



Autorin: Isabelle Ays, Simon Becker und Prof. Dr. Marcus Geimer Institut für Fahrzeugsystemtechnik FAST, Teilinstitut Mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruher Institut für Technologie KIT

AUS DER FORSCHUNG

EINFLÜSSE DER BETRIEBSEFFIZIENZ AUF DIE CO₂e-EMISSIONEN UND DIE ENTSTEHENDEN ÄNDERUNGEN MIT AUTOMATISIERTEN ARBEITSMASCHINEN



Um die Treibhausgase (CO₂e) im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen zu reduzieren müssen die Einflüsse identifiziert werden. Im folgenden Artikel wird der Einfluss „Betriebseffizienz“, welcher sich auf den Maschinenführer und den Maschinenzustand bei Warte- oder Stillstandzeiten aufteilen lässt, näher erläutert. Bei einer vollständigen Automatisierung der Arbeitsmaschine wird der Einflussteil „Maschinenführer“ stark reduziert bzw. kann entfallen. Anschließend werden die möglichen Technisierungsstufen einer Arbeitsmaschine dargestellt. Schließlich werden mögliche Änderungen durch eine vollautonome Baumaschine beschrieben.

Die vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalent bzw. CO₂e) haben negative Folgen auf unsere Umwelt. Die weltweite Absicht zur Reduzierung der Treibhausgase wurde 1992 mit dem "United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)" dargelegt. Durch das Kyoto Protokoll verpflichteten sich 1997 37 Länder und die Europäische Union die Treibhausgase um 5% zu reduzieren und den weltweiten Temperaturdurchschnitt im Vergleich zu 1990 um nicht mehr als 2°C zu erhöhen. [1, 2, 3, 4]

Dieses Ziel wurde im Dezember 2015 auf der Pariser Klimakonferenz (COP21) auf 1,5°C verschärft. Dabei wurde das erste universelle, rechtsverbindliche globale Klimaabkommen von 195 Ländern verabschiedet. [5]

Auch mobile Arbeitsmaschinen leisten einen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen.

Bei mobilen Arbeitsmaschinen kann das Reduktionspotenzial von Treibhausgasquellen nach dem „4-pillar Approach“ in vier Kategorien aufgeteilt werden (siehe 1): Maschineneffizienz, Prozesseffizienz, Betriebseffizienz und alternative Energieträger [6]. Im Folgenden soll das Reduktionspotenzial „Betriebseffizienz“ näher erläutert werden.

BETRIEBSEFFIZIENZ VON MOBILEN ARBEITSMASCHINEN

Unter der Betriebseffizienz von mobilen Arbeitsmaschinen wird die Wirksamkeit der gegenseitigen Einflussnahme von Mensch und Maschine während der Einsatzzeit der Maschine verstanden. Hierzu lassen sich zwei Hauptgruppen ableiten: der Maschinenführer und der Maschinenzustand bei Stillstandzeiten.

DER MASCHINENFÜHRER

Der Fahrer einer mobilen Arbeitsmaschine beansprucht viele seiner Sinne um eine Arbeitsaufgabe zu erfüllen. Dabei ist sowohl die Geschwindigkeit und der Takt maßgebend, aber auch die Fähigkeit sich an neue Umgebungen und veränderte Arbeitsplätze anzupassen wie

z. B. im Bausektor, bei der keine Baustelle identisch und nicht immer ideal ist. Somit muss der Fahrer sich an neue Arbeitsumgebungen anpassen und angepasste Entscheidungen treffen. Des Weiteren bildet der Fahrer mit der Maschine einen Regelkreis. Mit seinen Sinnen nimmt er den aktuellen Zustand der Maschine und des Arbeitsprozesses auf (Sehen, Hören, Fühlen). Die Beurteilung erfolgt im Gehirn des Bedieners anhand von erlernten und durch Erfahrung gewonnenen Kriterien. Daraus werden Aktionen generiert, die über die Gliedmaßen des Bedieners an die Maschine weitergegeben werden (Pedale, Joystick, ...). Hieraus wird ersichtlich, dass große Teile der Regelstrecke vom Menschen abhängen und damit individuell sowie verschieden sind. Ein weiterer Aspekt ist die Tatsache, dass der Fahrer die Steuerung der Kinematik, beispielsweise den Arm eines Baggers, über Joystickbewegungen abstrahieren muss.

Die Hauptgruppe „Maschinenführer“ bzw. „Fahrer“ beinhaltet alle Faktoren mit denen der Fahrer Einfluss auf die CO₂e Emissionen hat. Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Einflüssen treten auf, so dass diese in drei Einflussgruppen zusammengefasst werden können.

Die erste Einflussgruppe besteht aus dem physiologischen und psychologischen Zustand des Fahrers. Die Leistung eines Menschen wird durch dessen Disposition (physiologische Leistungsbereitschaft), das heißt die Tagesrhythmik, das körperliche Befinden, die Ermüdung, usw. und dessen Motivation (psychologische Leistungsbereitschaft), wie z.B. die Stimmungslage, die Einstellung zur Arbeit, die soziale Umgebung, beeinflusst [7]. Zu dieser Einflussgruppe gehören ebenfalls die Eigenschaften und Grundfähigkeiten eines Menschen, wie etwa Anlage, Konstitution, Geschlecht, Alter, usw., welche die Leistungsfähigkeit mitdefinieren [7].

Eine weitere Einflussgruppe ist die Arbeitsplatz- und Arbeitsumweltgestaltung. Bei der Arbeitsumweltgestaltung werden die Umgebungseinflüsse, wie Klima, Lärm, Vibration, Schmutz, Chemikalien, usw. sowie das soziale Umfeld, wie z.B. Arbeitszeitregime, verstanden. Dabei ist zu beachten, dass der Effekt dieser Einflüsse variiert je nach dem, ob er naturwissenschaftlich, individuell bezogen oder kulturwissenschaftlich ermittelt wird. [7]

Antriebssysteme für Industrieanwendungen

JETZT KRAFTSTOFF SPAREN – CAT® STUFE V MOTOREN



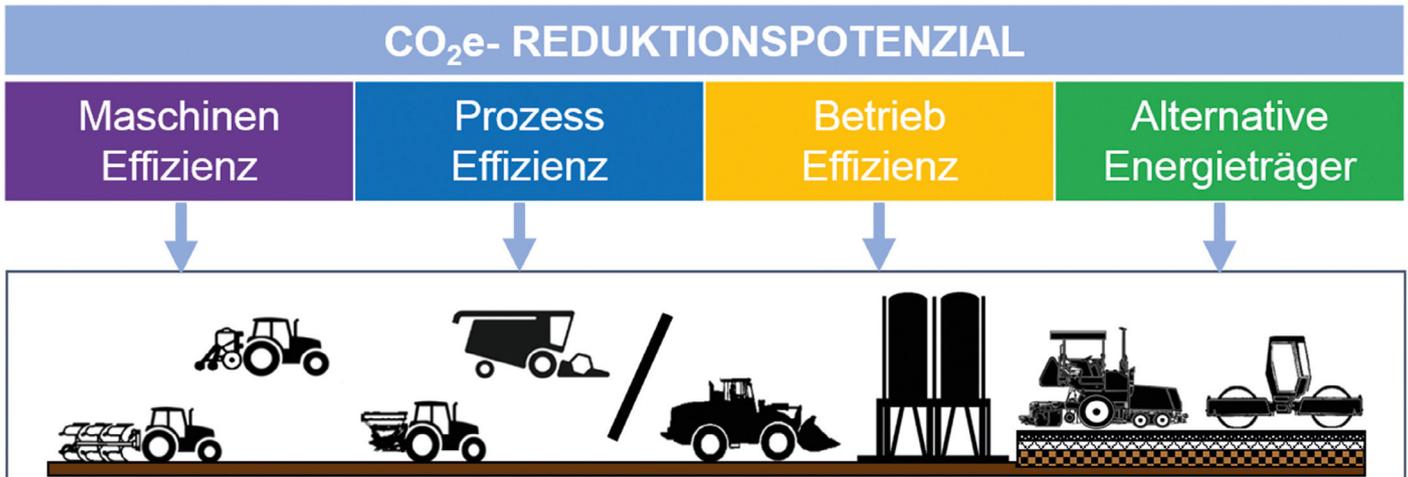
Caterpillar Stufe V Dieselmotoren für die Industrie.
 Wir kümmern uns darum, dass Sie erfolgreich arbeiten können.

- Stufe V Motoren von 8,8 kW bis 839 kW – mit dem geringsten Kraftstoffverbrauch ihrer Klasse
- Individuelle Systemlösungen von der Planung bis zur Konstruktion – alles aus einer Hand
- Weltweites Caterpillar Servicenetz für hohe Verfügbarkeit Ihrer Produkte

BUILT FOR IT.

zps.achim@zeppelin.com · zeppelin-powersystems.com

ZEPPELIN
 Power Systems



01 Reduktionspotenzial von Treibhausgasquellen bei mobilen Arbeitsmaschinen nach dem „4-pillar approach“

Zum Beispiel kann das persönliche Empfinden eines Bedieners gegenüber Querschleunigungen, Vibrationen und Schlägen bei der Arbeit mit den Maschinen sowie bei der Fahrt auf Baustellen oder im Gelände sich unterscheiden. Während der eine Fahrer mit konstanter Geschwindigkeit über jegliche Bodenwellen fährt, bremst ein anderer Fahrer davor ab und beschleunigt anschließend wieder. Dieses Verhalten führt zu unterschiedlichen Kraftstoffverbräuche und damit zu unterschiedlichen CO₂e-Emissionen.

Der Fahrertrainingsgrad des Maschinenführers bildet eine eigene Einflussgruppe. Darunter werden das Ausbildungsniveau, die Erfahrung und die Regelmäßigkeit von Teilnahmen an Fahrerschulungen verstanden. Auf das Ausbildungsniveau sowie die Erfahrung des Fahrers kann wenig Einfluss genommen werden. Dagegen können durch regelmäßige Fahrerschulungen die Kenntnisse und Fertigkeiten des Fahrers weiterhin gepflegt bzw. verbessert werden.

Den Einfluss des Fahrverhaltens verschiedener Fahrer auf die Effizienz zeigt R. Filla durch seine Untersuchung des Kraftstoffverbrauchs eines Radladers während eines kurzen Y- Zyklus [8]. Insgesamt wurden 80 Durchgänge des Y-Zyklus mit unterschiedlich trainierten Fahrern aufgenommen. Dabei zeigen sich Varianzen zum einen für die Fahrtanteile des Zyklus, aber auch für die Aufnahme des Schüttgutes mit der Schaufel [8]. Gründe für diese Unterschiede können unter anderem in unterschiedlichen Strategien zur Befüllung der Schaufel („Slicing Cheese“, „Just in & out“, ...) [9] oder übergeordneten Betriebsstrategien wie zeitliche Effizienz oder Kraftstoffverbrauch liegen.

MASCHINENZUSTAND BEI WARTE- ODER STILLSTANDZEITEN

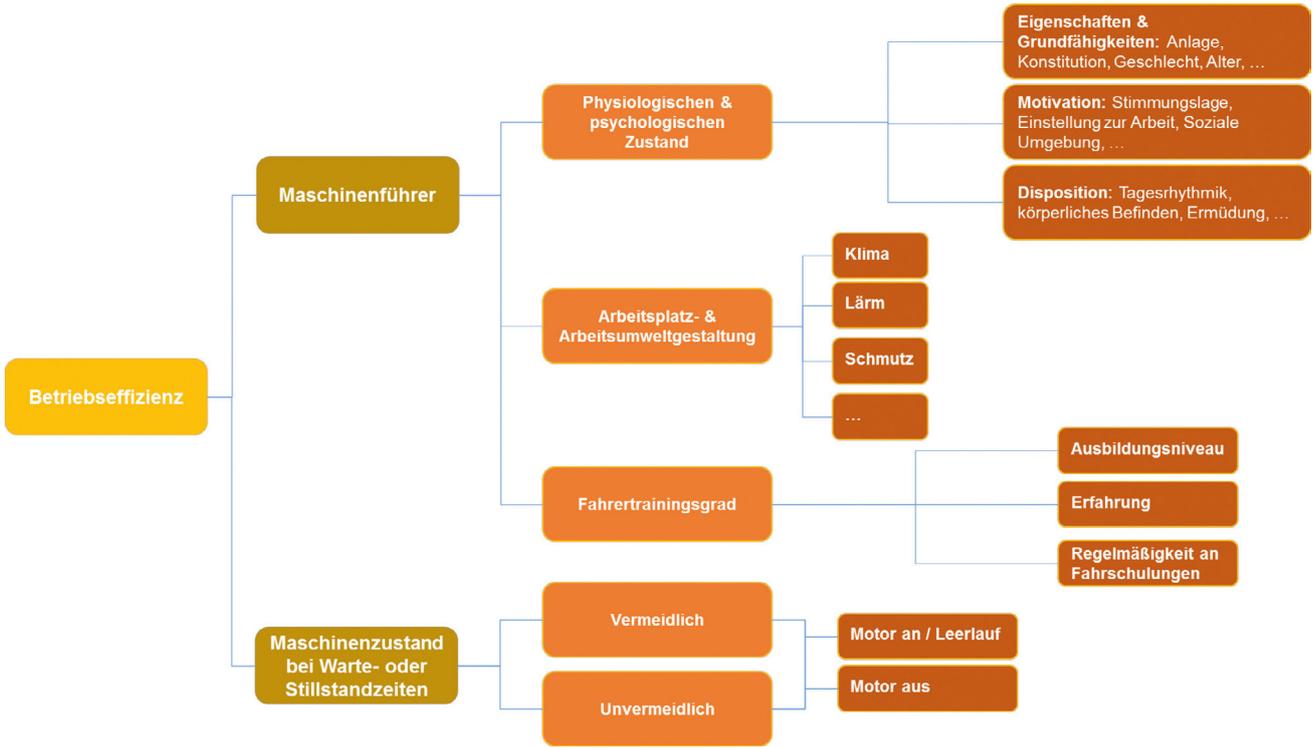
Eine zweite Hauptgruppe ist der Zustand der Maschine bei Warte- oder Stillstandzeiten. Unter „Warte- oder Stillstandzeiten“ werden die Zeiten verstanden, bei der eine Maschine ausgeführte Tätigkeiten einstellt. Hierbei muss zwischen vermeidlichen und unver-

meidlichen Stillstandzeiten unterschieden werden. Vermeidliche Warte- oder Stillstandzeiten können durch Vorkehrungen zum Beispiel durch eine bessere Planung und Koordinierung der Baustellenabläufe, vor allem im Bereich der Logistik, verhindert werden. Unvermeidliche Warte- oder Stillstandzeiten sind Zeiten, die im Prozessablauf vorgesehen sind. Ein Beispiel kann im Bereich der Straßenerneuerung das Legen der Asphalttschicht sein. Nachdem der Straßenfertiger die Bindschicht gelegt hat, erfolgt die Erschließung des Übergangs der alten Asphalttschicht mit der neuen durch Asphalt gefüllte Schaufeln, geführt von Bauarbeitern. Dabei darf der Straßenfertiger nicht ausgeschaltet werden, da dieser die Temperatur des Asphalts weiterhin halten muss bis dieser die Deckschicht legen kann. In diesem Beispiel darf die Maschine während der Warte- oder Stillstandzeit nicht ausgeschaltet werden.

Bei Warte- oder Stillstandzeiten kann der Motor an (Leerlauf) oder aus sein. Unter dem Begriff Leerlauf wird folgender Zustand verstanden: Die Maschine verrichtet keine aktive Arbeit und befindet sich somit in der Warte- oder Stillstandzeit, dabei läuft der Motor bei niedrigen Drehzahlen. Bei mobilen Arbeitsmaschinen ist es nicht unüblich, dass diese sich lange im Leerlauf befinden. Im Bausektor zum Beispiel befinden sich die Maschinen 30% bis 50% der Einsatzzeit im Leerlauf [10]. Lange Leerlaufzeiten haben daher einen signifikanten Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und somit auf die emittierten CO₂e-Emissionen. Wird also der Motor der Arbeitsmaschine ausgeschaltet, entweder über den Fahrer oder automatisch (Start-Stopp- Systeme), wird die Leerlaufzeit und somit der Kraftstoffverbrauch bzw. die CO₂e Emissionen reduziert. Hierbei ist für jede Anwendung zu untersuchen, ob der Motor ausgeschaltet werden kann, da für bestimmte Prozessabläufe Arbeitsmaschinen nicht ausgeschaltet werden dürfen. In **Tabelle 1** werden die beschriebenen Begriffe veranschaulicht.

Der Einfluss „Betriebseffizienz“ auf die Treibhausgasreduktion lässt sich wie in Bild 02 zu sehen ist zusammenfassen.

Arbeitszeit		Einsatzzeit			
		Warte- oder Stillstandzeit			
notwendig	vermeidlich	vermeidlich		unvermeidlich	
Motor an		Motor an/ Leerlauf	Motor aus	Motor an/ Leerlauf	Motor aus
Prozess		Betrieb			



02 Einfluss „Betriebseffizienz“ auf die Treibhausgasreduktion



A CHALLENGE IN THE ELECTRIFICATION OF YOUR HYDRAULIC SYSTEM? LET US SOLVE IT FOR YOU.

Sonceboz is a leader in providing mechatronic solutions for positioning and flow control applications in challenging environments. Enable functional safety, predictive maintenance and decentralized intelligence with our solutions:

- electromechanical actuators for valves
 - electric motors for speed controlled pumps
 - mechatronic drive solutions up to 5 kW
- Contact us and we will develop a compact, efficient and reliable solution customized for your challenge. Trust our experience: more than a billion Sonceboz solutions are at work in the world right now.



www.sonceboz.com FROM MIND TO MOTION

AUTOMATISIERUNG

Die Automatisierung einer Arbeitsmaschine heißt, die Arbeitsschritte „mit technischen Mitteln so einzurichten, dass der Mensch weder ständig noch in einem erzwungenen Rhythmus für den Ablauf des Vorgangs [der Arbeitsmaschine] tätig zu werden braucht“ [11]. Die **Tabelle 2** stellt die unterschiedlichen Technisierungsstufen einer Arbeitsmaschine dar. Im Gegensatz zu anderen Fahrzeugtypen besitzt eine mobile Arbeitsmaschine einen Fahr- und Arbeitsantrieb, daher müssen die Teilfunktionen „Einwirken“, „Lenken“ und „Überwachen“ jeweils in Bezug auf das Fahren und auf das Arbeiten betrachtet werden. Die Teilfunktion „Einwirken“ bezieht sich dabei auf die Betätigungsart des Arbeitswerkzeuges, welches auf die Umgebung einwirkt. Der Mensch gräbt beispielsweise mit einer Schaufel per Hand, der Bagger mit dem hydraulisch betätigten Löffel. Die zweite Teilfunktion „Lenken“ beinhaltet die Steuerung der Maschine (Fahren und Arbeiten) mit den zugehörigen Entscheidungen zur Reihenfolge und Ausführung der Arbeitsschritte. Die Koordinierung der Maschinen auf der Baustelle sowie die Zuteilung der Aufgaben an die Maschinen fallen unter die Teilfunktion „Überwachen“. Dabei kann bei voll automatisierten Maschinen ein „Fahrer“ mehrere Maschinen von einer zentralen Stelle überwachen. Die „Kontrolle des Ergebnisses“ ist vom Überwachen losgelöst und beschäftigt sich rein mit der Beobachtung, Beurteilung und Kontrolle des Arbeitsergebnisses.

Bei einer vollautomatisierten bzw. vollautonomen Arbeitsmaschine erfolgt demnach das Einwirken, Lenken und die Kontrolle des Arbeitsergebnisses über die Technik. Lediglich das Überwachen wird noch vom Menschen ausgeführt. Dabei kann der Mensch mehrere Maschinen aus der Entfernung überwachen (Fernüberwachung).

AUTOMATISIERUNG IN DER MASCHINE

Wird der Fahrer durch eine Vollautomatisierungslösung ersetzt, kann die Einflussnahme des „Maschineführers“ und des „Maschinenzustand bei Warte- oder Stillstandzeiten auf die CO₂e-Emissionen signifikant reduziert werden bzw. entfallen. Dabei ist die Relevanz der allgemeinen mit sich bringenden Vor- und Nachteile einer Vollautomatisierung auf die gesamten CO₂e-Emissionen zu prüfen. Die Automatisierung von Fahr- und Arbeitsaufgaben mobiler Arbeitsmaschinen bringt einige Änderungen der bisher bekannten Randbedingungen mit sich. Hierzu kann ein Blick in die automatisierte Produktionstechnik geworfen werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Ausdehnung der Betriebszeiten der Maschine auf Nachtzeiten bis hin zum 24h-Betrieb, maximal unterbrochen durch Wartungsaufgaben. Gleichzeitig ist die Steuerungshardware bei entsprechender Auslegung schlag- und vibrationsbeständiger als ein menschlicher Fahrer.

Für den Betrieb der Maschine kommen unterschiedliche Betriebsstrategien in Betracht um ein bestimmtes Ziel zu optimieren, beispielsweise die Optimierung der zeitlichen Effizienz, der Präzision, des Maschinenverschleißes oder des Energieeinsatzes. Diese Strategien können auf Knopfdruck gewechselt werden, eine zeit- und kostenintensive Mitarbeiterschulung ist nicht notwendig. Optimierungen und neue Funktionen können durch ein Softwareupdate aufgespielt werden, durch die meist vorhandene Vernetzung der Maschinen auch aus der Ferne. Durch die Vernetzung ist gleichzeitig die Übertragung von Telemetriedaten möglich, welche als Trainingsdaten für neue Software dienen können. Ein weiterer Aspekt der Vernetzung ist die vereinfachte Logistik, da jede Maschine an eine zentrale Leitstelle angebunden werden kann, welche die Einsatzplanung übernimmt und Aufträge an die Maschine weitergibt.

Tabelle 2

			Technisierungsstufe einer Arbeitsmaschine						
			Manuelles Arbeitssystem	Mechanisiertes Arbeitssystem	Arbeitssystem mit Assistenzsystemen	Teil-automatisiertes Arbeitssystem	Hoch-automatisiertes Arbeitssystem (teilautonom)	Voll automatisiertes Arbeitssystem (vollautonom)	Idealer Prozess
Teilfunktionen einer Arbeitsmaschine	Einwirken	Fahren Arbeiten	Mensch	Technik	Technik	Technik	Technik	Technik	Technik
	Lenken	Fahren Arbeiten	Mensch	Mensch	Mensch	Technik Mensch	Technik	Technik	Technik
	Überwachen	Fahren Arbeiten	Mensch	Mensch	Mensch	Mensch	Mensch	Mensch	Technik
Kontrolle des Ergebnisses		/ Arbeiten	Mensch	Mensch	Mensch	Mensch	Mensch	Technik	Technik

LITERATURVERZEICHNIS

[1] Questions & Answers on EU ratification of the second commitment period of the Kyoto Protocol, European Commission, URL - europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-956_en.htm, Stand 01.06.2018.

[2] Climate Action: Kyoto 2nd commitment period (2013-20), European Commission, URL - ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_2/index_en.htm, Stand 01.02.2017.

[3] First steps to a safer future: Introducing The United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations Framework Convention on Climate Change, URL - unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php, Stand 01.06.2018.

[4] Kyoto Protocol, United Nations Framework Convention on Climate Change, URL - unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php, Stand 01.06.2018.

[5] Pariser Übereinkommen, Europäische Kommission, URL - ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de, Stand 27.04.2018.

[6] CECE and CEMA Optimising our industry 2 reduce emissions, CECE und CEMA, Brüssel, 2018.

[7] Zülch, G.: Vorlesungsunterlagen: Arbeitswissenschaft. Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, Karlsruher Institut für Technologie, 2012.

[8] Filla, R.; Obermayr, M. und Frank, B.: A study to compare trajectory generation algorithms for automatic bucket filling in wheel loaders. Commercial Vehicle Technology Symposium, Kaiserslautern, 2014.

[9] Filla, R. und Frank, B.: Towards Finding the Optimal Bucket Filling Strategy through Simulation. The 15th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Linköping, 2017.

[10] West Side W Tech tips: No time for idling - Proper Use of Idle Limiters and Shutdown Systems, West Side Tractor Sales, URL - www.westsidettractorsales.com/Documents/Ctrl_Hyperlink/Tech_Tips_Issue_One_uid_10222013213182.pdf, Stand 29.11.2017.

[11] Schnauber, H.: Arbeitswissenschaft. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1979.

[12] Frank, B. et al.: On increasing fuel efficiency by operator assistant systems in a wheel loader. In VTI, Changchun, China, 2012.

Muss für den Fahrer kein Platz auf der Maschine mehr vorgesehen werden, ergeben sich neue Möglichkeiten im grundlegenden Maschinendesign. Die Kabine gibt Bauraum zum einen durch ihr eigenes Volumen frei, zum anderen auch Bauraum um die Kabine herum, da kein Sichtfeld mehr freigehalten werden muss. Dieser zusätzliche Platz kann beispielsweise für alternative Antriebssysteme genutzt werden.

Des Weiteren sind auch Änderungen in der Skalierung im Sinne von Schwarmssystemen möglich indem eine große Maschine durch mehrere kleinere Einheiten ersetzt wird. Dabei können Änderungen in der Flexibilität und in der Reaktionsfähigkeit entstehen. Hierbei ist zu prüfen, ob der Ersatz einer Arbeitsmaschine durch viele Kleinen die Treibhausgase nicht erhöhen würden.

Die Erfassung arbeitsprozessrelevanter Größen im Betrieb durch Prozesssensorik ermöglicht eine umfangreiche Bewertung und Dokumentation des Arbeitsergebnisses. Außerdem ist je nach Anwendungsfall das direkte Messen von Größen möglich, die der Fahrer bisher nur geschätzt hat. Hierdurch steigt wiederum die Präzision und Qualität des Arbeitsergebnisses.

ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Die Reduktion von Treibhausgasen ist erforderlich, um den Klimawandel zu bremsen und die politischen Ziele zu erfüllen. Die

Betriebseffizienz spielt dabei eine Rolle und lässt sich in Einflüsse wie „Maschinenführer“ und „Maschinenzustand bei Warte- oder Stillstandszeiten“ einteilen.

Durch den Einsatz von Automatisierung in mobilen Arbeitsmaschinen kann sich die CO₂e-Emissionsmenge ändern. Durch automatisierte Arbeitsprozesse kann bei gleichbleibendem Ergebnis der Fahrereinfluss auf den Kraftstoff und damit auf CO₂e-Emissionen reduziert werden bzw. entfallen. Stillstandszeiten können durch eine effizientere Logistik vernetzter Maschinen oder einfache Techniken wie Start-Stopp-Systeme reduziert bzw. vermieden werden.

Zur weiteren Verbreitung von Automatisierung in mobilen Arbeitsmaschinen ist die Entwicklung von Steuerungen und Algorithmen notwendig, welche in der Lage sind, möglichst viele Prozesse zu automatisieren und auch auf mögliche Unvorhersehbarkeiten zu reagieren. Hierfür müssen die prozessrelevanten Ein- und Ausgangsparameter identifiziert und dem Steuerungssysteme zur Verfügung gestellt werden. Die Maschinen müssen für das Agieren in einer unbekannteren, sich verändernder Umgebung mit Umfeldsensorik ausgestattet werden. Für die Überwachung des Arbeitsprozesses müssen Konzepte und neue Sensorik erforscht werden. Gleichzeitig ist es wichtig, für automatisierte mobile Arbeitsmaschinen eine Akzeptanz bei der Bevölkerung zu schaffen.

Foto: Aufmacher fotolia/ OlegDoroshin

HIGH-CURRENT, SOLID STATE J1939 CAN CONTROL

INTELLIGENT EQUIPMENT INTEGRATION

Steigern Sie die Integration Ihrer Ausrüstung in das digitale Zeitalter, um eine verbesserte Diagnose, eine Fehlerbehebung auf dem Bildschirm und eine höhere Benutzereffizienz zu erreichen. Unsere robusten Intelligent Xpansion™-Module verfügen über digitale Schaltfunktionen und bis zu 15 Ampere-Ausgänge in einem kompakten, abgedichteten Gehäuse und können aus der Ferne montiert werden, um die Verdrahtungskosten erheblich zu reduzieren. Fügen Sie diese Module nahtlos in unsere robusten PowerView®-Displays ein, um die gesamte Ausrüstung zu steuern.

EFFICIENT. COST EFFECTIVE. EASY INSTALLATION

ENOVATIONCONTROLS.COM
SALES@ENOVATIONCONTROLS.EU

MURPHY
by ENOVATION CONTROLS