A: Fragen zum beruflichen Werdegang und zur Berufserfahrung

Teil B: Fragen zur derzeitigen Baustelle

Teil C: Fragen zu Erfahrungen im Umgang mit Erdbaumaschinen und hinsichtlich möglicher Störvariablen

Teil D: Fragen zur Bewertung der Gestaltung der MFST

Teil E: Fragen zur vergleichenden Bewertung verschiedener Erdbaumaschinen und der körperlichen und geistigen Beanspruchung bei der Tätigkeit



Bei den 31 Befragten handelte es sich zum einen um die Maschinenführer, die an den Untersuchungen auf den Baustellen und bei den Herstellern teilgenommen hatten, und zum anderen um Teilnehmer eines Weiterbildungsseminars für Erdbaumaschinenführer.



4 Ergebnisse

Alle MFST, die in bei den Untersuchungen an Radladern und Baggern vorkamen, einschließlich ihrer Belegung mit Funktionen, sind in Anhang 5 detailliert beschrieben. Auf die dort angegebenen Beschreibungen und Eigenschaften beziehen sich die folgenden Ausführungen.

4.1 Ergonomische Gestaltung der Stellteile und Anordnung der Bedienelemente

Die ergonomische Bewertung der einzelnen MFST wurde anhand der ergonomischen Checkliste im Anhang 1 durchgeführt.

4.1.1 MFST des Radladers

Der einzige untersuchte Radlader hatte nur ein MFST (Abbildung 4.1). Bezüglich seiner Gestaltung und der der Bedienelemente wurde positiv bewertet:

- Anordnung der Taster bezüglich der Erreichbarkeit,
- versenkter Einbau der Taster zum Schutz gegen unbeabsichtigtes Betätigen,
- strukturierte Oberflächengestaltung des MFST, die zur besseren haptischen Wahrnehmung beiträgt.



Abbildung 4.1:
MFST des Radladers von Fa1



Als Schwächen sind zu nennen:

- Kompatibilität der Fahrtrichtungswahl und Gangschaltung,
- keine höhenverstellbare Handkantenauflage,
- nur teilweise haptische Unterscheidbarkeit der Taster für Zusatzfunktionen.

4.1.2 MFST der Bagger

Bei allen untersuchten Baggern waren jeweils das linke und das rechte MFST bis auf geringe Abweichungen identisch. Bei den Baggern der Fa1 waren zwei Taster nebeneinander im Daumenbereich und zwei Taster untereinander im Zeigefingerbereich angeordnet. Die beiden MFST der Fa2-Bagger unterschieden sich voneinander nur durch die Positionen der Kippschalter links und rechts (siehe Anhang 5). Bei den MFST des Fa3-Baggers gab es keine Unterschiede.

Die einzelnen MFST zeigten folgende positive Gestaltungsmerkmale (in Klammern sind die Firmen angegeben, auf deren Maschinen sich die Eigenschaft beziehen):

- kompatible Anordnung und Bewegungsrichtung der Stellteile bezogen auf ihre Funktionen (Fa1, Fa3)
- gute Platzierung der Taster bezüglich der Erreichbarkeit (Fa1, Fa2, bei Fa3 insbesondere bei der häufig genutzten ZFE zum Drehen des Greifers bzw. Neigen des Löffels)

Folgende Schwächen wurden festgestellt:

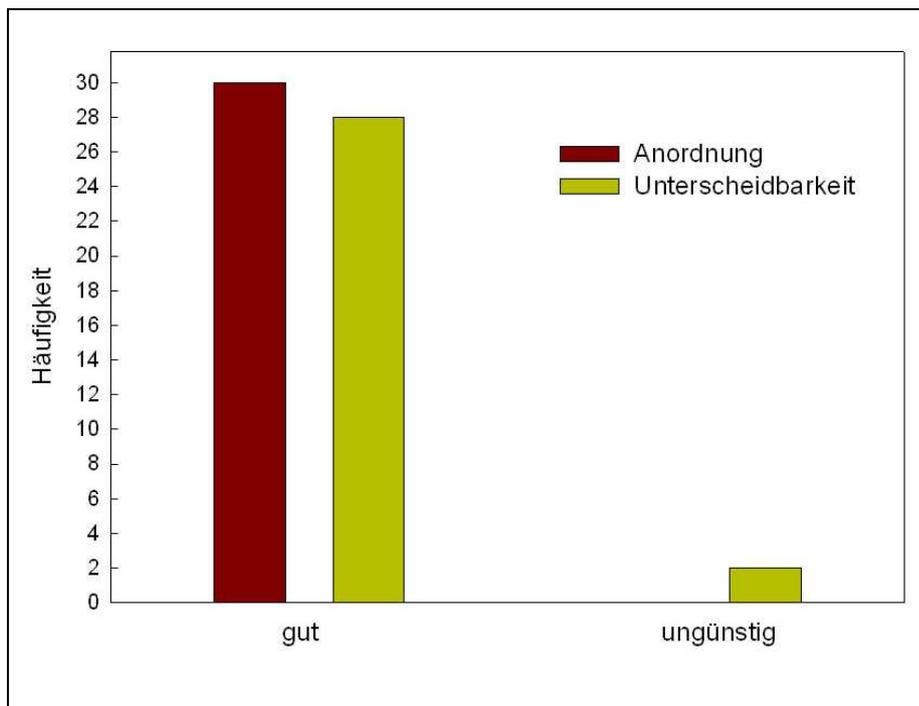
- eingeschränkte Bewegungsfreiheit bei der Auslenkung der MFST in Richtung Oberschenkel (Fa1),
- keine Kompatibilität bei der Position des Fahrtrichtungsschalter (Fa2)
- keine höhenverstellbare Handkantenauflage (Fa1, Fa2, Fa3),
- keine haptische Unterscheidbarkeit der Taster für Zusatzfunktionen (Fa2, Fa3, bei Fa1 unproblematisch, da aufgrund der geringen Menge von Tastern pro MFST für Daumen und Zeigefinger dennoch eine Unterscheidung gut möglich war).



4.1.3 Ergebnisse der Befragung

Die Anordnung der Funktionen sowie deren Unterscheidbarkeit wurde subjektiv positiv beurteilt. Mit der Anordnung der Funktionen waren 30 Maschinenführer zufrieden, niemand beurteilte sie als ungünstig (1 Angabe fehlte). Die Unterscheidbarkeit der einzelnen Funktionen beurteilten 28 Befragte als gut, zwei waren unzufrieden (Abbildung 4.2, 1 Angabe fehlte). Es wurde jedoch nicht genauer beschrieben, warum die Unterscheidbarkeit negativ beurteilt wurde. Auch wenn die Anzahl derjenigen, die unzufrieden mit der Unterscheidbarkeit waren, gering ist, scheint es hier noch Verbesserungsmöglichkeiten zu geben.

Abbildung 4.2:
Häufigkeitsverteilung der Beurteilung zur Anordnung und Unterscheidbarkeit der Stellteilmfunktionen





4.2 Anzahl und Belegung der Funktionseinheiten, Kompatibilität

4.2.1 Grundfunktionseinheiten

Da nur ein Radlader, aber mehrere Bagger untersucht wurden, ist nur bei letzteren ein Vergleich bzgl. einer einheitlichen Belegung der GFE sinnvoll. Es zeigt sich, dass bei allen Baggern die Belegung der GFE gleich ist und nur entsprechend der Ausrüstung mit Greifer oder Grabenräumlöffel variiert (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1:
GFE und ihre Anordnung bei den MFST der untersuchten Bagger

MFST	GFE	Bewegung des MFST	Funktion
links	1	links/rechts	Schwenken Oberwagen nach links/rechts
	2	vor/zurück	Stiel ausfahren/einfahren
rechts	1	links/rechts	Greifer schließen/öffnen oder Grabenräumlöffel an-/auskippen
	2	vor/zurück	Ausleger senken/anheben

Diese Belegung entspricht der in Abbildung 2.3 (siehe Seite 34) dargestellten Norm-Steuerung, an die sich die Hersteller in aller Regel auch halten.

Die Richtungen der MFST sind mit den auf ihnen abgelegten Grundfunktionen kompatibel. In Tabelle 2.4 (siehe Abschnitt 2.1) ist aufgelistet, welche Beziehungen zwischen Funktionen und Bewegungsrichtungen als kompatibel angesehen werden. Die dort aufgeführten Möglichkeiten sind bei den untersuchten Maschinen eingehalten.

4.2.2 Zusatzfunktionseinheiten

Wie in Abschnitt 1.3 bereits beschrieben, können ZFE

- auf am MFST angebrachten Bedienelementen abgelegt sein
- durch Belegung der MFST-Richtungen in einer neuen Ebene oder



- durch Belegung eines Bedienelements in weiteren Ebenen realisiert sein.

Im Überblick stellt sich für die Anzahl der ZFE sowie der Bedienelemente und zusätzlich belegten Ebenen auf den verschiedenen MFST das in Tabelle 4.2 wiedergegebene Bild dar (zusammengefasst aus den Angaben in Anhang 5).

Tabelle 4.2:

Anzahl der ZFE, der Bedienelemente (BE) und der belegten Ebenen der MFST-Richtungen bei den MFST der untersuchten Erdbaumaschinen

	linkes MFST			rechtes MFST			gesamt Anzahl ZFE
	Anzahl ZFE	Anzahl BE	zusätzliche Ebenen	Anzahl ZFE	Anzahl BE	zusätzliche Ebenen	
Radlader	-	-	-	4	7	-	4
Bagger Fa1	2	4	2. Ebene vor/zurück	3	4	-	5
Bagger1 Fa2	3	3	2. Ebene auf Taster 1 2. Ebene auf Taster 2	5	3	2./3./4. Ebene vor/zurück 2. Ebene links/rechts	8
Bagger2 Fa2	2	3	-	3	1	2. Ebene vor/zurück 2. Ebene links/rechts	5
Bagger Fa3	1/2	3	-	1/2	3	-	1

Folgende Ergebnisse bzgl. der Belegung der MFST mit ZFE lassen sich festhalten:

- Aus der Anzahl der Bedienelemente auf einem MFST lässt sich nicht die Anzahl der ZFE ableiten.
- Bei keinem Bagger kamen mehr als vier Bedienelemente auf einem MFST vor, bei dem Radlader sieben Bedienelemente.



- Es kamen maximal insgesamt acht ZFE auf einer Erdbaumaschine vor.
- Die Belegungen der MFST mit ZFE sind in Zahl und Art von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich.
- Auf einem Bagger waren die Richtungen vor/zurück des rechten MFST vierfach belegt. Hier stellt sich die Frage, ob der Maschinenführer die Belegungen im Arbeitsablauf noch sicher auseinander halten kann.
- Je nach Art der Zusatzfunktionen sind durch eine Fehlbedienung oder ein unbeabsichtigtes Betätigen sehr unterschiedliche Gefährdungspotentiale gegeben. So könnte man vermuten, dass Zusatzfunktionen wie z.B. Hupe oder Greifer drehen (siehe Anhang 5) zu weniger kritischen Situationen führen als das Auslösen von Grundfunktionen wie z.B. Oberwagen schwenken, Löffel auskippen. Im Einzelfall ist allerdings der Einsatz der Zusatzfunktion zu beachten: Die Gefährdung durch Greifer drehen kann insbesondere dann sehr hoch sein, wenn sich im Gefahrenbereich Personen aufhalten (z.B. beim Führen von gehobenen Lasten).

Bezüglich der Kompatibilität der Zusatzfunktionen lässt sich festhalten:

- Das Prinzip der Kompatibilität ist bei der ZFE „Fahrtrichtungsvorwahl“ des Radladers verletzt. Dort sollte die Funktion für das Vorwärtsfahren auf einer Taste abgelegt sein, die weiter oben auf dem MFST angeordnet ist als die für das Rückwärtsfahren.
- Bei den Baggern erfolgte die Fahrtrichtungswahl oft über einen Kippschalter mit drei Positionen. Dabei entsprach die Vorwahl „Vorwärtsfahren“ bei den Baggern der Fa2 dem Drücken dieses Kippschalters nach unten, die Vorwahl „Rückwärtsfahren“ entsprechend nach oben. Dies sollte für eine günstige Kompatibilität umgetauscht werden.
Mit einem zusätzlichen, an der Lenksäule angebrachten Hebel wäre das Prinzip der Kompatibilität zur Funktion (nach vorn = vorwärts fahren, nach hinten = rückwärts fahren) eher erfüllt. Dieses Prinzip war bei Hydraulikbaggern bereits realisiert, jedoch wurden auf Kundenwunsch und für einen schnelleren Zugriff diese Funktionen in die MFST integriert. (ausführlicher hierzu unter Abschnitt 5.2)
- Wie bereits in der Literatur-Bestandsaufnahme festgestellt (siehe Abschnitt 2.1), ist die Fahrtrichtungsvorwahl beim Schwenken des Baggeroberwagens um mehr als 90° nicht kompatibel. In diesem Fall muss der Maschinenführer bei den Lenkradbewegungen umdenken. In den Untersuchungen bei den Herstellern und auf den Baustellen wurden allerdings keine Probleme bei der Handhabung der Maschinen mit gedrehtem Oberwagen festgestellt (siehe hierzu auch die Ergebnisse der Befragung).



4.2.3 Ergebnisse der Befragung

Die Maschinenführer wurden gefragt, ob ihrer Meinung nach eher mehr oder eher weniger Funktionen auf den Stellteilen liegen sollten und welche Funktionen nicht darauf vorkommen sollen.

24 Befragte sprachen sich weder für mehr noch für weniger Funktionen auf dem Stellteil aus. Fünf Befragte gaben an, dass bis zu zwei Funktionen mehr abgelegt werden könnten, und zwei Befragte wünschen eine Funktion weniger auf den Stellteilen (Abbildung 4.3, siehe Seite 68). Der überwiegende Teil der Maschinenführer hält also die derzeitige Belegung der Stellteile für angemessen. Wenn eine Veränderung der Anzahl der Funktionsbelegung gewünscht wird, bewegt sich dies im Rahmen von ein bis zwei Funktionen.

Folgende Funktionen wurden zusätzlich auf dem Stellteil gewünscht:

- Hupe
- Sensorische Drehzahlsteuerung (Gas)
- Bedienung der Grabräumschaufel
- Umschalten vorwärts/ rückwärts (Radlader)
- Schließen der Klappschaufel (Radlader)

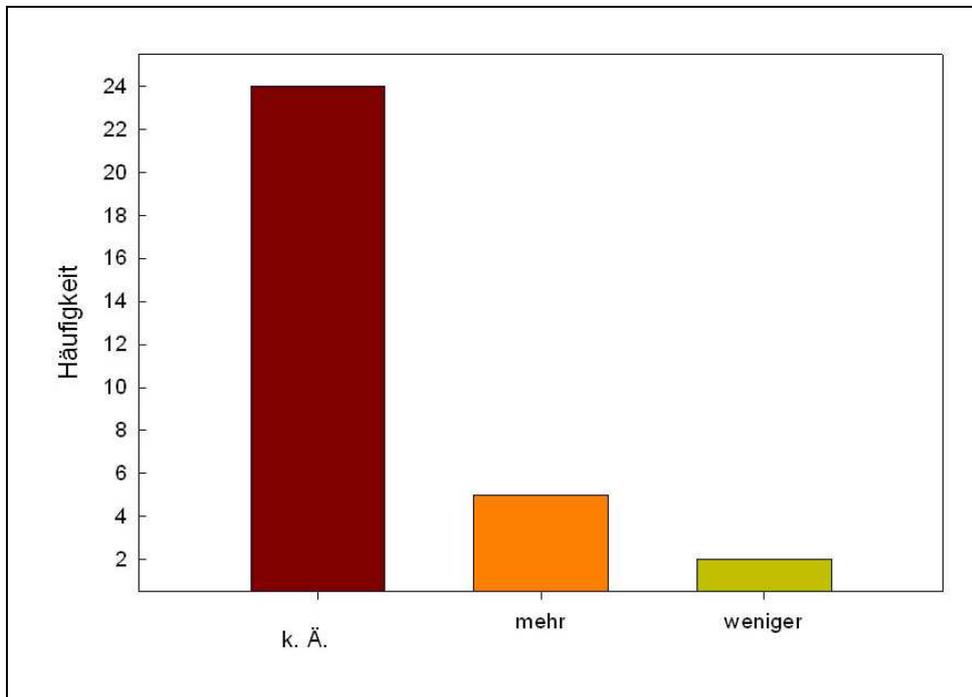
Folgende Funktionen sollten nach Ansicht der Maschinenführer nicht auf den Stellteilen liegen:

- Fahrfunktionen, Bremse
- Schild heben und senken
- Wechsel vom Kriechgang zum Schnellgang (Radlader)

Hinsichtlich der Kompatibilität wurden die Maschinenführer gefragt, ob die Stellteilbewegungen mit den Bewegungen der Maschine übereinstimmen. 29 Befragte gaben an, dass die Bewegungen übereinstimmen. Zwei Maschinenführer gaben an, dass die



Abbildung 4.3:
Häufigkeitsverteilung zur Frage, ob mehr oder weniger Funktionen auf den Stellteilen liegen sollen (k. Ä. = keine Änderungswünsche)



Bewegungen nicht übereinstimmen (Abbildung 4.4, siehe Seite 69). Sie machten jedoch keine näheren Angaben, welche Bewegungen nicht übereinstimmen.

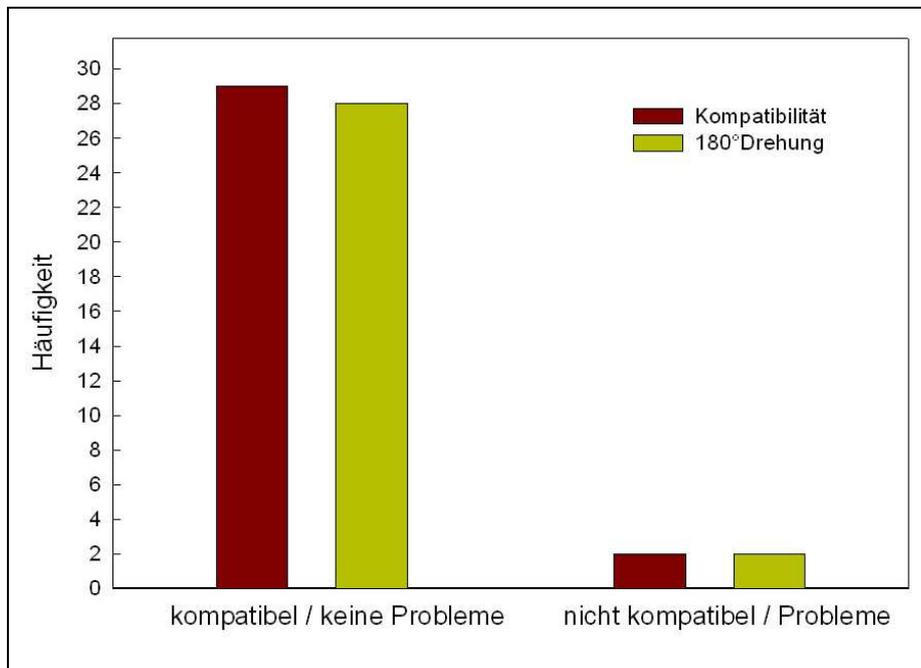
Folgende Vorschläge wurden von den Befragten gemacht, um den Umgang mit der Maschine beim Schwenken des Oberwagens zu optimieren:

- automatische Umstellung
- Huption, Lampe
- Lichtanzeige am Lenkrad
- Warnsignal beim Rückwärtsfahren
- bessere Sicht auf das Fahrwerk
- Allradlenkung

Generell werden optische Signale akustischen vorgezogen.



Abbildung 4.4:
Häufigkeitsverteilung zur Frage, ob die Stellteil- und Maschinenbewegungen kompatibel sind bzw. ob das Schwenken des Oberwagens beim Bagger Probleme bereitet



Die Kompatibilität von Stellteilbewegungen und Maschinenbewegungen scheint also bei den meisten Erdbaumaschinen gegeben zu sein. Darüber hinaus bereitet das Schwenken des Oberwagens offensichtlich wenigen Maschinenführern Probleme.

Neben der allgemeinen Frage nach der Kompatibilität wurde speziell das Schwenken des Bagger-Oberwagens um 180° thematisiert. 28 Befragte gaben an, keine Probleme mit dem Schwenken des Oberwagens zu haben; lediglich zwei Befragte sehen Probleme (1 Angabe fehlt, Abbildung 4.4).

4.3 Bedienhäufigkeit und Zyklusdauern

Zyklusdauern wurden nur bei den Herstellerversuchen ermittelt, da nur hier fest definierte Arbeitsabläufe mehrmals hintereinander ausgeführt wurden. Auf den Baustellen unterschieden sich die aufeinander folgenden Tätigkeitsabläufe zu stark, als dass die Dauer eines Zyklus sinnvoll ermittelt werden konnte.



Bei dem Arbeitsablauf im Radlader-Versuch auf dem Gelände von Fa1 konnte festgestellt werden, dass sich die benötigte Zeit für einen Arbeitsablauf etwa ab dem 4. Zyklus auf einen einheitlichen Wert von im Mittel 14,5 min einpendelte (1. Zyklus: 24 min). Der Fahrer benötigte also eine gewisse Eingewöhnungszeit. Entsprechend wurden die Bedienhäufigkeiten für die Nutzung der Grundfunktionen und der Zusatzfunktionen auch erst ab dem 4. Zyklus ausgewertet. Die Werte sind in Tabelle 4.3 zusammen gefasst.

Tabelle 4.3:
Zyklusdauern und Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten bei den Untersuchungen mit dem Radlader auf Herstellergelände

	Zyklusdauer	Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten (pro Zyklus)			
		GFE		ZFE	
		Schaufel	Hubgerüst	Vorwahl Fahrtrichtung	Schalten
∅	14:30 min	62	60	41	4-5
s	0:42 min	3,4	3,6	1,8	1,0

∅ - Mittelwert, s – Standardabweichung, berechnet wurde aus Werten von 7 Zyklen

Es wurden nur zwei der vier ZFE benutzt. Auch die Neutralstellung bei der Fahrtrichtungsvorwahl kam während der Ausführung der Arbeitsaufgabe nicht zum Einsatz, da immer direkt zwischen vorwärts und rückwärts gewechselt wurde.

Bei beiden Untersuchungen mit Baggern auf Herstellergelände betrug die Zyklusdauer im Mittel etwa 1,5 min. In einem Fall war eine Eingewöhnungsphase festzustellen.

Die in den Tabellen 4.4 und 4.5 (siehe Seite 71) zusammengestellten Bedienhäufigkeiten der GFE und der ZFE zeigen, dass erstere wesentlich häufiger genutzt werden. Lediglich die ZFE „Greifer drehen“ macht hier eine Ausnahme. Bei den aufgeführten Grund- und Zusatzfunktionen ist zudem zu vermuten, dass erstere ein höheres Gefährdungspotential beinhalten als letztere. Das Drehen des Oberwagens oder Heben und Senken des Auslegers kann Personen eher gefährden, als wenn der Greifer in seinem erheblich kleineren Radius gedreht wird oder der Löffel seitlich geneigt wird.



Tabelle 4.4:
Zyklusdauern und Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten beim Bagger der Fa1 auf Herstellergelände.

	Zyklus- dauer	Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten pro Zyklus beim Bagger Fa1						
		linkes MFST				rechtes MFST		
		GFE		ZFE		GFE		ZFE
		Oberwagen schwenken	Stiel ein-/ ausfahren	Umschal- tung auf Schild	Schild senken/ heben	Greifer schließen/ öffnen	Ausleger heben/ senken	Greifer drehen
∅	1:32 min	14	35	4	2	12	21	15
s	0:47 min	1,5	1,9	1,0	0,8	1,0	1,5	1,4

∅ - Mittelwert, s – Standardabweichung, berechnet wurde aus Werten von 83 Zyklen

Tabelle 4.5:
Zyklusdauern und Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten beim Bagger 1 der Fa2 auf Herstellergelände.

	Zyklus- dauer	Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten pro Zyklus beim Bagger 1 von Fa2 - linkes MFST				
		GFE		ZFE		
		Oberwagen schwenken	Stiel ein-/ ausfahren	Löffel nei- gen	Vorwahl Fahrtrichtung	Schnellwech- seleinrichtung
∅	1:25 min	12	13	9	2	nicht genutzt
s	0:29 min	0,9	1,1	4,1	0,7	-

	Bedienhäufigkeiten der Funktionseinheiten pro Zyklus beim Bagger 1 von Fa2 - rechtes MFST						
	GFE		ZFE				
	Löffel an-/ abkippen	Ausleger heben/ senken	linkes Schild bewegen	rechtes Schild bewegen	Schild syn- chron bewegen	Ausleger- schwenkla- ger aktivie- ren	Ausleger schwenken
∅	21	13	1	1	2	3	5
s	1,5	1,1	1,1	1,1	1,3	0,9	1,1

∅ – Mittelwert, s – Standardabweichung, berechnet wurde aus Werten von 117 Zyklen



Bedienhäufigkeit und Gefährdung zusammen genommen würden dann ergeben, dass die Grundfunktionen auch risikobehafteter sind als die Zusatzfunktionen.

Die Werte der Standardabweichungen sind bei den ZFE größer als bei den GFE. Insbesondere weist die Bedienhäufigkeit der ZFE „Löffel neigen“ im Versuch mit Bagger 1 der Fa2 große Abweichungen pro Zyklus auf. Dies liegt daran, dass diese ZFE sehr situationsabhängig vom Maschinenführer genutzt wurde, z.B. zum Erdreich lockern oder Fahrspur verfüllen. Beim Ausbaggern des geraden Kanals hingegen war der Einsatz dieser ZFE nicht notwendig.

4.4 Gefahrensituationen

Die Maschinenführer wurden gefragt, welche Gefahrensituationen bei der Arbeit mit Erdbaumaschinen auftreten. Folgende Gefahrensituationen wurden genannt:

- Abrutschgefahr bei Grubenarbeiten
- Erdleitungen und Bodenleitungen im Baugelände
- Personen im unmittelbaren Arbeitsumkreis der Erdbaumaschine
- Kippgefahr beim Transport schwerer Lasten
- situationsabhängig auch das Beladen von Lkw
- wechselnde Bodenbeschaffenheit
- Rückwärtsfahren
- laufender Straßenverkehr

Die wesentlichen Gefahrensituationen entstehen also nach Auskunft der Befragten durch Umgebungsparameter.

Neben der allgemeinen Frage nach Gefahrensituationen wurden die Maschinenführer auch gefragt, ob es bei der Verständigung mit anderen Personen auf der Baustelle Probleme gibt und wenn ja, welche.

18 Befragte gaben an, dass es nicht zu Problemen kommt, während für zwölf Befragte Verständigungsprobleme auftreten können. Folgende Probleme wurden genannt:



- Fehlende Vereinbarung über die Bedeutung der einzelnen Signale führen zu Missverständnissen bei der Bedienung.
- Handzeichen sind in ihrer Bedeutung nicht eindeutig.
- Aufgrund der Lautstärke (Lärm) auf der Baustelle werden akustische Signale (Zurufe und Hupsignale) nicht oder nur unzureichend wahrgenommen.
- Die rechtzeitige Reaktion auf die Signale ist nur unzureichend.

Die genannten Verständigungsprobleme stellen potenzielle Gefahrensituationen dar. Missverständnisse bei der Bedienung oder zu späte Reaktionen können zu (Beinahe-) Unfällen führen.

4.5 Bedienfehler, Automatisierung

Ziel der Untersuchungen war festzustellen, ob es bei der Benutzung von Erdbaumaschinen für die Anzahl der ZFE eine Grenze gibt, oberhalb der die Menge an Fehlern entscheidend zunimmt. Als Fehler wird für diese Einschätzung eine Abweichung vom durch die Arbeitsaufgabe vorgegebenen Arbeitsablauf verstanden. Ein Fehler kann auch eine Reaktion auf Störungen des Arbeitsablaufes sein, die zu einer Gefährdung oder Schädigung von Personen bzw. Sachen führt oder einen Personen- bzw. Sachschaden vergrößert.

Folgende Ursachen für einen solchen Fehler können unterschieden werden:

- Fehlbedienung:
unbeabsichtigtes Bedienen einer anderen Funktion als gewollt oder Bedienung der gewollten Funktion in falscher Art und Weise (z.B. Verwechslung der Bedienrichtung)
- Fehleinschätzung:
Abstände, Geschwindigkeiten, Bodenverhältnisse o.ä. falsch eingeschätzt
- Nichtwahrnehmen:
z.B. von Leitungen im Erdreich oder anderem durch Sichtverdeckungen
- Nichtbeachtung der Verhaltensanforderungen:
von Betriebsanleitung, BGV etc.

Solche Fehler waren auf den bei den Untersuchungen angefertigten Videoaufzeichnungen für einen Laien nur sehr schwer erkennbar. Deshalb wurde zur Auswertung



der Videosequenzen ein Expertengremium gebildet, das sich aus einem Vertreter der TBG und jeweils einem Testfahrer von Fa1 und Fa2 zusammen setzte.

Bei der Arbeit mit dem Radlader der Fa1 auf Herstellergelände wurde lediglich ein Fehler beim Wechseln des Arbeitswerkzeugs von Schaufel zu Gabelzinken mit der Schnellwechseleinrichtung (SWE) festgestellt. Dabei wurde nicht sichergestellt, dass die neu angebrachte Ausrüstung über einen Verriegelungsbolzen der SWE fest mit der Maschine verbunden war. Erst nach einem Hinweis verriegelte der Maschinenführer die Arbeitsausrüstung ordnungsgemäß. Die entsprechenden Kontrollmaßnahmen zur Sicherstellung der formschlüssigen Verbindung sind in der Bedienungsanleitung des Herstellers angegeben. Demzufolge war dies kein Fehler durch falsche Betätigung eines Bedienelements, sondern die fehlende Kontrollmaßnahme durch den Maschinenführer.

Weitere Fehler während der Ausführung der Arbeitsaufgabe konnten nicht ermittelt werden. Auch auf Störungen des Arbeitsablaufes (Ballwurf, Telefonanruf) reagierte der Maschinenführer schnell und fehlerfrei.

Bei der Untersuchung mit dem Bagger der Fa1 auf ihrem Gelände touchierte der Maschinenführer in zwei verschiedenen Arbeitszyklen mit dem Ausleger je einmal die simulierte Oberleitung. Ein dritter Fehler resultierte aus einer Berührung der mit Traversierband dargestellten Hauswand. Alle drei Fehler beruhten auf einer Fehleinschätzung des Abstandes zwischen der Erdbaumaschine und dem jeweiligem Hindernis.

Der Maschinenführer des Baggers1 der Fa2 vergaß während eines Zyklus, von der Nutzung des Auslegerschwenklagers auf die des Löffels umzuschalten (ZFE 3 und 4 am rechten MFST, siehe Anhang 5). Dies hatte ein kurzes Rechtsschwenken zur Folge statt des Abkippens des Löffels. Hierbei handelt es sich um die einzige identifizierte Fehlbedienung.

Weitere Fehler während der Ausführung der Arbeitsaufgaben konnten bei den Baggerführern nicht ermittelt werden. Auf Störungen des Arbeitsablaufes (Ballwurf, Telefonanruf) reagierten beide Baggerführer schnell und fehlerfrei.



Während der Baustellenversuche ist ein Fehler identifiziert worden. Beim Verteilen von Muttererde stieß der Maschinenführer mit dem Ausleger gegen ein Straßennamensschild und verdrehte es (Baustelle 2). Der Maschinenführer wurde selbst von der Kollision überrascht. Der Fehler ist auf eine Fehleinschätzung des Maschinenführers zurückzuführen.

Eine kritische Situation ereignete sich auf Baustelle 4 beim Anheben eines Verbaukastens. Dieser pendelte in Richtung der Straße mit öffentlichem Autoverkehr. Der Maschinenführer reagierte sofort, indem er den Ausleger senkte und den Verbaukasten auf der Straße aufsetzte. Hier hätte die Straße beim Holen des Verbaukastens durch einen Baustellenarbeiter gegen Verkehr gesichert werden müssen. Es lag also die Nichtbeachtung einer Verhaltensanforderung vor.

Fehler aufgrund von Fehlbedienungen konnten bei den Baustellenversuchen nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen:

- Nur in einem Fall erfolgte ein Fehler aufgrund der Fehlbedienung einer ZFE. Der Bagger, mit dem in diesem Fall gearbeitet wurde, besaß acht ZFE, von denen sieben genutzt wurden. Alle anderen Versuchsmaschinen wiesen nicht mehr als fünf ZFE auf. Dies könnte ein erster Hinweis auf eine noch sicher zu handhabende Höchstzahl von ZFE am MFST sein. Der Fehler trat jedoch nur in einem von 117 Zyklen auf.
- Alle anderen identifizierten Fehler betrafen entweder sicherheitsgerechtes Verhalten oder das Einschätzen von Abständen der Erdbaumaschine zu Hindernissen, nicht jedoch die Nutzung der ZFE.

Es sei angemerkt, dass in die Untersuchungen nur die Bedientätigkeiten der Hände einbezogen wurden. Auch die Bedienung der Fußstellteile beansprucht natürlich informationsverarbeitende Kapazität des Maschinenführers. Vermutlich wird sich die gleichzeitige Nutzung von Fußstellteilen auch auf die Zuverlässigkeit bei der Bedienung von MFST auswirken. Dies war jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.



4.5.1 Ergebnisse der Befragung

Die Maschinenführer wurden gefragt, welche Fehler in gefährlichen Situationen bei der Bedienung der Maschine passieren. Folgende Fehler wurden genannt:

- Die Stellteile werden unbeabsichtigt herangezogen oder losgelassen.
- Eine falsche Funktion wird betätigt.
- Die Steuerung wird festgehalten.
- Die Bedienung der Funktionen erfolgte in falscher Reihenfolge.
- Die Steuerbewegung wird zu schnell bzw. ruckartig ausgeführt.
- Der Oberwagen wird unbeabsichtigt geschwenkt.

Wenn auch in der vorliegenden Untersuchung so gut wie keine Fehler hinsichtlich der Bedienung der MFST beobachtet wurden, können solche Fehler entstehen. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist vor allem in gefährlichen Situationen, die durch Umgebungsparameter wie Erdleitungen oder Personen im Arbeitsumkreis bedingt sind, erhöht. Hinsichtlich der Fehlerhäufigkeit kann jedoch aufgrund der vorliegenden Daten keine Aussage gemacht werden.

Die Maschinenführer wurden auch nach Funktionen bzw. Tätigkeiten befragt, die bei ihnen nicht automatisiert ablaufen. 20 Antworten lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (elf Befragte haben keine Angaben gemacht):

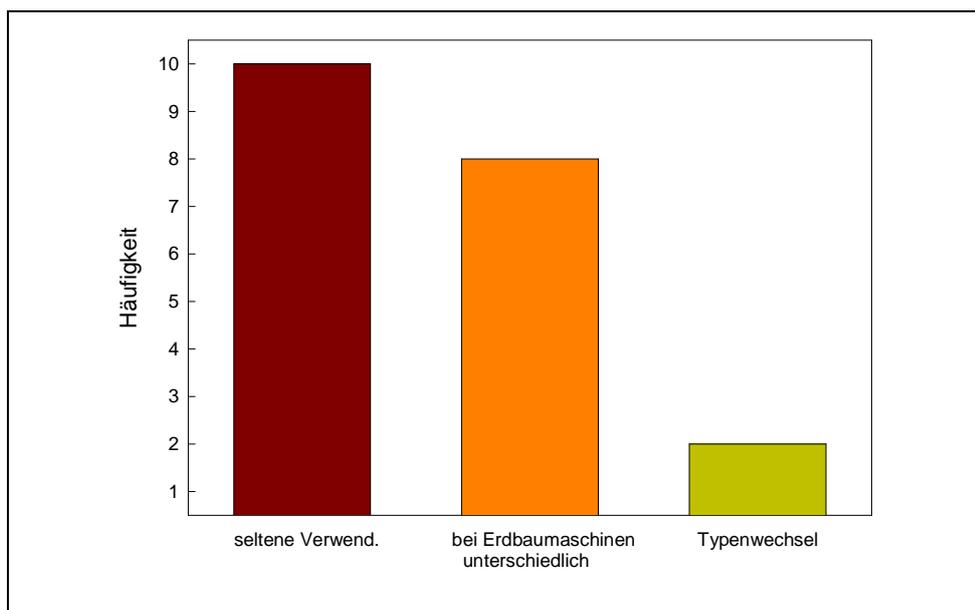
- Bei Arbeiten mit einer Grabräumschaufel liegt ein geringerer Automatisierungsgrad vor.
- Die Bedienung von Funktionen bei nicht alltäglichen Ausrüstungen (z.B. Bohrgerät) erfordert eine erhöhte Konzentration.
- Beim Fahren mit einer Holzstange, beim Meißeln und beim Schließen der Greiferschaufel laufen die Funktionen nicht so automatisch ab.
- Müssen mehrere Bedienfunktionen für einen Arbeitsgang ausgeführt werden, ist eine bewusste Steuerung notwendig.



- Müssen Arbeiten mit einem Radlader ausgeführt werden, die sonst eher mit einem Bagger erledigt werden, so ist auch hier eine bewusste Steuerung vonnöten.
- Die unterschiedlichen Belegungen bzw. Funktionen der Baumaschinen setzen beim Wechsel der Maschine eine bewusste Steuerung für etwa eine halbe Stunde voraus.

Als Grund für die geringere Automatisierung wurde von zehn Befragten die seltene Verwendung der Funktionen angegeben und von acht Befragten die unterschiedliche Lage der Funktionen bei verschiedenen Erdbaumaschinen. zwei Personen gaben den Typenwechsel zwischen Baumaschinen als Grund an (Abbildung 4.5).

Abbildung 4.5:
Häufigkeitsverteilung der Angaben, warum Funktionen oder Tätigkeiten bei den Maschinenführern nicht automatisiert ablaufen



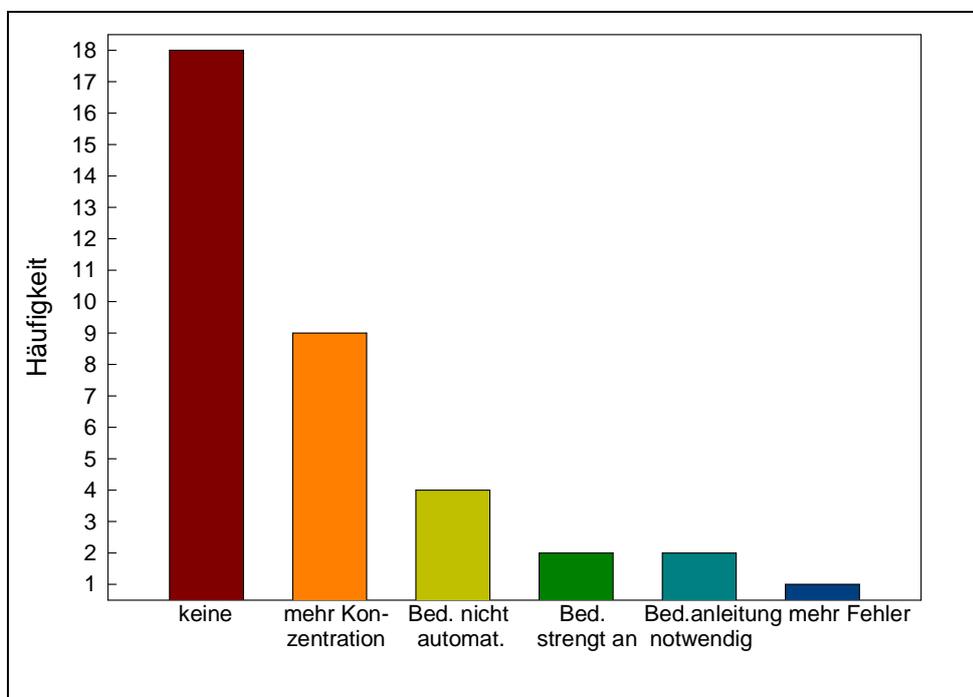
Die Maschinenführer wurden gesondert gefragt, ob sie gar nicht, selten oder häufig (mehrmals täglich bis wöchentlich) die Baumaschine wechseln und ob ihnen der Wechsel Probleme bereitet.

Lediglich drei Befragte gaben an, die Maschine nicht zu wechseln. 15 Befragte wechseln selten und 13 häufig zwischen Maschinen. Von den 28 Befragten, die zwischen Maschinen wechseln, erklärten 18, keine Probleme mit dem Wechseln zu haben. Zehn



der 28 nannten unterschiedliche Probleme, wie z.B. höhere Konzentration oder höhere Anstrengung (Mehrfachnennung möglich, Abbildung 4.6). Wenn auch der überwiegende Teil der Befragten keine Probleme beim Wechsel der Maschine hat, so sieht doch immerhin ein Drittel Probleme. Es ist leicht vorstellbar, dass unter einer solchen Bedingung die Wahrscheinlichkeit für Fehler erhöht ist, da mehr Verarbeitungsressourcen der Maschinenführer in Anspruch genommen werden.

Abbildung 4.6:
Häufigkeitsverteilung der Angaben zu den Problemen, die ein Maschinenwechsel bereitet (Bed. = Bedienung)



4.6 Beanspruchung, Stress, Monotonie

Im letzten Teil der Befragung wurde nach den verschiedenen Aspekten der körperlichen und geistigen Beanspruchung bei der Arbeit auf einer Baumaschine gefragt. Außerdem sind die Auswirkungen von Überstunden und Zeitdruck auf die Bedientätigkeit erfragt worden. Die Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst dargestellt.

Besonders hoher Stress wird empfunden, wenn



- Bewegungen der Ausrüstung zu langsam oder zeitlich nicht gut abgestimmt sind;
- Erdverlegte Kabel, Leitungen oder Rohre, aber auch viele Personen, beengtes Gelände und Verkehr vorhanden sind;
- Zeitdruck und zu hohe Arbeitsanforderungen bestehen oder gleichzeitig mehrere Arbeitsaufträge erfüllt werden müssen;
- ein schlechtes Arbeitsklima herrscht;
- hohe Außentemperaturen sind.

Besonders ermüdend ist/sind

- nicht ergonomisch gestaltete Handgriffe
- konzentriertes Arbeiten und vorausschauendes Denken
- hohe Außentemperaturen
- Wartezeiten
- Arbeiten mit dem Sieblöffel
- lange Fahrstrecken
- Baumaschinenlärm
- Überstunden

Besonders monoton ist/sind

- Umschlagarbeiten
- großflächiger Abriss mit dem Hammer
- Ausheben eines Schachtes
- alle Tätigkeiten ohne Wechsel

Zeitdruck führt zu

- Konzentrationsschwierigkeiten
- Kopfschmerzen, Verspannungen
- Stress



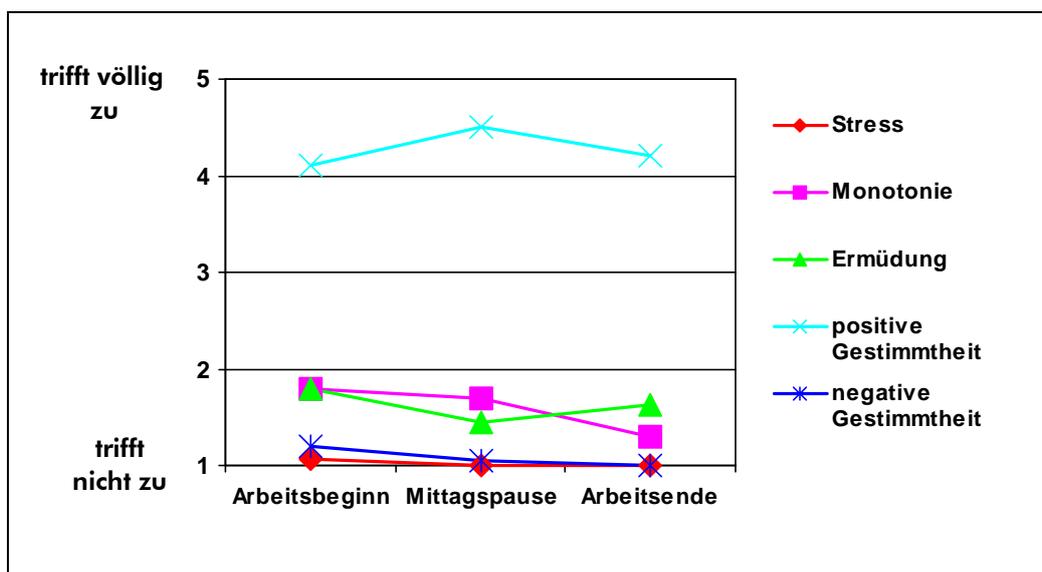
- nachlassender Qualität und Fehlern
- Gefährdung der Sicherheit

Überstunden führen zu

- Ermüdung
- Gereiztheit, Anspannung
- Verspannungen
- Stress
- Konzentrationsschwierigkeiten
- nachlassender Qualität und Fehlern
- zunehmender Unfallgefahr

Neben der Befragung wurde bei sieben Maschinenführern dreimal am Tag die Belastung, Monotonie und Sättigung mithilfe des BMS-Screening erfasst. Der Beanspruchungsverlauf ist in Abbildung 4.7 dargestellt.

Abbildung 4.7:
Mittlerer Beanspruchungsverlauf über einen Tag bei sieben
Maschinenführern





Die Werte für Stress, Monotonie und Ermüdung liegen im unteren Bereich und entsprechend auch die negative Gestimmtheit. Es zeigen sich auch nur sehr geringe Veränderungen über den Tag. Die positive Gestimmtheit ist hingegen über den gesamten Tag hoch.

4.7 Einfluss von Umgebungsparametern

4.7.1 Messungen des Schalldruckpegels

Bei einer Untersuchung auf Herstellergelände und einer Messung auf einer Baustelle wurde jeweils für etwa 30 min der Schalldruckpegel aufgezeichnet. Die über den jeweiligen Aufzeichnungszeitraum gebildeten energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{AFeq} können dabei dem Beurteilungspegel gleichgesetzt werden, der sich auf einen Arbeitstag von 8 Stunden bezieht.

Um den gewohnten Arbeitsablauf des Maschinenführers nicht zu beeinträchtigen, wurde auf eine normgerechte Messung verzichtet: Der Pegel wurde nur an einer Seite des Kopfes beim Maschinenführer aufgezeichnet und es wurde zum Teil bei offen stehender Kabinentür gemessen. Dabei war das Mikrophon auf der Seite des Kopfes am Helm in Ohrhöhe angebracht, die der Kabinentür zugewandt war, und es war nach vorne zum Sichtfenster hin ausgerichtet.

Insgesamt ergaben sich Werte kleiner 85 dB(A) für den Beurteilungspegel. Neben den minimalen und maximalen Pegelwerten sind die Werte für die maximalen Einzelimpulse $L_{Cpeakmax}$ und die Impulshaltigkeit des Arbeitsgeräusches $L_{Alep} - L_{AFeq}$ aufgeführt. Der hohe Einzelimpulswert bei der Messung im Fa1-Bagger (Schattierung in Tabelle 4.6, siehe Seite 82) rührt von einem absichtlichen Schlagen der Baggerschaufeln zum Abschlagen von Erde her. Zwar würden sich nur beim Auftreten vieler solcher hoher Schallimpulse von mehr als 140 dB auch für die entsprechenden Beurteilungspegel Werte über 85 dB ergeben [28]. Dennoch sind solche Spitzenwerte über 140 dB auf jeden Fall zu vermeiden, da durch sie eine unmittelbare Gehörschädigung sowohl beim Maschinenführer als auch bei Kollegen in der Umgebung auftreten kann. Mit Werten zwischen 4 und 7 dB(A) ist die Impulshaltigkeit als gering anzusehen.



Tabelle 4.6:

Gemittelte Werte des Beurteilungspegels, gemessene Extremwerte für Pegel und Einzelimpuls sowie Impulshaltigkeit

	Untersuchung auf Herstellergelände Fa1		Untersuchung auf Baustelle 4		
	Radlader (Kabinentür offen)	Bagger (Kabinentür geschlossen)	Bagger (Kabinentür offen)	Außenmessungen neben dem Bagger	
Beurteilungspegel L_{AFeq}	79 dB(A)	78 dB(A)	82 dB(A)	78 dB(A)	71 dB(A)
maximaler Pegelwert L_{Fmax}	89 dB(A)	93 dB(A)	103 dB(A)	91 dB(A)	95 dB(A)
minimaler Pegelwert L_{Fmin}	59 dB(A)	71 dB(A)	49 dB(A)	69 dB(A)	62 dB(A)
max. Einzelimpuls $L_{Cpeakmax}$	112 dB	144 dB	114 dB		
Impulshaltigkeit $L_{Aeq} - L_{AFeq}$	4 dB(A)	6 dB(A)	7 dB(A)		

Nach BGV B3 [29] kann man davon ausgehen, dass das Arbeitsumfeld der Erdbau- maschinenführer in der Regel nicht als Lärmbereich eingestuft wird. Dies gilt allerdings nur, wenn keine Einzelimpulse über 140 dB auftreten, d.h. wenn von den Maschinenführern selbst keine hohen Einzelimpulse provoziert werden.

4.7.2 Analyse der physiologischen Daten

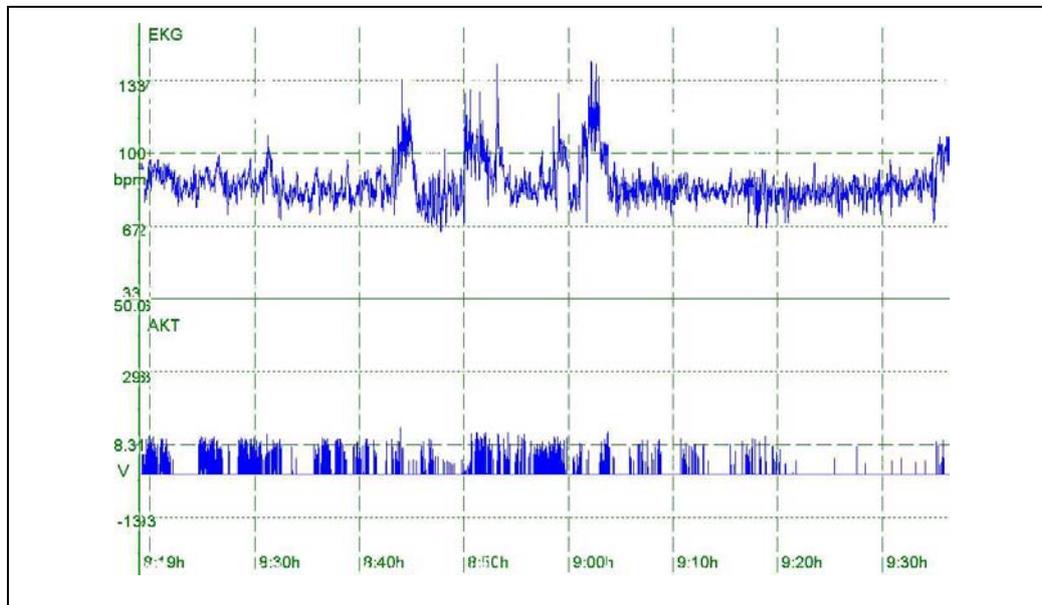
Herzfrequenzanalysen werden zunehmend für die Bewertung der Arbeitsschwierigkeit eingesetzt. Es zeigt sich, dass mit der Höhe der Arbeitsbelastung und der emotionalen Belastung auch die Herzfrequenz ansteigt [30]. Aus diesem Grund sollte in der vorliegenden Studie die Herzfrequenz bestimmt werden.

Neben der Herzrate wurde auch die physische Aktivität (Körperbewegungen) gemessen, da sie zu Veränderungen der Herzrate führt und so bei psychophysiologischen Untersuchungen kontrolliert werden muss [31].

Herzrate und physische Aktivität wurden bei einer Untersuchung auf Herstellergelände (Fa2) und auf drei Baustellen aufgezeichnet. Die Dauer der jeweiligen Messungen



Abbildung 4.8:
Beispiel für eine Messung der Herzfrequenz (EKG, bpm = Schläge pro Minute) und der physischen Aktivität (AKT, gemessen in V)



(Tabelle 4.7, siehe Seite 84) reichte nicht, um gesicherte Aussagen über die Veränderung der Herzrate in Abhängigkeit von der Tätigkeit zu machen. Deshalb erfolgt die Auswertung deskriptiv. Die Daten können jedoch Hinweise auf relevante Untersuchungssituationen geben und ermöglichen die Ableitung weiterer Forschungsfragestellungen. Um einen Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der Arbeitsbelastung feststellen zu können, wäre neben der Herzfrequenzmessung auch eine objektive Tätigkeitsanalyse erforderlich gewesen. Dies war jedoch aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen nicht möglich. Bei der Auswertung wurden zudem als Artefaktkontrolle alle Herzraten unter 60/min und über 195/min von der Analyse ausgeschlossen.

Da physische Aktivität zur Erhöhung der Herzrate führt, war bei allen Versuchspersonen eine hohe Korrelation von Herzrate und Aktivität, d.h. Herzfrequenzveränderungen aufgrund physischer Beanspruchung zu erwarten. Tatsächlich variierten die Korrelationswerte bei den vier Versuchspersonen stark und waren in drei Fällen recht gering: 0,06, 0,24, 0,37 und 0,73. Eine Korrelation von 0,8 kann als substantiell bezeichnet werden [31]. Möglicherweise ist die Messung der Aktivität am Handgelenk



beim Führen von Baumaschinen nicht geeignet. Es kamen nämlich bei der Bewegung der MFST sehr hohe Aktivitätswerte zustande, obwohl nur der Arm und nicht der gesamte Körper bewegt wurde. Im weiteren wurde deshalb nicht auf die gemessenen Aktivitätsdaten, sondern auf die Videoaufzeichnungen und die Verhaltensdaten zurückgegriffen, um Veränderungen der Herzrate aufgrund körperlicher Beanspruchung von anderen Herzratenveränderungen zu unterscheiden.

Erwartungsgemäß zeigten sich Veränderungen der Herzrate beim Vergleich von starker körperlicher Aktivität (z.B. Steine per Hand stapeln, mit Schippe arbeiten) und der Arbeit auf einem Bagger. Die Daten sind in Tabelle 4.7 dargestellt. Aus dieser Tabelle wird auch ersichtlich, dass die mittleren Herzfrequenzen zwischen den Maschinenführern geschwankt haben. Dies kann durch das unterschiedliche Lebensalter oder die allgemeine Kondition bedingt sein.

Tabelle 4.7:

Mittlere Herzfrequenzraten (HR) in Schlägen pro Minute bei der Baggerführung im Vergleich zu den Werten bei körperlichen Tätigkeiten auf der Baustelle

Untersuchung	Dauer der Messung	Baggerführung HR \pm 95%	Körperliche Tätigkeit HR \pm 95%
Hersteller Fa2	1:54 h	74,2 \pm 0,35	/
Baustelle 1	6:59 h	87,7 \pm 0,92	91,8 \pm 2,00
Baustelle 3	8:20 h	71,4 \pm 0,78	75,5 \pm 3,63
Baustelle 4	6:59 h	95,1 \pm 1,31	109,6 \pm 3,16

Es sind jeweils die Mittelwerte und die 95 %-Konfidenzintervalle angegeben (d.h. die gemessenen Werte befinden sich mit 95 %-iger Wahrscheinlichkeit in diesem Bereich). Auf dem Herstellergelände wurde während der Aufzeichnung keine schwere körperliche Tätigkeit ausgeführt.

Um mögliche Herzfrequenzveränderungen in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Tätigkeit feststellen zu können, wurden die einzelnen Tätigkeiten von Experten auf einer 4-stufigen Skala eingeschätzt (1 = einfach, z.B. „fahren“ oder „Verfüllen der Fahrspur“; 2 = etwas schwierig, z.B. „Lkw mit Betonabrieb beladen“ oder „Verbaukasten mit Bagger holen“; 3 = schwierig, z.B. „Kanal mit eingesetztem Verbaukasten



ausbaggern bei Wasserleitung“ oder „Sand in Laderschaufel kippen“; 4 = sehr schwierig, z.B. „kritische Situation mit Autoverkehr beim Anheben des Verbaukastens“). Bei den Untersuchungen auf Herstellergelände der Fa2 und auf der Baustelle 4 wurden alle Situationen als einfach (1) bewertet. Lediglich eine Situation auf Baustelle 3 wurde als „sehr schwierig“ eingestuft.

Für die Schwierigkeitsstufen 1 bis 3 zeigten sich keine Herzfrequenzunterschiede auf den Baustellen 1 und 3. Lediglich bei Schwierigkeitsstufe 4 war eine starke Zunahme der Herzfrequenz zu beobachten. Tabelle 4.8 zeigt die Mittelwerte der Herzfrequenz für die unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade.

Tabelle 4.8:
Mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei unterschiedlich schwierigen Tätigkeiten

Untersuchung	einfach (1)	etwas schwierig (2)	schwierig (3)	sehr schwierig (4)
Baustelle 1	88,27	87,36	87,92	-
Baustelle 3	70,58	71,48	71,34	89,67

Unterschiedlich schwierige Tätigkeiten wirken sich also nicht auf die Herzfrequenz aus. Lediglich in einer kritischen Situation beim Schwenken eines Verbaukastens über den laufenden Straßenverkehr (Baustelle 3) stieg die Herzfrequenz stark an. Möglicherweise handelt es sich hierbei um einen Anstieg aufgrund emotionaler Erregtheit. Es ist vorstellbar, dass in anderen sehr schwierigen Situationen ebenfalls ein Anstieg der Herzrate festzustellen wäre. Hier fehlt allerdings entsprechendes Datenmaterial.

Die Fahrer bezeichneten sich selber alle als hoch geübt und wurden auch von den Experten so eingeschätzt. Möglicherweise hat dies dazu geführt, dass keine Unterschiede in der Herzrate festzustellen waren. Interessant wären Untersuchungen, in denen mehr kritische Situationen erhoben und bei denen auch bei ungeübten Fahrern Daten abgeleitet werden könnten.

In einem weiteren Fall war ein Anstieg von 70,08 auf 74,5 Herzschläge pro Minute nach einem Telefonanruf (Handy) feststellbar, über den sich der Fahrer nach eigener



Aussage geärgert hatte. Bei diesem Anstieg kann es sich ebenfalls um ein Zeichen emotionaler Beanspruchung handeln.

Betrachtet man die Herzfrequenzveränderungen über den Tag (Tabelle 4.9), so ist festzustellen, dass nach der Mittagspause niedrigere Werte als vormittags auftreten.

Tabelle 4.9:
Mittlere Herzfrequenzen vormittags und nachmittags

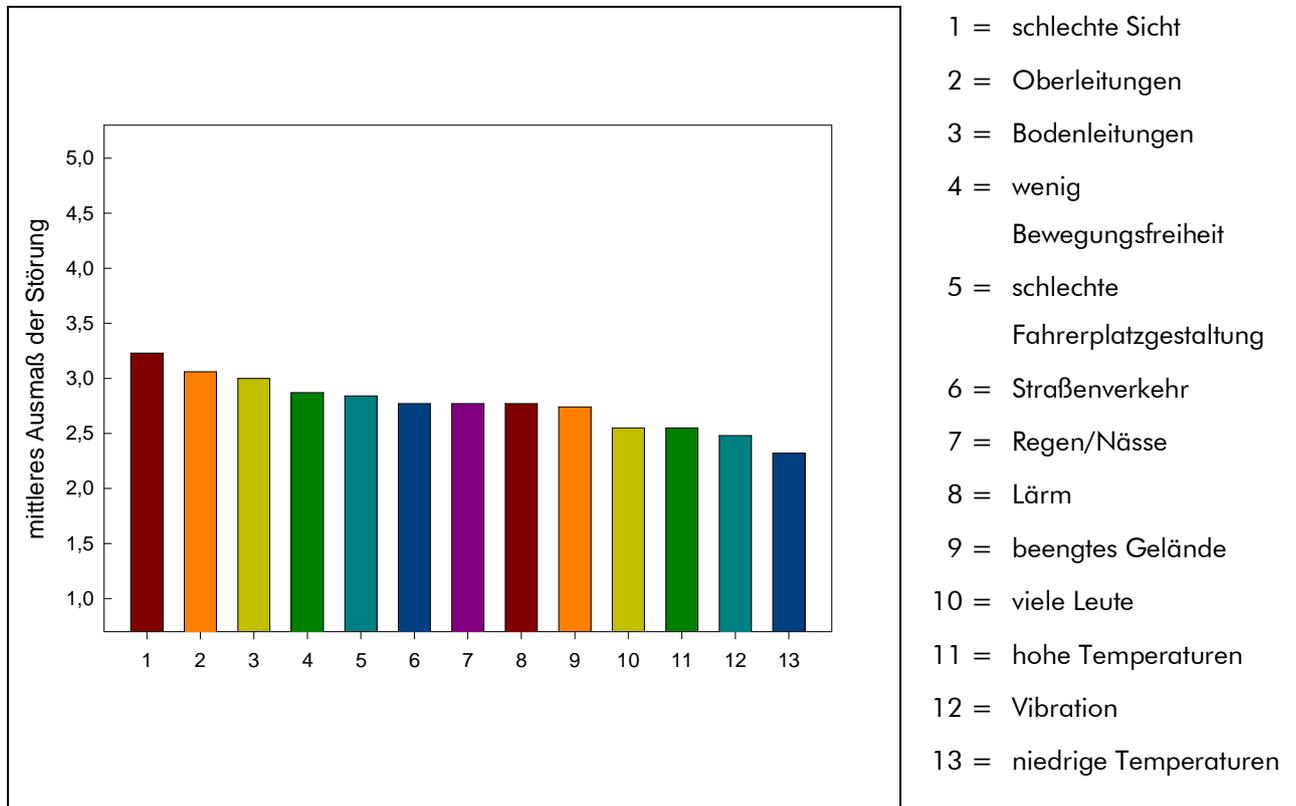
Untersuchung	vormittags	nachmittags
Herstellergelände	70,83	nicht erhoben
Baustelle 1	97,20	90,20
Baustelle 3	73,44	70,94
Baustelle 4	96,10	92,94

4.7.3 Ergebnisse der Befragung

Die Maschinenführer sollten anhand einer 5-stufigen Ratingskala (von 1 = „überhaupt nicht störend“ bis 5 = „sehr stark störend“) einschätzen, wie störend sie unterschiedliche Umgebungsfaktoren bei der Arbeit mit Erdbaumaschinen finden. Abbildung 4.9 (siehe S. 87) zeigt die Ergebnisse. Kein Umgebungsfaktor wird im Mittel als „stark störend“ oder „sehr stark störend“ eingeschätzt. Am stärksten (Mittelwert von 3,23) stören schlechte Sichtverhältnisse. Ober- sowie Bodenleitungen sind ebenfalls relativ stark störend. Vibration sowie niedrige Temperaturen werden als am wenigsten störend eingeschätzt. Dies ist vermutlich auf technische Einrichtungen wie vibrationsarme Fahrersitze oder Heizungen in der Fahrerkabine zurückzuführen.



Abbildung 4.9:
Die mittlere Einschätzung der Störung durch Umgebungsfaktoren (1 = überhaupt nicht störend; 5 = sehr stark störend)





5 Diskussion

5.1 Beurteilung des Status quo

Zur Formgestaltung von MFST und der darauf integrierten Bedienelemente sind in der Literatur kaum spezifische Angaben zu finden. In der Praxis werden jedoch allgemeine ergonomische Gestaltungsgrundsätze berücksichtigt, so dass die Griffgestaltung in der Regel positiv zu bewerten ist:

- Die meisten Griffe sind von schlichter, ellipsoider Form;
- häufig gibt es eine höhenverstellbare Handkantenauflage;
- das Oberflächenmaterial ist rutschfest und gering wärmeleitend.

Zusätzlich kommen vereinzelt unterschiedlich geformte Griffe für die rechte und für die linke Hand vor.

Für die Anordnung von Bedienelementen speziell auf MFST gibt es ebenfalls keine expliziten Gestaltungshinweise. Es sind weder Greifbereiche und somit Angaben für die Anordnung noch Abstandsmaße für die einzelnen Bedienelemente auf MFST zu finden. Hier muss auf sehr allgemeine in der Literatur zu findende Hinweise über Taster, Schieber, Wippen etc. zurückgegriffen werden (siehe Abschnitt 2.1). Bei den in den Untersuchungen vorgekommenen MFST waren vor allem zwei Punkte auffällig:

- Nicht alle Bedienelemente liegen in den Greifbereichen für Zeigefinger oder Daumen.
- Manche Bedienelemente sind so angeordnet, dass sie genau im Bereich der Ruhelage des Daumens oder Zeigefingers liegen und somit leicht versehentlich ausgelöst werden können.

Auf der BAUMA 2001 war zu sehen, dass die Bedienelemente auf den MFST oft weder in Form oder Material noch farblich voneinander zu unterscheiden waren. Dadurch werden visuelle oder taktile Rückmeldungen an den Nutzer erschwert. Gerade die haptische Differenzierung der Bedienelemente ist bei der Tätigkeit eines Erdbaumaschinenführers wichtig, da der Blick aus der Baumaschine heraus auf das Arbeitsum-



feld und nicht auf die Bedienelemente gerichtet ist. Die Befragung ergab jedoch, dass die meisten Maschinenführer mit der Anordnung und Unterscheidbarkeit der Funktionen zufrieden sind.

Zusätzlich zu den beschriebenen Erkennungsmerkmalen müssen die Bedienelemente in den Kabinen z.B. durch Piktogramme, Bilder oder Beschriftungen erläutert werden.

Die genannten Faktoren können insbesondere dann eine Rolle spielen, wenn der Maschinenführer im Umgang mit einem bestimmten MFST noch ungeübt ist. Sobald er an ein Stellteil ausreichend gewöhnt ist, sind taktile Rückmeldungen eventuell gar nicht mehr so wichtig und haben nur eine unterstützende Wirkung. Die Untersuchungen und die Befragung zeigen auch, dass nur wenige Maschinenführer die Maschinen so häufig wechseln, dass wieder neue Eingewöhnungsphasen anstehen.

Bei den untersuchten Maschinen wurde die Zahl von insgesamt acht ZFE nicht überschritten, in der Befragung wurde nur in einem Fall eine Maschine mit neun ZFE beschrieben. Die eigentliche Frage des Projektes nach der Anzahl der noch beherrschbaren ZFE kann nach den durchgeführten Untersuchungen nicht sicher beantwortet werden. Es zeigte sich lediglich, dass die bei den untersuchten Baumaschinen vorkommenden Mengen an ZFE gut beherrschbar waren. Die derzeit in Baumaschinen realisierte Anzahl der Stellteilmfunktionen wurde von dem weit überwiegenden Teil der Befragten auch als angemessen beurteilt. Nur ein geringer Teil der Befragten wünschte sich mehr oder weniger als die vorkommenden ZFE.

Um zu einer allgemeinen Aussage bezüglich der Anzahl der noch beherrschbaren ZFE zu gelangen, müssen neben der Anzahl immer noch andere, die Sicherheit beeinflussende Faktoren im Blick bleiben:

- das Risikopotenzial jeder einzelnen abgelegten Zusatzfunktion
- wie wird die ZFE realisiert, durch Bedienen eines Bedienelements, Neubelegung einer MFST-Richtung oder in Kombination mit einem Taster an der Konsole oder einem Pedal
- die genaue Anordnung der Zusatzfunktionen zueinander



- die Nutzungshäufigkeit jeder ZFE.

Auch die Kompatibilität wird von den meisten Maschinenführern als gut realisiert angegeben. Das Schwenken des Oberwagens um 180° bereitet nur wenigen Befragten Probleme, weshalb hier die Einhaltung der Kompatibilität nicht erzwungen werden sollte. Es ist sogar festzustellen, dass die Nichteinhaltung des Kompatibilitätsprinzips in diesem Fall sicherer ist (siehe Abschnitt 5.2).

Nicht nur in den Untersuchungen, auch nach Aussage der Befragten scheinen in der Regel wenig Bedienfehler aufzutreten. Sie können jedoch vorkommen und wurden von den Maschinenführern benannt: Fehler passieren vor allem in kritischen Situationen, die z.B. durch Umgebungsfaktoren wie Erdleitungen oder Personen im Arbeitsumkreis bedingt sind. Auch Missverständnisse bei der Verständigung können zu Fehlreaktionen führen.

Bei der Mehrzahl der Maschinenführer gibt es Tätigkeiten, die nicht automatisiert ablaufen, d.h. es ist eine bewusste Informationsverarbeitung notwendig und es werden mehr Verarbeitungsressourcen in Anspruch genommen. Dies führt zu einer (subjektiv) höheren Beanspruchung der Maschinenführer und kann auch zu Fehlern führen. Vor allem die seltene Verwendung bestimmter Funktionen sowie der Maschinenwechsel können hier Probleme bereiten. Auch wenn für einen Arbeitsgang mehrere Bedienfunktionen gleichzeitig ausgeführt werden müssen, ist eine bewusste Steuerung notwendig.

In den gesamten Untersuchungen ist lediglich ein Bedienfehler aufgetreten. Dieses Ergebnis kann unterschiedliche Ursachen haben:

- Die Anzahl der ZFE auf derzeit existierenden Erdbaumaschinen ist so klein, dass sie in jedem Fall noch sicher vom Maschinenführer beherrscht werden.
- Der größere Teil der vorkommenden ZFE wird so selten benutzt, dass kritische Situationen – wenn überhaupt – nur selten vorkommen.
- Die Arbeitsaufgaben bei den Untersuchungen waren zu einfach und damit zu wenig beanspruchend.



- Die Maschinenführer waren bei allen Untersuchungen hoch geübt.
- Es kamen Fehler vor, die in der Auswertung nicht erfasst worden sind.

Bei den sieben Personen, bei denen die Belastung, Monotonie und Sättigung über den Tag gemessen wurde, zeigten sich keine Veränderungen über den Tag. Generell waren die Werte für die gemessenen Parameter relativ niedrig. Allerdings sollten diese Ergebnisse nicht überinterpretiert werden: Zum einen war die Anzahl der untersuchten Personen nicht sehr groß und es wurde nur einen Tag lang gemessen. Zum anderen waren alle diese Personen sehr geübt.

Generell waren die Befragten in der Lage, eine Reihe von Situationen anzugeben, die besonders ermüdend oder monoton waren bzw. in denen Stress empfunden wurde. Hier ist für die Fragestellung des Projekts der Hinweis wichtig, dass nicht ergonomisch gestaltete Handgriffe ermüdend sind. Auf eine entsprechende Gestaltung, wie in Abschnitt 2.1 zusammen gestellt, sollte also geachtet werden. Außerdem wurden hohe Außentemperaturen und Baumstellenlärm als ermüdend bzw. stresserzeugend bezeichnet. Hier können organisatorische und ggf. technische Verbesserungen Abhilfe schaffen. Als weiterer Stress bedingender Faktor wurde die Arbeitsorganisation genannt: gleichzeitig mehrere Arbeitsaufträge ausführen müssen, Wartezeiten, Tätigkeiten ohne Wechsel. Hinsichtlich der Umgebungsfaktoren wurden vor allem schlechte Sicht und Ober- und Erdleitungen als störend eingeschätzt.

5.2 Vorschläge zur Optimierung

In Kapitel 4 wurden die MFST der in die Untersuchungen einbezogenen Radlader und Bagger bezüglich ihrer ergonomischen Gestaltung bewertet. Im Folgenden werden Vorschläge aufgezeigt, wie die aufgelisteten Gestaltungsschwächen möglicherweise behoben werden könnten. Dabei ist anzumerken, dass diese Vorschläge durch theoretische Überlegungen entstanden sind und nicht durch weitere Untersuchungen abgesichert wurden.

Folgender Gestaltungsvorschlag gilt für das MFST des Radladers (Abbildung 5.1, siehe Seite 92):



- ❑ Die Taster für die Vorwahl der Fahrtrichtung sind miteinander getauscht und in der Form von Pfeilen ausgeführt.
- ❑ Bei den Tastern für das Hoch-/ Runterschalten (+ und -) wurde ebenfalls die Form der Funktion angepasst und die Lage getauscht. Durch diese Anordnung und Formgebung werden eine bessere Kompatibilität und die haptische Unterscheidbarkeit erreicht. Natürlich darf keine neue Kante entstehen, die bei Dauernutzung zu Druckstellen am Daumen führt.
- ❑ Der Taster für die Neutralstellung (N) wird nur selten genutzt und kann deshalb in einen Bereich verschoben werden, der vom Daumen schlechter erreicht wird.
- ❑ Weiterhin ist es sinnvoll, den Taster zur Auslösung der Hupe im Zeigefingerbereich des MFST (d.h. auf der Rückseite) anzuordnen. Dadurch ist es dem Fahrer möglich, andere Personen zu warnen, ohne dabei die Hand vom MFST lösen zu müssen.
- ❑ Eine höhenverstellbare Handkantenauflage sollte relativ einfach zu realisieren sein.

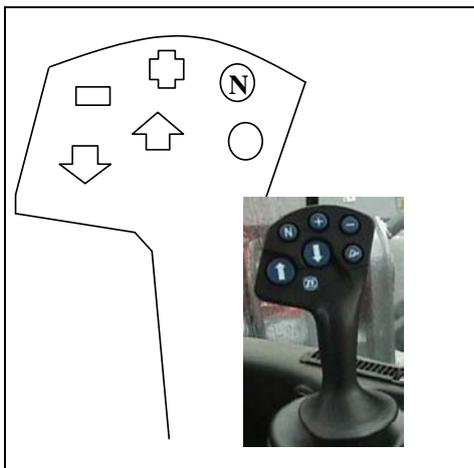


Abbildung 5.1:
MFST des Fa1-Radladers (Photo) im Vergleich zu
einem Gestaltungsvorschlag (Schema)

Im Folgenden werden Gestaltungsvorschläge für die MFST der Bagger diskutiert, die sich im Laufe des Projekts insbesondere mit den Herstellern der Baumaschinen und den Maschinenführern ergeben haben (siehe auch Abbildung 5.2, Seite 95):

- ❑ Bei den Baggern der Fa2 entsprach die Vorwahl „Vorwärtsfahren“ dem Drücken eines Kippschalters auf der MFST-Rückseite nach unten, die Vorwahl „Rückwärtsfahren“ entsprechend nach oben.
Als kompatiblere Lösung wurde im Laufe des Projekts diskutiert, die ZFE „Vorwahl der Fahrtrichtung“ in Form eines separaten Bedienhebels an der Lenksäule des Baggers anzubringen. Bei Baggern anderer Firmen (z.B. Fa3, siehe Anhang 5) ist solch ein separater Bedienhebel realisiert. Allerdings gab und gibt es auch hier



immer wieder Beanstandungen hinsichtlich der Verwechslung mit z.B. dem Blinker etc. Des Weiteren besteht die Gefahr der unbeabsichtigten Betätigung durch Körperteile (z.B. Knie), bei Verstellen des Sitzes, beim Ein- und Ausstieg. Darüber hinaus zeigen die Erfahrungen der TBG, dass die Anordnung eines separaten Bedienhebels ergonomisch zu größeren Belastungen führen kann, weil sich die Maschinenführer bei der Bedienung leicht vorbeugen müssen. Hier gibt es bisher also keine eindeutig gute Lösung.

- Festzustellen bleibt, dass eine grundlegende Eigenschaft eines Baggers durch die Schwenkmöglichkeit des Oberwagens gegenüber dem Unterwagen um bis zu 360° gegeben und in vielen Fällen auch zwingend notwendig ist. Dass hieraus eine Umkehr der zugeordneten Bedienelemente (Vorwärts- Rückwärtsfahren, Lenkung links/rechts) resultiert, ist bekannt und stellt in der Regel für eingearbeitete Maschinenführer kein Problem dar. Eine Signifikanz der Unfallstatistik ist nicht gegeben. Man ist deshalb von der bereits seit vielen Jahren immer wieder diskutierten Idee, hier automatisierte Umschaltungen einzuführen, längst wieder abgekommen. Eine solche automatisierte Umschaltung würde nämlich zu neuen Problemen führen:

- Wann (bei welchem Schwenkwinkel) sollte die Umschaltung erfolgen?
- Welche Priorität der Umschaltung sollte dem System zu Grunde gelegt werden? Gleichzeitiges Verfahren der Maschinen und Schwenken des Oberwagens würde bei so einem Automatismus eine Zerstörung oder eine wesentlich erhöhte Gefährdung zur Folge haben. Auch eine Realisierung des automatischen Umschaltens in der Form, dass dies erst nach Stillstand der Maschine erfolgt, schafft hier keine Verbesserung. Der Maschinenführer hätte nach dem Stillstand noch die vorherige Fahrtrichtung im Kopf und würde dann nach Stillstand und automatischem Umschalten falsch reagieren. Eine Großzahl der geübten Maschinenführer würden folglich durch eine automatisierte Umschaltung in mehr gefährliche Situationen gebracht werden.

Fazit ist also, dass es gegenüber der derzeit realisierten Technik des Oberwagen-Schwenkens keine Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf die Kompatibilität gibt.

- Lediglich ein Fehler ereignete sich bei der Nutzung des Baggers mit acht ZFE. Dieser Fehler trat beim Einsatz von ZFE auf, die durch Umschalten einer MFST-Richtung realisiert waren. Im beschriebenen Fall vergaß der Maschinenführer, von der Nutzung des Auslegerschwenklagers auf die des Löffels umzuschalten. Das Umschalten und neue Belegen von MFST-Bewegungsrichtungen mit einer oder sogar mehreren unterschiedlichen ZFE kann zu gefährlichen Situationen führen. Auch wenn das Umschalten durch ein zusätzliches optisches Signal in der Konsole angezeigt wird, ist die Gefahr gegeben, dass dem Maschinenführer die aktuell genutzte Zusatzfunktion nicht bewusst ist. Im Falle von selten benutzten ZFE wäre der Einbau eines gesonderten Stellteils, z.B. Kreuzschalthebels möglicherweise günstiger als die Belegung zusätzlicher Ebenen. Dadurch würde eine klare Trennung von GFE und ZFE unterstützt und somit die Sicherheit erhöht.



Muss ein Bedienelement dauerhaft gedrückt bleiben, um die Zusatzfunktionen in der anderen Ebene zu betätigen, ist die Gefahr auf jeden Fall geringer. Dann ist bei häufiger Nutzung allerdings auch die Belastung der Finger höher.

- ❑ „Greifer drehen“ bzw. „Schnittwinkelverstellung des Böschungslöffels“ war in den Untersuchungen die am häufigsten genutzte ZFE. Sie wurde dort ähnlich häufig betätigt wie die GFE. Häufig genutzte ZFE sollten, wie für das genannte Beispiel bei den meisten Baggern realisiert, im Daumenbereich angeordnet sein. Zusätzlich ist es aus Gründen der Informationsverarbeitung günstig, wenn alle Bedienelemente, die mit den Funktionen derselben ZFE verknüpft sind, räumlich eine Einheit bilden. Bedeuten die Einzelfunktionen allerdings Bewegungen nach rechts und links, kann auch die Verteilung der entsprechenden Bedienelemente auf das rechte und linke MFST eine kompatible Lösung sein (z.B. Schnittwinkelverstellung des Böschungslöffels beim Bagger von Fa3).
Bei häufig genutzten ZFE wären weitere Untersuchungen interessant, wie jeweils eine möglichst kompatible Lösung aussehen könnte.
- ❑ Von einigen Maschinenführern wurde in der Befragung der Wunsch geäußert, zusätzlich die Hupfunktion auf dem MFST z.B. in Form eines Tasters im Zeigefingerbereich zu platzieren. Bei Gefahrensituationen kann der Maschinenführer so andere Personen warnen, ohne den MFST-Griff loslassen zu müssen.
- ❑ Für eine effektive Maschinenbedienung wäre darüber hinaus die Integration der Funktion „Powerboost“ (kurzzeitige Erhöhung der Maschinenleistung) und der Bedienung einer Sonderausrüstung wie Hammer o.ä. in das MFST denkbar. Beide ZFE könnten als Taster im Zeigefinger- oder Daumenbereich angeordnet werden.
- ❑ Das Schwenken des Oberwagens könnte durch zusätzliche Signale angezeigt werden. Die Maschinenführer lehnen jedoch akustische Signale eher ab.

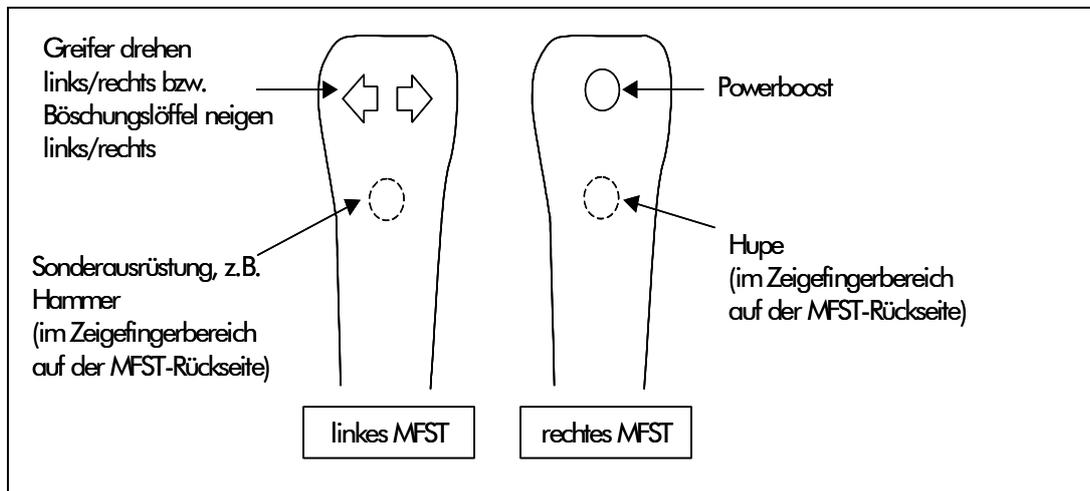
Die Abbildung 5.2 (siehe Seite 95) zeigt einen Vorschlag für die sinnvolle Anordnung von ZFE auf MFST bei Baggern, in den einige der oben genannten Diskussionspunkte einfließen.

Wichtig wäre, dass – abhängig von der Nutzungshäufigkeit - die Verteilung der auf dem MFST abgelegten ZFE weitestgehend und zumindest langfristig vereinheitlicht werden könnte (siehe Abschnitt 5.3). Eine Vereinheitlichung würde besonders für die Maschinenführer mehr Sicherheit schaffen, die regelmäßig zwischen Maschinen unterschiedlicher Hersteller wechseln. Bei ihnen kommt es zu einer erhöhten Inanspruchnahme der Ressourcen für die Informationsverarbeitung, wenn die ZFE bei den unterschiedlichen Maschinen auch jeweils anders angeordnet sind. Das erhöht wiederum die Wahrscheinlichkeit für Bedienfehler.



Abbildung 5.2:

Vorschlag für die Belegung der MFST bei Baggern mit ZFE. Dieser Vorschlag geht davon aus, dass die ZFE „Vorwahl Fahrtrichtung“ und eher selten benutzte ZFE auf separaten Kreuzschalthebeln untergebracht werden



Über die Gestaltung des MFST und seine Belegung mit Funktionen hinaus gibt es Hinweise, die zu einer größeren Sicherheit im Umgang mit den Maschinen führen könnten:

- Vor allem in kritischen Situationen kommt es eher zu Fehlbedienungen. Immer wieder vorkommende kritische Situationen sollten weiter analysiert werden. Die Frage ist, welche Möglichkeiten es gibt, kritische Situationen zu entschärfen, zu vermeiden oder zumindest die Verständigung zu verbessern, z.B. durch vereinheitlichte Verständigungssignale.
- Weiter könnten technische Optimierungsmöglichkeiten überlegt werden, um z.B. hohe Außentemperaturen oder Baustellenlärm abzuschirmen. Zu diesen Punkten ist technisch schon viel realisiert worden.
- Auch die Arbeitsorganisation kann verbessert werden, um z.B. Wartezeiten im Arbeitsablauf zu reduzieren oder Tätigkeitswechsel zu bewirken.
- Einschränkungen der Sicht des Maschinenführers können eventuell durch Gestaltungsänderungen der Baumaschine verringert werden. Beispielsweise kann eine gute Sicht auf die Baugrube oder in den Graben dadurch erreicht werden, dass Bauteile (wie die Motorhaube) entsprechend abgeschrägt werden, um den Sichtwinkel zu optimieren.



- ❑ Auch genügend Bewegungsfreiheit in der Fahrerkabine und eine gute Fahrerplatzgestaltung sind wichtige Sicherheitsaspekte, die in den untersuchten Maschinen bereits gut gelöst waren. Angaben hierzu gibt es in der ISO 3411 [7].

5.3 Anregungen für die Normung

5.3.1 Grund- und Zusatzfunktionen

Der seit April 2002 vorliegende und zur Abstimmung stehende Entwurf der überarbeiteten ISO 10968 [1] behält zwar die Begriffe „Primary control“ und „Secondary control“ bei, führt darüber hinaus aber „Multifunctional control“, „Basic function“ und „Additional function“ ein. Diese entsprechen in etwa den hier in der Studie verwendeten Begriffen „Multifunktionsstellteil“, „Grundfunktion“ und „Zusatzfunktion“. Möglicherweise wären die in Abschnitt 1.3 dieser Studie genutzten Definitionen auch für die Norm verwendbar. Die derzeit laufende Revision der ISO 10968 [1] geht auf diesen Punkt ein.

In dem vorgelegten Entwurf ist ein Diagramm in den normativen Text eingefügt worden, anhand dessen die Richtungen der Grundfunktionseinheiten erläutert werden. Im normativen Anhang wird ausgeführt, welche Funktionen durch diese Bewegungen des MFST genau ausgelöst werden. Beispielanordnungen sind Inhalt eines informativen Anhangs. Es sollte überlegt werden, inwieweit dieser informative Anhang in einen normativen übernommen werden kann.

Zusatzfunktionen sind schwerer eindeutig zu definieren, da sie von vielen Faktoren wie z.B. der angestrebten Maschinenfunktionalität und dem Maschinendesign des Herstellers, von den Kundenwünschen und den Arbeitsaufgaben bestimmt werden. Man könnte sie deshalb auch abweichend von Abschnitt 1.3 sehr einfach folgendermaßen definieren: „Zusatzfunktionen sind alle auf dem Multifunktionsstellteil integrierten Funktionen, die keine Grundfunktionen sind.“

Zwei Punkte sollen in Bezug auf ZFE besonders erwähnt werden:



1. Im Interesse der Arbeitssicherheit wäre auch hier eine vereinheitlichte Anordnung und Gestaltung – zumindest der häufig genutzten – ZFE anzustreben. Solch eine Vereinheitlichung ist bei Zusatzfunktionen schwieriger zu erreichen als bei Grundfunktionen, da die an Erdbaumaschinen gleichen Typs vorkommenden Zusatzfunktionen sehr unterschiedlich sein können. Darüber hinaus sind die Kombinationen von Zusatzfunktionen durch z.B. Umrüsten der aktuellen Arbeitseinrichtung an der Erdbaumaschine fast beliebig variierbar. Zuerst müsste also zusammen gestellt werden, welche ZFE in Abhängigkeit von Maschinentypen am häufigsten genutzt werden und in welchen Kombinationen. Anschließend könnte das Normungsgremium diskutieren, wie weit eine Vereinheitlichung der Anordnung dieser häufig genutzten Funktionen und eine Festlegung der Kombinationen sinnvoll sind.
2. Im neuen Entwurf ist das Umschalten und neue Belegen einer MFST-Richtung mit einer ZFE auf einer anderen Ebene erlaubt, wenn der Maschinennutzer durch ein zusätzliches Signal auf das Umschalten aufmerksam gemacht wird. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Richtungsbewegungen der MFST möglichst nur mit Grundfunktionen verbunden sein sollten. Auch hier sollte überlegt werden, normativ eine Grenze für die Anzahl der belegbaren Ebenen einer Richtung anzugeben.

Die Standardisierung von Anordnung und Belegung der ZFE ist nur dann sinnvoll, wenn sie in Abhängigkeit von deren Risikopotenzial erfolgen kann. „Risiko“ ist definiert als Produkt aus Nutzungshäufigkeit und Gefährdungspotenzial. Die Nutzungshäufigkeiten der in den durchgeführten Untersuchungen vorgekommenen GFE und ZFE sind bestimmt worden. Ein Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen ist z.B. die Erkenntnis, dass die GFE um ein Vielfaches mehr genutzt wurden als die ZFE. Um auch das Gefährdungspotenzial quantitativ bestimmen zu können, müsste hierfür ein objektiver Maßstab entwickelt werden. Die Entwicklung eines solchen Maßstabs und dadurch die Bestimmung des Risikos wäre sicherlich eine Hilfe für Normungsfragen und könnte somit ein lohnendes Ziel weiterer Untersuchungen sein.



5.3.2 Ergonomische Gestaltung der MFST

Es wird vorgeschlagen, die Gestaltungsempfehlungen in ISO 10968 [1] systematischer zu strukturieren. Dabei sollten grundlegende ergonomische Anforderungen an MFST (Gestaltungsgrundsätze) in die Norm aufgenommen werden. Als Vorbild könnte die Norm zu ergonomischen Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen auf Maschinen, DIN EN 894-3:2000 [32], dienen. In ihr werden nach einem Definitionsteil

- Auswahlverfahren für den Einsatz und die Dimensionierung der Stellteile,
- Festlegungen zur Aufgabenbewertung und Informationserfassung und
- Angaben für die Gestaltung von Stellteilen

unter Berücksichtigung der Arbeitsaufgaben dargestellt. Bei der Gestaltung der Stellteile geht die genannte Norm auf Maße, Stellkräfte und Stellmomente, die Anordnung der Stellteile mit Bezug auf den Operator und auf visuelle Anzeigen sowie auf die Kompatibilität von Stellbewegungen und Anzeigen ein.

Eine grundsätzliche Empfehlung über die maximale Anzahl von Zusatzfunktionen je MFST kann aus der vorliegenden Studie nicht abschließend abgeleitet werden. In den Untersuchungen kamen Bagger mit maximal acht ZFE vor. Diese Anzahl konnte von dem gut ausgebildeten Maschinenführer auf dem Herstellergelände bei der konkreten Maschinenkonfiguration noch sicher gehandhabt werden. Auch die Ergebnisse aus der Befragung lassen die im neuen Normentwurf angegebene Begrenzung auf „4 additional control mechanisms“ sinnvoll erscheinen. Nicht definiert ist allerdings, ob „control mechanisms“ technisch oder funktional verstanden werden sollen, d.h. ob Bedienelemente oder ZFE gemeint sind. Hier wäre die Festlegung auf ZFE wünschenswert. Der Frage der Begrenzung sollte möglichst noch in weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen nachgegangen werden.

Die im Laufe des Projekts entwickelte ergonomische Checkliste zur Einschätzung der Gestaltung von MFST könnte als informativer Anhang zur Unterstützung der Hersteller in die Norm aufgenommen werden. Diese Checkliste hat sich bei den durchgeführten



Untersuchungen insbesondere dadurch bewährt, dass sie eine gezielte Aufdeckung von Gestaltungsmängeln ermöglicht.

In Abschnitt 5.2 wurden für Bagger und Radlader detaillierte Optimierungsvorschläge aufgeführt. Dieser Vorschlagkatalog kann dem Normungsgremium als Grundlage für Diskussionen zu Festlegungen in ISO 10968 [1] dienen, darüber hinaus aber auch Herstellern Hinweise zur Gestaltung von und Funktionsbelegung bei MFST geben.



6 Ausblick

6.1 Inhalte weiterer möglicher Untersuchungen

Im Laufe der Studie haben sich an einigen Punkten Fragestellungen aufgetan, die Gegenstand weiterer Untersuchungen sein könnten, um die Arbeitssicherheit beim Umgang mit Erdbaumaschinen zu vergrößern:

1. Es wäre sicherlich interessant, die vorgeschlagenen Verbesserungen zur Gestaltung der MFST selbst, aber auch zur Anordnung und Belegung der auf ihnen integrierten Bedienelemente in der Realität oder einem Modell testen zu können. Dies betrifft insbesondere die Anordnung und Gestaltung häufig genutzter Funktionseinheiten bzw. Bedienelemente.
2. Die in dieser Studie vorgenommenen Untersuchungen sind Einzelfallstudien, die nicht zu einer statistischen Absicherung der Ergebnisse führen konnten. Ziel der vorliegenden Studie war vorrangig, möglichst praxisnahe Untersuchungen zu fahren. Dazu war es günstig, direkt die Arbeitsgänge auf Baustellen aufzuzeichnen. Auf den Baustellen hatten allerdings viele unterschiedliche Störvariablen Einfluss auf den Ablauf der Arbeitsgänge. Darüber hinaus variierten diese Variablen stark. Es wäre also spannend, eine Modellanlage so aufzubauen, dass unter konstanten Bedingungen Arbeitsgänge so oft wiederholt werden können, dass statistische Aussagen und damit wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse erreicht werden.
3. Eine grundsätzliche Empfehlung über die maximale Anzahl von ZFE je MFST konnte aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie nicht abschließend abgeleitet werden. Auch dieses Problem könnte mit Simulationsexperimenten unter Laborbedingungen gelöst werden. Bei Simulationsexperimenten können darüber hinaus ungeübte Probanden eingesetzt werden, um risikobehaftete Einarbeitungsprozesse bzw. Umorientierungen beim Wechsel von Ausrüstungen zu untersuchen. Weiterhin könnten künftige Entwicklungen simuliert und damit ein Forschungsvorlauf erreicht werden.



6.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete

Kapitel 2 hat gezeigt, dass Stellteile nicht nur bei Erdbaumaschinen vorkommen. Der Schwerpunkt liegt sicherlich bei mobilen Maschinen, insbesondere im forst- und landwirtschaftlichen Umfeld. Hier werden die MFST häufig im Zusammenspiel mit großen Armaturen und Konsolen genutzt.

Aber auch bei der Steuerung stationärer Maschinen kommen MFST in Kombination mit Anzeigen zur Anwendung. Letztlich ist hier eine ähnliche Fragestellung relevant wie die, die dem vorliegenden Projekt zugrunde lag: Wie viele Signale kann ein Bediener der Maschine gleichzeitig wahrnehmen und noch zuverlässig auf sie reagieren. Ebenso sind die Kriterien zur ergonomischen Beurteilung solcher Schaltkonsolen gleich: Auch hier geht es um die sinnvolle Anordnung der Bedienelemente in den unterschiedlichen Reichweiten des Anwenders, um Kompatibilitätskriterien, haptische, visuelle und akustische Rückmeldungen etc.

Somit liefern die in der vorliegenden Studie erhaltenen Ergebnisse Hinweise über MFST an Erdbaumaschinen hinaus für die Tätigkeitsfelder anderer Branchen und Berufsgenossenschaften. Eine Präsentation und die anschließende außerordentlich rege Diskussion der Ergebnisse dieses Projekts im Fachgespräch „Maschinensicherheit“ 2001 im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BIA stützen diese Feststellung.



7 Literaturverzeichnis

- [1] ISO 10968: Erdbaumaschinen – Stellteile. Beuth, Berlin 1995
- [2] ISO/DIS 10968: Erdbaumaschinen - Stellteile (Überarbeitung von ISO 10968:1995). Beuth, Berlin 2002
- [3] DIN EN 60447: Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMI); Bedienungsgrundsätze (IEC 60447:1993); Deutsche Fassung EN 60447:1993. Beuth, Berlin 1994
- [4] *Schmidtke, H.*: Lehrbuch der Ergonomie. 2. Aufl. Carl Hauser, München 1981
- [5] *Ardey, G.*: Cockpitgestaltung in der Allgemeinen Luftfahrt, Dissertation Technische Universität Braunschweig 2000
- [6] DIN EN ISO 9241-10: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-10:1996); Deutsche Fassung EN ISO 9241-10:1996. Beuth, Berlin 1996
- [7] EN ISO 3411: Erdbaumaschinen - Maschinenführer - Körpermaße - Mindest-Freiraum (ISO 3411:1995). Beuth, Berlin 1995
- [8] EN ISO 6682: Erdbaumaschinen - Stellteile - Bequemlichkeitsbereiche und Reichweitenbereiche (ISO 6682:1986, einschließlich Änderung 1:1989); Deutsche Fassung EN ISO 6682:1995. Beuth, Berlin 1995
- [9] *Sachs, S.; Teichert, H.-J.; Rentzsch, M.*: Ergonomische Gestaltung mobiler Maschinen. Handbuch für Konstrukteure, Planer, Ergonomen, Designer und Sicherheitsfachkräfte. ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech 1994
- [10] *Bullinger, H.-J.*: Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart 1994
- [11] *Bullinger H.-J.; Solf, J. J.*: Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung. I Systematik. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund, Fb 196, 1979



- [12] *Schmidtke H.; Rühmann, H.-P.*: Ergonomische Gestaltung von Steuerständen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 191, 1980
- [13] *Kirchner J.-H.; Baum E.*: Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsgestalter. Neuauflage von Mensch-Maschine-Umwelt. Carl Hauser Verlag, München 1990
- [14] *Speck, J.*: Erdbaumaschinen. Analyse der Gefährdungen, Perspektiven für die sicherheitstechnische Gestaltung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 758, 1997
- [15] Profi, Magazin für Agrartechnik,
Willmer, H.: Profi-Technik. Multifunktionsgriffe von Mähdreschern: Alles im Griff? 1 (1999), S. 60-64
Eikel, G.: Profi-Fahrbericht. Exklusiver Fahrbericht Krone Feldhäcksler Big X: Gefürchteter Prototyp. 12 (2000), S.30-33
- [16] DIN 33402-2: Körpermaße des Menschen; Werte. Beuth, Berlin 1986
- [17] *Bernhard, O.; Locher, M.*: Joysticks im Test. Chip (Computermagazin), Januar (1999), S.110 ff.
- [18] Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 207/1 vom 23.7.98
9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz: Maschinenverordnung (9. GSGV), Zitierdatum: 12. Mai 1993. BGBl I 1993, 704, Stand: Änderung durch Art. 6 V v. 28.9.1995 I 1213
- [19] *Eckstein, L.*: Sidesticks im Kraftfahrzeug – ein alternatives Konzept oder Spielerei? DaimlerChrysler AG, Sindelfingen 1999/2000
- [20] *Sterr, M.*: Sicherheit und Komfort. In: Hebezeuge und Fördermittel, Special Flurförderzeuge, Berlin 2001



- [21] *Neuf, O.*: Prävention von Muskel- und Skelett-Erkrankungen durch ergonomisch gestaltete Maschinen. In: Europäischen Woche für Sicherheit und Gesundheit Oktober 2000 „Gemeinsam gegen Muskel-Skelett-Erkrankungen“. Hrsg.: Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Bilbao, 2000
- [22] *Sanders, A.F.*: Stage analysis of reaction processes. In: *Stelmach, G., Requin, J.* (Hrsg.): *Tutorials in motor behavior*. North-Holland, Amsterdam 1980, S. 331-354
- [23] *Rammsayer, T.; Hackstein, N.*: Reaktionszeitmessung mit dem Joystick auf dem PC. *Psychologische Beiträge* 32 (1990), S. 347-360
- [24] *Anderson, J.R.*: *Kognitive Psychologie*. 2. Aufl. Spektrum-Verlag, Heidelberg 1996
- [25] *Navon, D; Gopher, D.*: On the economy of the human processing systems. *Psychological Review* 86 (1979) S. 254-255
- [26] *Wickens, C.D.*: *Engineering psychology and human performance*. 2. Aufl. Harper Collins, New York 1992
- [27] *Richter, P.; Debitz, U.; Schulze, F.*: Diagnostik von Arbeitsanforderungen und kumulativen Beanspruchungsfolgen am Beispiel eines Call Centers. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 56 (2002) S. 67-76
- [28] *Mave, J.H.*: Messungen von Schallimmissionen. In: *Lärm und Vibration am Arbeitsplatz*. Hrsg.: Institut für angewandte Arbeitswissenschaften. Wirtschaftsverlag Bachem 2000
- [29] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift: Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ (BGV B3, bisher VBG 121) vom 1. Januar 1990 in der Fassung vom 1. Januar 1997. Carl Heymanns, Köln
- [30] *Rau, R.*: Ambulantes psychophysiologisches Monitoring zur Bewertung von Arbeit und Erholung. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie* 42 (1998) S. 185-196



[31] *Fahrenberg, J.; Foerster, F.; Müller, W.*: Laboratory and field studies for improvement of ambulatory monitoring methodology. In: *Fahrenberg, J.; Myrtek, M.* (Hrsg.): *Ambulatory Assessment*. Hogrefe & Huber, Göttingen 1996, S. 237-255

[32] DIN EN 894-3: Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen - Teil 3: Stellteile; Deutsche Fassung EN 894-3:2000. Beuth, Berlin 2000



Anhang 1: Ergonomische Checkliste (Lastenheft)

ausgefüllt von:

Datum:

Maschinentypbezeichnung:

Bemerkung:

Multifunktionsstellteil: linker Joystick rechter Joystick

zu prüfende Merkmale entsprechend **9. GSGV** (dort s. Verweis auf Anhang I der Maschinenrichtlinie)*:

Prüfmerkmal	Prüfmethode	Soll	Ist
zweckmäßige Kennzeichnung	Sichtprüfung	vom Fahrerplatz aus erkennbar	
Kompatibilität der Funktionen	Funktionsprüfung, Sichtprüfung	nach ISO 10968 Anhang C	siehe Liste aus Anhang 2
zusätzliche Gefahren beim Betätigen des MFST (Quetschen o.ä.)	Funktionsprüfung	uneingeschränkte Betätigung über gesamten Stellbereich	
Anzeige der jeweiligen Steuerwirkung bei Mehrfachbelegung	Funktionsprüfung, Sichtprüfung	vorhanden	siehe Liste aus Anhang 2
Betätigung der MFST vom Fahrerplatz	Funktionsprüfung, Sichtprüfung	möglich	
Rückkehr der MFST in die Nulllage	Funktionsprüfung	selbstständig nach Loslassen	

* 9. GSGV = 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz: Maschinenverordnung



zu prüfende Merkmale entsprechend **Normen:**

Prüfmerkmal	Prüfmethode	Soll	Ist
Schnellwechseleinrichtung (Sicherung gegen unbeabsichtigtes Betätigen)	Funktionsprüfung	sicher gegen unbeabsichtigtes Betätigen	
Lage der MFST im Bequemlichkeitsbereich nach EN ISO 6682 Bild 1/2	Längenmessung	innerhalb des Bequemlichkeitsbereichs im ausgelenkten Zustand	
Nulllage des MFST	Winkelmessung	Lotabweichung < 30°	
Abstand der Stellteile für Zusatzfunktionen	Längenmessung	> 25mm	

zu prüfende Merkmale aus der **Literaturrecherche:**

Prüfmerkmal	Prüfmethode	Soll	Ist
Anordnung der MFST bezüglich des Fahrers	Sichtprüfung	symmetrisch	
verdeckte Anzeigen durch das MFST	Sichtprüfung (MFST auslenken)	keine Verdeckung	
bei Normalstellung der Hand bzw. Finger	Sichtprüfung	keine Berührung von Zusatzfunktionen	
Auflagefläche für Handkante am MFST	Sichtprüfung Funktionsprüfung	vorhanden höhenverstellbar	
MFST-Griff	Sichtprüfung Längenmessung	schlicht, ellipsoid 100 bis 120mm Ø 30 bis 38mm	
MFST-Oberfläche	Sichtprüfung, Funktionsprüfung	rutschfest gering wärmeleitend (Kunststoff) keine Profilierung	
Druckschalter/-taster Fingerbetätigung Daumenbetätigung	Längenmessung	Ø 12 bis 24mm Ø 20 bis 28mm	



Kipp-/Wippschalter Fingerbetätigung Daumenbetätigung	Längenmessung	Breite 20 bis 24mm Länge 40 bis 60mm Breite 23 bis 27mm Länge 50 bis 80mm	
Fingerschieber	Längenmessung	Breite 5 bis 12mm Länge 20 bis 8mm (Berührungsfläche ca. 100mm ²)	
Stellteile für Zusatzfunktionen (Taster, Wippen u.ä.)	Sichtprüfung	rutschfeste Oberflä- che, haptische Unter- scheidbarkeit	
Stellwege MFST Druckschalter/-taster Kippschalter Wippschalter Fingerschieber	Längenmessung	45° 2 bis 40mm 10 bis 40mm 4 bis 10mm 5 bis 25mm	

Merkmale zum Schutz gegen **unbeabsichtigtes Betätigen**:

Prüfmerkmal	Prüfmethode	Soll	Ist
Deaktivierung der MFST beim Ein-/Ausstieg	Funktionsprüfung	MFST deaktiviert	
unterschiedliche Gestalt nebeneinanderliegender Stellteile	Sichtprüfung	unterschiedliche Form, Abmessungen, Oberfläche o.ä.	
Stellteile für Zusatz- funktionen	Sichtprüfung, Funktionsprüfung	versenkter Einbau, Schutzkragen, Mindestauslösekraft, Entriegelungen ir- gendwelcher Art	
Kontaktsensor zur Aktivierung des MFST	Sichtprüfung, Funktionsprüfung	vorhanden	



Anhang 2: Funktionseinheiten des MFST

ausgefüllt

Datum:

von:.....

.....

Maschinentypbezeichnung:

.....

Bemerkung:

.....

Multifunktionsstellteil:

linker Joystick

rechter Joystick



Funktionseinheiten des MFST – Richtungen des Griffs

Stellteilbewegung	Nr.*	erste Ebene			zweite Ebene			dritte Ebene		
		Funktions- einheit	angezeigt durch	aktiviert durch	Funktions- einheit	angezeigt durch	aktiviert durch	Funktions- einheit	angezeigt durch	aktiviert durch
←•→										
↑ • ↓										

* Nr.: Joystick auf Rückseite skizzieren und Bedienelemente nummerieren


Funktionseinheiten des MFST – Belegung der Taster, Schalter etc.

Stellteil	Nr.*	erste Ebene			zweite Ebene			dritte Ebene		
		Funktions- einheit	angezeigt durch	aktiviert durch	Funktions- einheit	angezeigt durch	aktiviert durch	Funktions- einheit	angezeigt durch	aktiviert durch
Taster, Schalter, Wip- pen, Schieber u.a.										

Erläuterungen

- Funktionseinheit = z.B. vorwärts/rückwärts oder heben/senken
angezeigt durch = akustisches oder visuelles Signal, das parallel zur Aktivierung der Funktionseinheit ausgelöst wird
aktiviert durch = Voraussetzung zur Aktivierung des Stellteils, z.B. bestimmte Position



Anhang 3: Beanspruchungsfragebogen BMS

Datum: Uhrzeit: Ort:

Erdbaumaschine (Typ und Hersteller):

Bitte beschreiben Sie Ihr momentanes Befinden. Kreuzen Sie je Zeile die eine für Sie im Augenblick zutreffende Antwort an!

	trifft nicht zu	trifft wenig zu	trifft mittelmäßig zu	trifft überwiegend zu	trifft völlig zu
1. Fühlen Sie sich im Moment gut gelaunt ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Fühlen Sie sich im Moment energiegeladen ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Fühlen Sie sich im Moment unerfahren ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Fühlen Sie sich im Moment müde ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Fühlen Sie sich im Moment unterfordert ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Fühlen Sie sich im Moment unkonzentriert ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Fühlen Sie sich im Moment heiter ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Fühlen Sie sich im Moment unsicher ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Fühlen Sie sich im Moment frisch ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Fühlen Sie sich im Moment verärgert ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Fühlen Sie sich im Moment erschöpft ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Fühlen Sie sich im Moment nervös ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Fühlen Sie sich im Moment lustlos ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Fühlen Sie sich im Moment gereizt ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Fühlen Sie sich im Moment gehetzt ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Fühlen Sie sich im Moment entschlussfreudig ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Fühlen Sie sich im Moment gelangweilt ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Fühlen Sie sich im Moment entspannt ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Anhang 4: Befragung zur Gestaltung von Stellteilen (Joysticks) in Erdbaumaschinen (Bagger und Radlader)

Die Berufsgenossenschaften und die Technische Universität Dresden arbeiten gemeinsam an einem Projekt zur Gestaltung der Stellteile in Erdbaumaschinen.

Da Sie durch Ihre Arbeit ständigen Umgang mit Erdbaumaschinen haben, ist uns eine **Bewertung der Stellteile aus Ihrer Sicht** sehr wichtig. Darüber hinaus interessieren uns Störeinflüsse auf Ihre Tätigkeit und die Beanspruchung während der Arbeit in der Erdbaumaschine. Zusätzlich erheben wir einige Informationen zu Ihrem beruflichen Werdegang und zu Ihren Erfahrungen.

Selbstverständlich ist die Befragung **anonym**. Die Ergebnisse werden nur für wissenschaftliche Zwecke verwendet.

Kreuzen Sie bitte die jeweils zutreffende Antwort an bzw. tragen Sie Ihre Antwort in die gestrichelten Zeilen ein. .

Teil A

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihren beruflichen Werdegang und Ihre Berufserfahrung.

1. Welche spezielle Ausbildung für das Fahren/ Bedienen von Erdbaumaschinen haben Sie?

keine

Berufsausbildung zum Baumaschinenführer

Kurzausbildung

andere Ausbildung

Welche?

.....

2. Wie lange bedienen Sie schon Erdbaumaschinen? Jahre



3. Wie würden Sie Ihre Geübtheit im Umgang mit Erdbaumaschinen (Bagger und Radlader) einschätzen?

- wenig geübt
- mittelmäßig geübt
- hoch geübt
- sehr hoch geübt

4. Hoch geübte Funktionen laufen auch beim Bedienen einer Erdbaumaschine automatisch ab (ähnlich wie beim langjährigen Autofahren).

Welche Funktionen laufen bei Ihnen noch nicht so automatisch ab?

.....
.....

5. Warum laufen die genannten Funktionen noch nicht so automatisch ab?

- seltene Verwendung
- liegen bei jeder Erdbaumaschine an anderer Stelle
- andere Gründe

Welche?

.....

Teil B (Teil B ist nicht vom Vorführer/ Testfahrer auszufüllen. In diesem Falle gehen Sie bitte zu Teil C.)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Baustelle, auf der Sie zur Zeit arbeiten (bzw. zuletzt gearbeitet haben).

1. Größe der Baustelle:

2. Lage der Baustelle (Adresse):



3. Wie viele andere Erdbaumaschinen kommen (kamen) auf dem Baugelände noch zum Einsatz?

ca. Erdbaumaschinen

4. Wie viele Personen arbeiten (arbeiteten) durchschnittlich auf der Baustelle?

ca. Personen

5. Wie viele unterschiedliche Firmen arbeiten auf der Baustelle?

ca. Firmen

6. Wie läuft insgesamt die Abstimmung?

schlecht

mittelmäßig

gut

Teil C

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre täglichen Erfahrungen im Umgang mit Erdbaumaschinen.

1. Wie lange arbeiten Sie täglich durchschnittlich auf einer Erdbaumaschine?

ca. Stunden

2. Wie oft wechseln Sie die Erdbaumaschine?

gar nicht

oft (mehrmals täglich bis wöchentlich)

selten



3. Zwischen welchen Erdbaumaschinen wechseln Sie (Typ und Hersteller-Name der Erdbaumaschinen)?

.....
.....

4. Wie kommen Sie mit dem Wechsel zurecht? (Sie können mehrere Antworten ankreuzen!)

Das bereitet mir keine Probleme.

Ich muss mich mehr konzentrieren.

Ich mache Fehler in der Bedienung.

Die Bedienung läuft noch nicht so automatisch ab.

Ich reagiere in Gefahrensituationen etwas langsamer.

Die Bedienung strengt mich mehr an.

Sonstiges:

5. Während Sie in einer Erdbaumaschine arbeiten, müssen Sie sich sicher mit anderen Arbeitern auf der Baustelle verständigen. Wie funktioniert die Verständigung?

Sie können mehrere Antworten ankreuzen.

durch Zurufe

durch Handzeichen

Hupsignale

Sonstiges

6. Gibt es bei der Verständigung manchmal Probleme?

ja

nein

Wenn ja, welche?



7. Bei fast jeder Arbeitstätigkeit gibt es Dinge, die man als störend empfindet. Wie störend finden Sie folgende Umgebungsfaktoren bei Ihrer Arbeit mit Erdbaumaschinen?

<i>Bitte entsprechende Antwort ankreuzen (1 Kästchen pro Zeile)!</i>	überhaupt nicht störend	wenig störend	mittelmäßig störend	stark störend	sehr stark störend
Lärm	<input type="checkbox"/>				
Körperschwingungen (Vibration)	<input type="checkbox"/>				
hohe Temperaturen	<input type="checkbox"/>				
niedrige Temperaturen	<input type="checkbox"/>				
schlechte Sichtverhältnisse	<input type="checkbox"/>				
Regen/ Nässe	<input type="checkbox"/>				
schlechte Fahrerplatzgestaltung (Sitz, Anordnung der Stellteile)	<input type="checkbox"/>				
wenig Bewegungsfreiheit am Fahrerplatz	<input type="checkbox"/>				
Oberleitungen	<input type="checkbox"/>				
Bodenleitungen	<input type="checkbox"/>				
Straßenverkehr	<input type="checkbox"/>				
beengtes Gelände	<input type="checkbox"/>				
viele Leute auf der Baustelle	<input type="checkbox"/>				

Teil D

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Bedienelemente in einem Baufahrzeug. Wir interessieren uns vor allen für die Stellteile (Joysticks), die mit der Hand bedient werden.

Beschreiben und Bewerten Sie im folgenden die verschiedenen Funktionen, die Sie mit den Stellteilen betätigen können am Beispiel der Erdbaumaschine, mit der Sie zur Zeit arbeiten bzw. mit der Sie zuletzt gearbeitet haben!



1. Bitte nennen Sie Maschinentyp und Hersteller ihrer derzeitigen bzw. zuletzt gefahrenen Erdbaumaschine!

Maschinentyp:

Hersteller:

2. Bitte zählen Sie die Funktionen auf, die auf dem linken bzw. rechten Stellteil (Joy-stick) liegen!

linkes Stellteil:

rechtes Stellteil:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Sollten Ihrer Meinung nach mehr oder weniger Funktionen auf den Stellteilen liegen? Und wie viel könnten das Ihrer Meinung nach maximal sein?

mehr Wie viele mehr? (Zahl)

weniger Wie viele weniger? (Zahl)

4. Welche Funktionen sollten Ihrer Meinung nach nicht auf den Stellteilen liegen?

.....



5. Welche Funktionen wünschen Sie sich zusätzlich auf den Stellteilen?

.....
.....
.....
.....

6. Wie gut können Sie die einzelnen Funktionen auf den Stellteilen während der Steuerung voneinander unterscheiden (Farbe, Beschriftung, Größe, Form)?

Die einzelnen Funktionen lassen sich gut unterscheiden.

Die einzelnen Funktionen lassen sich nicht so gut unterscheiden. Es besteht Verwechslungsgefahr.

Bitte begründen Sie kurz Ihre Aussage:

.....
.....

7. Wie schätzen Sie die *Anordnung* der einzelnen Funktionen auf den Stellteilen ein?

Ich bin mit der Anordnung zufrieden.

Ich finde die Anordnung ungünstig.

Bitte begründen Sie kurz Ihre Aussage:

.....
.....

8. Stimmen die Bewegungen des Stellteils mit den Bewegungen der Erdbaumaschine überein (z.B. Bewegung des Joysticks nach rechts, Maschine bewegt sich nach rechts)?

Bewegungen stimmen überein

Bewegungen stimmen nicht immer überein

Welche Bewegungen stimmen nicht überein?

.....



9. Wenn der Oberwagen des Baggers um 180° gedreht ist, stimmt die Lenk- und Fahrtrichtung des Fahrzeugs nicht mehr mit der Bewegung der Steuerung überein. Wie kommen Sie damit zurecht?

Ich habe damit keine Probleme.

Ich habe damit Probleme.

10. Welche Lösung könnten Sie sich für das Problem mit der Oberwagen - Drehung vorstellen (z.B. Warnhinweise, automatische Umstellung der Lenk - und Fahrtrichtung ...)?

.....
.....

11. Hin und wieder gibt es (Gefahren-)Situationen, in denen man schnell reagieren muss. Welche Gefahrensituationen gibt es ?

.....
.....

12. Welche Fehler passieren in solchen Situationen in der Bedienung der Erdbaumaschine?

.....
.....

13. Wenn Sie die Möglichkeit hätten, die Stellteile neu zu gestalten, was würden Sie verändern?

.....
.....
.....
.....
.....



Teil E

Im letzten Teil möchten wir Sie fragen, wie Sie persönlich die Stellteile (Joysticks) verschiedener Erdbaumaschinen einschätzen und was Sie in Ihrer Tätigkeit besonders stark beansprucht.

Sie haben Erfahrungen mit verschiedenen Erdbaumaschinen.

1. Mit welcher Erdbaumaschine fiel Ihnen die Steuerung mit den Stellteilen am leichtesten und mit welcher Erdbaumaschine am schwersten? Bitte tragen Sie den Maschinentyp und den Hersteller in folgende Tabelle:

	Maschinentyp	Hersteller
am leichtesten		
am schwersten		

2. Welche Unterschiede in der Gestaltung der Stellteile (Joysticks) der beiden Erdbaumaschinen führen zu einer unterschiedlich guten Bedienung ?

.....

.....

.....

*Durch die Arbeitstätigkeit wird man körperlich und geistig beansprucht. Wenn Sie an Ihre **Tätigkeit auf der Erdbaumaschine** denken:*

3. Wann empfinden Sie bei der Bedienung der Erdbaumaschine besonders hohen Stress?

.....

.....

4. Was ermüdet Sie besonders bei der Bedienung der Erdbaumaschine?

.....

.....



5. Welche Tätigkeiten empfinden Sie bei der Bedienung der Erdbaumaschine als besonders monoton?

.....
.....

6. Wie wirkt sich Zeitdruck auf die Bedienung der Erdbaumaschine aus?

.....
.....

7. Wie wirken sich Überstunden auf die Bedienung der Erdbaumaschine aus?

.....
.....

Haben Sie für unser Forschungsvorhaben noch weitere Anregungen oder Ergänzungen?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung!

Anhang 5: Multifunktionsstellteile der in der Studie untersuchten Erdbaumaschinen

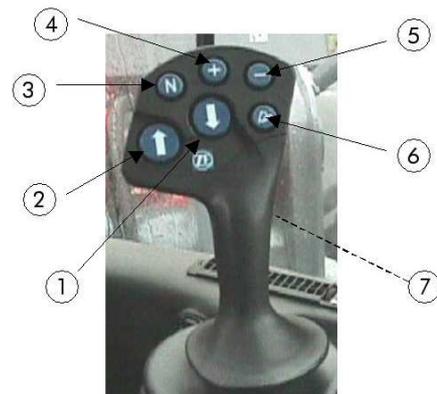
Der untersuchte Radlader der Fa1 besaß nur ein MFST, das rechts vom Fahrer angeordnet war.

Radlader der Fa1

Abbildung 1a:
Radlader der Fa1



Abbildung 1b:
Rechtes MFST des Radladers der Fa1 (Zahlen s. Nummerierung der Taster in der Tabelle zu ZFE)



Grundfunktionseinheiten (GFE) des Fa1-Radladers

GFE	Bewegung des MFST	Funktion
1	links/rechts	Schaufel ein-/auskippen
2	vor/zurück	Hubgerüst senken/heben



Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Radladers von Fa1

ZFE	Stellteil/BE (Nr. in Abb. 1b)	Funktion	Angezeigt durch	
1	Taster 1	Vorwahl rückwärts fahren	Symbol im Display über dem Lenkrad	D
	Taster 2	Vorwahl vorwärts fahren	Symbol im Display über dem Lenkrad	D
	Taster 3	Neutralstellung der Fahrtrichtung	Symbol im Display über dem Lenkrad	D
2	Taster 4	Hochschalten der Gänge	ingelegter Gang im Display über dem Lenkrad	D
	Taster 5	Runterschalten der Gänge	ingelegter Gang im Display über dem Lenkrad	D
3	Taster 6	Parallelführung der Schaufel		D
4	Taster 7	Kickdown (Runterschalten in 1. Gang), auf der Rückseite des MFST angebracht		Z

D - Betätigung durch Daumen, Z – Betätigung durch Zeigefinger, BE - Bedienelement

Weitere Funktionen, die während der Arbeit vom Maschinenführer benutzt wurden und nicht am MFST angeordnet waren:

Stellteil	Funktion	Wo angeordnet
Taster	Aktivierung der Schnellwechseleinrichtung	Bedienkonsole rechts vom Fahrer
Taster	Entriegelung der Verriegelungsbolzen der Schnellwechseleinrichtung	Bedienkonsole links vom Lenkrad
Fahrpedal	Fahren	rechter Fußbereich
Bremspedal	Bremsen	linker Fußbereich
Lenkrad	Lenken	vor dem Fahrer

Die Schnellwechseleinrichtung war gegen unbeabsichtigtes Betätigen geschützt. Zuerst musste der Taster in der rechten Bedienkonsole zur Aktivierung betätigt werden. Erst dann konnte man durch Betätigung des Tasters in der Bedienkonsole links vom Lenkrad die Verriegelungsbolzen der Schnellwechseleinrichtung einfahren, um danach das Werkzeug abzulegen oder



aufzunehmen. Durch eine Zeitschaltung (ca. 30 Sekunden) führen die Verriegelungsbolzen selbstständig wieder ein. Um sie wieder zu entriegeln, musste oben beschriebene Prozedur erneut durchgeführt werden.

Bagger der Fa1

Der untersuchte Bagger der Fa1 besaß zwei MFST, die rechts und links vom Fahrer angeordnet waren. Eine Schnellwechseleinrichtung war in diesem Modell nicht eingebaut.



Abbildung 2:
Bagger der Fa1

Grundfunktionseinheiten (GFE) des Baggers von Fa1

MFST	GFE	Bewegung des MFST	Funktion
links	1	links/rechts	Schwenken Oberwagen nach links/rechts
	2	vor/zurück	Stiel ausfahren/einfahren
rechts	1	links/rechts	Greifer schließen/öffnen
	2	vor/zurück	Ausleger senken/anheben



Abbildung 3a:
Linkes MFST des Baggers von Fa1



Abbildung 3b:
Rechtes MFST des Baggers von Fa1



Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Baggers von Fa1 – linkes MFST

ZFE	Stellteil/BE (Nr. in Abb. 3a)	Stellteilbewe- gung	Funktion
1	Tastwippe 1	drücken	Umschaltung auf Schild, <u>angezeigt durch</u> gleichzeitiges Ertönen eines Huptons
	Tastwippe 2		ohne Funktion
	Taster 3		ohne Funktion
	Taster 4		ohne Funktion
2	MFST-Griff	vor/zurück	Schild senken/heben, <u>aktiviert durch</u> Drücken der Tastwippe 1 (muss nicht gedrückt bleiben)

Die Tastwippe 1 wurde mit dem Daumen bedient. Die beiden inaktiven Taster (3 und 4) waren an der Rückseite des MFST angeordnet. BE - Bedienelement



Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Baggers von Fa1 – rechtes MFST

ZFE	Stellteil/BE (Nr. in Abb. 3b)	Stellteilbewe- gung	Funktion
1	Tastwippe 1	drücken	Greifer drehen nach rechts
	Tastwippe 2	drücken	Greifer drehen nach links
2	Taster 3	drücken	Powerboost (kurzzeitig 10% mehr Leistung)
3	Taster 4	drücken	Hupe

Die beiden Tastwippen (1, 2) wurden mit dem Daumen bedient. Die Taster (3, 4) waren an der Rückseite des MFST angeordnet und wurden mit dem Zeigefinger bedient. BE - Bedienelement

Weitere Funktionen, die während der Arbeit vom Maschinenführer benutzt wurden und nicht am MFST angeordnet waren:

Stellteil	Funktion	Wo angeordnet
Fahrtrichtungsschalter	Vorwahl der Fahrtrichtung	rechts unter dem Lenkrad
Schalter	Pendelachsverriegelung	Bedienkonsole rechts vom Fahrer
Pedalwippe	Nackenzylinder ein-/ausfahren	linker Fußbereich
Fahrpedal	Fahren	rechter Fußbereich
Bremspedal	Bremsen	linker Fußbereich
Lenkrad	Lenken	vor dem Fahrer

Bagger 1 der Fa2

Der untersuchte Bagger 1 der Fa2 besaß zwei MFST, die rechts und links vom Fahrer angeordnet waren. Für die Versuche war ein Böschungslöffel montiert. Besonderheiten dieses Baggers waren

- das Auslegerschwenklager, mit dem der Ausleger unabhängig vom Oberwagen jeweils 30° seitlich in beide Richtungen geschwenkt werden konnte,
- das geteilte Schild, bei dem die beiden Schildhälften synchron, aber auch unabhängig voneinander bewegt werden konnten.



Abbildung 4:
Bagger 1 der Fa2

Grundfunktionseinheiten (GFE) des Baggers 1 von Fa2

MFST	GFE	Bewegung des MFST	Funktion
links	1	links/rechts	Schwenken Oberwagen nach links/rechts
	2	vor/zurück	Stiel ausfahren/einfahren
rechts	1	links/rechts	Böschungslöffel an-/auskippen
	2	vor/zurück	Ausleger senken/anheben

Abbildung 5a:
Linkes MFST des Baggers 1 von Fa2

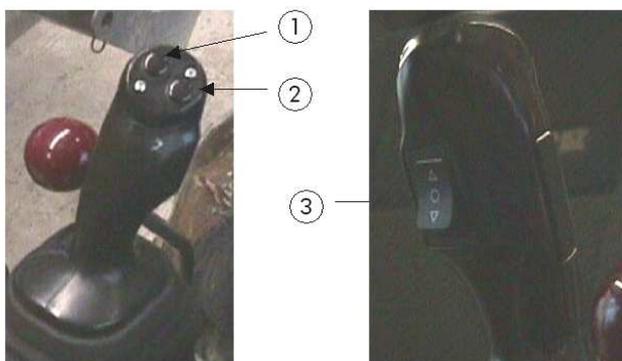


Abbildung 5b:
Rechtes MFST des Baggers 1 von Fa2





Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Baggers 1 von Fa2 – linkes MFST

ZFE	Stellteil/BE (s. Abb. 5a)	Stellteil- bewegung	Funktion
1	Taster 1	drücken	Schnittwinkelverstellung des Böschungslöffels nach links
	Taster 2	drücken	Schnittwinkelverstellung des Böschungslöffels nach rechts *
2	Taster 1	drücken	Schließen der Verriegelung der SW-Einrichtung <u>aktiviert durch</u> Schlüsselschalter in der Bedienkonsole, <u>angezeigt durch</u> Summton
	Taster 2	drücken	Öffnen der Verriegelung der SW-Einrichtung, <u>aktiviert durch</u> Schlüsselschalter in der Bedienkonsole, <u>angezeigt durch</u> Summton und Leuchtsymbol in der Bedienkonsole
3	Kippschalter 3	drücken	Vorwahlschalter für die Fahrtrichtung vorwärts/neutral/rückwärts (auf der Rückseite des MFST angebracht)

Die beiden Taster (1,2) wurden mit dem Daumen betätigt, der Kippschalter (3) mit dem Zeigefinger.
BE - Bedienelement

Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Baggers 1 von Fa2 – rechtes MFST

ZFE	Stellteil/BE (s. Abb. 5b)	Stellteil- bewegung	Funktion
1	Taster 1	drücken	linke Schildhälfte aktivieren, <u>aktiviert durch</u> Kippschalter in der Bedienkonsole rechts vom Fahrer
2	Taster 2	drücken	rechte Schildhälfte aktivieren <u>aktiviert durch</u> Kippschalter in der Bedienkonsole rechts vom Fahrer
3	Kippschalter 3 (links am MFST-Griff)	drücken	Umschaltung Böschungslöffel/Auslegerschwenklager, <u>angezeigt durch</u> grün leuchtendes Symbol in der Bedienkonsole
4	MFST-Griff	links/rechts	Ausleger nach links/rechts schwenken, <u>aktiviert durch</u> Kippschalter (Nr. 3) am rechten MFST nach oben gedrückt, <u>angezeigt durch</u> grün leuchtendes Symbol in der Bedienkonsole



5	MFST-Griff	vor/zurück	Schild (rechts und links synchron) senken/heben, <u>aktiviert durch</u> Schalter im Fußbereich oder Schalter in Bedienkonsole, <u>angezeigt durch</u> Hupton und Schalter in der Bedienkonsole leuchtet
zu 2	MFST-Griff	vor/zurück	rechte Schildhälfte senken/heben, <u>aktiviert durch</u> Schalter im Fußbereich oder Schalter in Bedienkonsole und Taster (Nr.2) am rechten MFST gedrückt halten <u>angezeigt durch</u> Hupton und Schalter in der Bedienkonsole leuchtet
zu 1	MFST-Griff	vor/zurück	linke Schildhälfte senken/heben, <u>aktiviert durch</u> Schalter im Fußbereich oder Schalter in Bedienkonsole und Taster (Nr.1) am rechten MFST gedrückt halten <u>angezeigt durch</u> Hupton und Schalter in der Bedienkonsole leuchtet

Die Taster (1,2) wurden mit dem Daumen bedient, der Kippschalter (3) mit dem Daumen oder den Fingern.
BE - Bedienelement

Weitere Funktionen, die während der Arbeit vom Maschinenführer benutzt wurden und nicht am MFST angeordnet waren:

Stellteil	Funktion	Wo angeordnet
Schalter	Umschaltung auf Schildfunktion	Fußbereich, vor Lenksäule oder Schalter in der Bedienkonsole
Pedal	Betriebsbremse, automatische Pendelachsverriegelung	rechter Fußbereich, links neben Fahrpedal
Fahrpedal	Fahren	rechter Fußbereich
Pedal	Nackenzylinder ausfahren	linker Fußbereich, links von der Schwenkwerksbremse
Pedal	Nackenzylinder einfahren	linker Fußbereich, links von der Schwenkwerksbremse
Pedal	Schwenkwerksbremse öffnen/verriegeln	linker Fußbereich, rechts neben der Lenksäule
Lenkrad	Lenken	vor dem Fahrer



Bagger 2 der Fa2

Dieser untersuchte Bagger glich dem Bagger 1 der Fa2 bis auf wenige Einzelheiten. Die Bau-
größen waren identisch, aber das geteilte Schild und die damit verbundenen Funktionen, waren
bei Bagger 2 nicht vorhanden. Außerdem verfügte dieser Bagger nicht über eine automati-
sche Schnellwechseleinrichtung.

In den Untersuchungen war bis auf die letzte Stunde, in der mit einem Greifer gearbeitet
wurde, über die gesamte Arbeitszeit ein Tieflöffel montiert.

Das linke MFST bei Bagger 2 der Fa2 war äußerlich mit dem des Baggers 1 von Fa2 iden-
tisch. Auch waren hier die Taster (1,2) und der Kippschalter (3) genauso angeordnet (siehe
Abbildung 5a).



Abbildung 6:
Rechtes MFST mit Bedienkonsole des
Baggers 2 von Fa2

Grundfunktionseinheiten (GFE) des Baggers 2 von Fa2

MFST	GFE	Bewegung des MFST	Funktion
links	1	links/rechts	Schwenken Oberwagen nach links/rechts
	2	vor/zurück	Stiel ausfahren/einfahren
rechts	1	links/rechts	Tieflöffel an-/abkippen bzw. Greifer schließen/öffnen
	2	vor/zurück	Ausleger senken/anheben



Zusatzfunktionseinheiten des Baggers 2 von Fa2 – linkes MFST

ZFE	Stellteil/BE (s. Abb. 5a)	Stellteil- bewegung	Funktion
1	Taster 1	drücken	Greifer nach links drehen (bei montierten Tieflöffel ohne Funktion)
	Taster 2	drücken	Greifer nach rechts drehen (bei montiertem Tieflöffel ohne Funktion)
2	Kippschalter 3	drücken	Vorwahlschalter für die Fahrtrichtung vorwärts/neutral/rückwärts (auf der Rückseite des MFST angebracht)

Zusatzfunktionseinheiten (ZFE)des Baggers 2 von Fa2 – rechtes MFST

ZFE	Stellteil/BE (s. Abb. 6)	Stellteilbe- wegung	Funktion
1	Kippschalter 1	drücken	Umschaltung Tiefenlöffel/Auslegerschwenklager, <u>angezeigt durch</u> grün leuchtendes Symbol in der Bedienkonsole
2	MFST-Griff	links/rechts	Auslegerschwenklager nach links/rechts <u>aktiviert durch</u> Kippschalter am rechten MFST nach oben gedrückt, <u>angezeigt durch</u> grün leuchtendes Symbol in der Bedienkonsole
3	MFST-Griff	vor/zurück	Schild senken/heben, <u>aktiviert durch</u> Schalter im Fußbereich oder Schalter in Bedienkonsole, <u>angezeigt durch</u> Hupton und Schalter in der Bedienkonsole leuchtet

Der Umschalter für das Auslegerschwenklager (1) befand sich an der linken Seite des MFST-Griffs. Er wurde mit dem Daumen oder den Fingern betätigt. BE - Bedienelement

Weitere Funktionen, die während der Arbeit vom Maschinenführer benutzt wurden und nicht am MFST angeordnet waren:



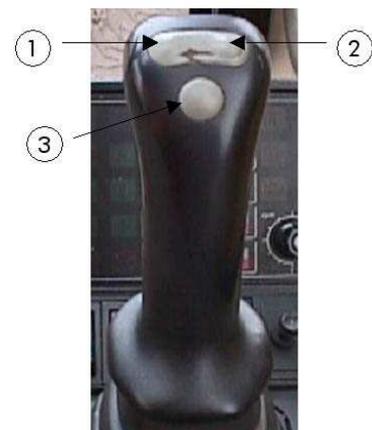
Stellteil	Funktion	Wo angeordnet
Schalter	Umschaltung auf Schildfunktion	Fußbereich, vor Lenksäule oder Schalter in der Bedienkonsole
Pedal	Betriebsbremse, automatische Pendelachsverriegelung	rechter Fußbereich, links neben Fahrpedal
Fahrpedal	Fahren	rechter Fußbereich
Pedal	Nackenzylinder ausfahren	linker Fußbereich, links von der Schwenkwerksbremse
Pedal	Nackenzylinder einfahren	linker Fußbereich, links von der Schwenkwerksbremse
Pedal	Schwenkwerksbremse öffnen/verriegeln	linker Fußbereich, rechts neben der Lenksäule
Lenkrad	Lenken	vor dem Fahrer

Bagger der Fa3

Abbildung 7a:
Bagger der Fa3



Abbildung 7b:
rechtes/linkes MFST des Baggers von Fa3



Der untersuchte Bagger der Fa3 besaß zwei MFST, die rechts und links vom Fahrer angeordnet waren.



Grundfunktionseinheiten (GFE) des Baggers von Fa3

MFST	GFE	Bewegung des MFST	Funktion
links	1	links/rechts	Schwenken Oberwagen nach links/rechts
	2	vor/zurück	Stiel ausfahren/einfahren
rechts	1	links/rechts	Böschungslöffel an-/auskippen
	2	vor/zurück	Ausleger senken/anheben

Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Baggers von Fa3 – linkes MFST

ZFE	Stellteil/BE (s. Abb. 7b)	Stellteilbe- wegung	Funktion
	Taster 1	drücken	nicht belegt
1/2	Taster 2	drücken	Schnittwinkelverstellung des Böschungslöffels nach links
	Taster 3	drücken	nicht belegt

Zusatzfunktionseinheiten (ZFE) des Baggers von Fa3 – rechtes MFST

ZFE	Stellteil/BE (s. Abb. 7b)	Stellteilbe- wegung	Funktion
	Taster 1	drücken	nicht belegt
1/2	Taster 2	drücken	Schnittwinkelverstellung des Böschungslöffels nach rechts
	Taster 3	drücken	nicht belegt

BE – Bedienelement

Das rechte und das linke MFST waren im Aufbau identisch. Alle Taster auf beiden MFST lagen jeweils im Bereich des Daumens.

Es war nur eine ZFE vorhanden, die sich auf beide MFST mit je einer Funktion verteilte.



Weitere Funktionen, die während der Arbeit vom Maschinenführer benutzt wurden und nicht am MFST angeordnet waren:

Stellteil	Funktion	Wo angeordnet
Fahrtrichtungsschalter	Vorwahl der Fahrtrichtung	rechts unter dem Lenkrad
Fahrpedal	Fahren	rechter Fußbereich
Bremspedal	Bremsen	linker Fußbereich
Lenkrad	Lenken	vor dem Fahrer