

ENDBERICHT

FFG Projektnummer	848921	eCall Antragsnummer	5189306
Kurztitel	Betriebsstoffverbrauch Baumaschinen	FörderungsnehmerIn	ÖBV
Bericht Nr.	1	Berichtszeitraum	11.2014 – 10.2015
Bericht erstellt von	DI Christoph Winkler, DI Michael Pauser, Prof. Hans Georg Jodl		

Richtwert für den Umfang: 10-20 Seiten

1. Ziele und Ergebnisse

- Wurden die dem Förderungsvertrag zugrunde liegenden Ziele erreicht?
Sind diese Ziele noch aktuell bzw. realistisch?
Achtung: Änderungen von Zielen erfordern eine Genehmigung durch die FFG.
- Vergleichen Sie die Ziele mit den erreichten Ergebnissen.
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Auszug Forschungsantrag (10/2014)

Das **technische Ziel** ist vor allem die Entwicklung eines Standardverfahrens zur Ermittlung des Betriebsstoffverbrauchs von Baumaschinen. Alle wesentlichen Einflussparameter auf den Verbrauch sind zu identifizieren bzw. quantifizieren. Die Schwierigkeit liegt vor allem darin, Verbrauchsdaten zu eruieren und diese mit den maschinentechnischen bzw. baustellenbezogenen Rahmenbedingungen zu verknüpfen. **Vorwiegendes Ziel** ist es, die Kalkulation des Betriebsstoffverbrauchs von Baumaschinen auf ein neues Qualitätsniveau zu bringen. Parallel soll ein **Kalkulations-Tool** mitentwickelt werden, mit dem es möglich sein wird, Betriebsstoffverbräuche über wenige Eingaben zu erhalten. **Weitere Ziele** betreffen den praxisgerechten Umgang, das Aufzeigen von Möglichkeiten mit Telematikdaten von Baumaschinen und das Finden von Effizienzsteigerungen bzw. Einsparungspotentialen im betrieblichen Bauprozess. Möglichkeiten zur Förderung von ökoefizienten Bauprozessen.

Die gesteckten Ziele sind immer noch aktuell und ihr Erreichen realistisch. Die Vorgangsweise zur Zielerreichung und die bisher gefundenen Einflussparameter werden unter Punkt 2.2 beschrieben. Auch auf die geplante Kalkulations-Software und die weiteren Ziele (u.a. Möglichkeiten Telematikdaten, Effizienzsteigerungen) wird darin eingegangen.

Highlights

- Aufzeigen von Differenzen bezüglich der Kalkulationsansätze bei Literatur-, Praxis- und tatsächlichen Betriebsstoffverbrauchswerten
- Festlegung von durchschnittlichen Kraftstoffverbräuchen für definierte Maschinengruppen
- Finden und bewerten von diversen Einflussfaktoren (z.B. Leerlaufanteil, Verfuhrdistanz, Umschlagsmenge) auf den Betriebsstoffverbrauch abhängig vom jeweiligen Maschinentyp
- Entwurf einer Methodik für den Umgang mit Schmierstoffverbrauch bzw. -kosten
- Nutzung von Telematikdaten im Baubetrieb
 - „digitales“ Baumaschinentagebuch (z.B. Einsatzzeitennachweis)
 - Prozessoptimierung (z.B. Leerlaufzeiten)
 - Maschinendisposition
- Erkennung von Potentialen bezüglich der Optimierung von Bauprozessen
 - Möglichkeiten im Bereich: *Ausschreibung und Vergabe*
 - Möglichkeiten zur Verringerung von Leerlaufanteilen
 - ökonomische und ökologische Betrachtung von Einsparungen

Probleme bei der Zielerreichung

Problematisch gestaltet sich vor allem die retrospektive Verknüpfung der Verbrauchsdaten mit den baustellenspezifischen Einsatzbedingungen. Dies liegt vorwiegend an dem zu geringen Detaillierungsgrad der bisherigen Baustellendokumentation (u.a. Polierberichte, Fotos) im Bereich der Baumaschinen. Daher wurde bzw. wird weiterhin die proaktive Dokumentation, mittels der entworfenen Dokumentationslisten auf den Baustellen, forciert. Es gilt dahingehend das Baustellenteam einzuweisen bzw. zu motivieren. Dieser Faktor ist nur bedingt direkt beeinflussbar bzw. kalkulierbar und spiegelt sich schlussendlich im Projektergebnis wider. Es wird mit einer Rücklaufquote von ca. 30-50% gerechnet.

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

Erläuterung:

Die Tabellen sind analog zum Förderungsansuchen aufgebaut.

Basistermin: Termin laut Förderungsansuchen bzw. laut Vertrag gültigem Projektplan

Aktuelle Planung: Termin laut zum Zeitpunkt der Berichtslegung gültiger Planung

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anfang	Ende	Anfang	Ende	
1	Datenerhebung	80%	11/14	02/15	11/14	06/16	Das AP ist grundsätzlich abgeschlossen. Jedoch ergeben sich durch getätigte Erkenntnisse bei den Referenzaufnahmen auf den Baustellen immer wieder neue Betätigungsfelder, die eine Fortsetzung der Datenerhebung erforderlich machen.
2	Standardbedingungen / Einflussparameter	80%	03/15	10/15	03/15	04/16	Die zu untersuchten Maschinentypen wurden festgelegt. In die Untersuchungen werden rund 80 Maschinen miteinbezogen. Die grundsätzlichen Einsatzbedingungen bzw. Einflussparameter sind abgegrenzt. Aufgrund der Ergebnisse der Referenzaufnahmen sollen sich die berücksichtigbaren Bedingungen und Parameter schließlich ergeben.
3	Referenzaufnahmen	50%	04/15	03/16	04/15	03/16	Die Dokumentationslisten für die Referenzaufnahmen auf den Baustellen oder im Tagebau wurden erstellt. Diese reichen je nach Maschinenart und Bauvorhaben von Excel-Listen (u.a. Baustellenpersonal) bis zu Formularen zum Ankreuzen (u.a. Maschinist). Untersuchungen laufen derzeit auf mehr als 20 Bauvorhaben. Da Baumaschinen häufigen Standortwechseln ausgesetzt sind, wurde eine digitale Karte erstellt um die Koordinationsanforderungen zu meistern. Die Bauvorhaben werden nach dem Standort der Maschinen festgelegt.

4	Auswertung	30%	04/15	06/16	04/15	06/16	Im Zentrum der Auswertungen steht die Verknüpfung der baustellenspezifischen (u.a. Referenzaufnahmen) mit den maschinentechnischen Daten (u.a. Telemetriedaten). Die Auswertungen erfolgen einerseits mittels deskriptiver Statistik und andererseits mittels Regressionsanalysen.
5	Festlegung Einflussparameter	40%	03/16	06/16	08/15	06/16	Für das Gros der Maschinen konnten die bedeutendsten Einflussfaktoren auf den Kraftstoffverbrauch bereits gefunden werden. Dies ist neben dem Leerlaufanteil, der für alle Maschinen den wesentlichsten Einfluss auf den Verbrauch aufweist, abhängig vom jeweiligen Maschinentyp.
6	Entwicklung Standardverfahren	20%	04/16	08/16	06/15	08/16	Grundlagen zum geplanten Standardverfahren bzw. Kalkulations-Tool konnten bereits erarbeitet werden. Insbesondere für den Schmierstoffverbrauch konnte die Berechnungs-Systematik bereits festgelegt werden.
7	Ökoeffiziente Bauprozesse	30%	08/16	10/16	06/15	10/16	Überlegungen zur Prozessoptimierung hinsichtlich Bau(maschinen)-prozesse wurden bereits angestellt. Beispiele hierfür sind: Senkung von Leerlaufanteilen, Einsatzmöglichkeiten von Telemetriedaten oder die Adaptierung der Ausschreibungsgestaltung hinsichtlich eines ökoeffizienten Einsatzes von Baumaschinen.

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten, strukturiert nach den Arbeitspaketen.

2.2.0 Grundlagen

Die Grundlagen stellen das Projektfundament dar. Diese Basisdaten sind wesentlich für das Verständnis von Zusammenhängen und den Projekterfolg. Die Grundlagen umfassen u.a. die Projekttrandbedingungen, Veränderungen am Sektor der Baumaschinen, Arten der Betriebsstoffe, Standardwerte des Betriebsstoffverbrauchs in Literatur und Praxis, Emissionen von Baumaschinen, Bestand an Baumaschinen, Einfluss des Betriebsstoffverbrauchs bzw. der -kosten auf die Projektgesamtkosten etc. Einige wesentliche Punkte werden folgend in den Bericht mitaufgenommen.

Das Projekt wird von drei Randbedingungen beeinflusst: gesetzliche Bestimmungen, ökonomische und ökologische Faktoren. Zu den gesetzlichen Bestimmungen gehören u.a. Vorgaben zu CO₂- und Schadstoffemissionen oder des Energieeffizienzgesetzes. Der ökonomische Faktor wird vorwiegend durch den Ölpreis getrieben und der ökologische Faktor wird durch den Klimawandel (CO₂-Ausstoß durch Kraftstoffverbrennung) oder Immissionen im Nahbereich von Baustellen bestimmt.

Neben systemtechnischer und betrieblicher Effizienzsteigerung im Baumaschinensektor steht die digitale Datenvernetzung im Fokus der Entwicklung. Für die Projektabwicklung sind insbesondere die digitalen Telemetriedaten der Baumaschinen relevant. Die folgende Abbildung beschreibt die Bestandteile eines Telematiksystems. Über eine CAN-Bus Schnittstelle werden die mittels Sensoren erfassten Daten (z.B. Kraftstoffverbrauch, Betriebsstunden) an die Telematikeinheit übertragen. Die in dieser Einheit gespeicherten Daten werden mittels Mobilfunk an einen Server übertragen. Auf die hier gespeicherten Daten hat man dann über ein Webportal weltweiten Zugriff. Positionsdaten werden mittels GPS erfasst.

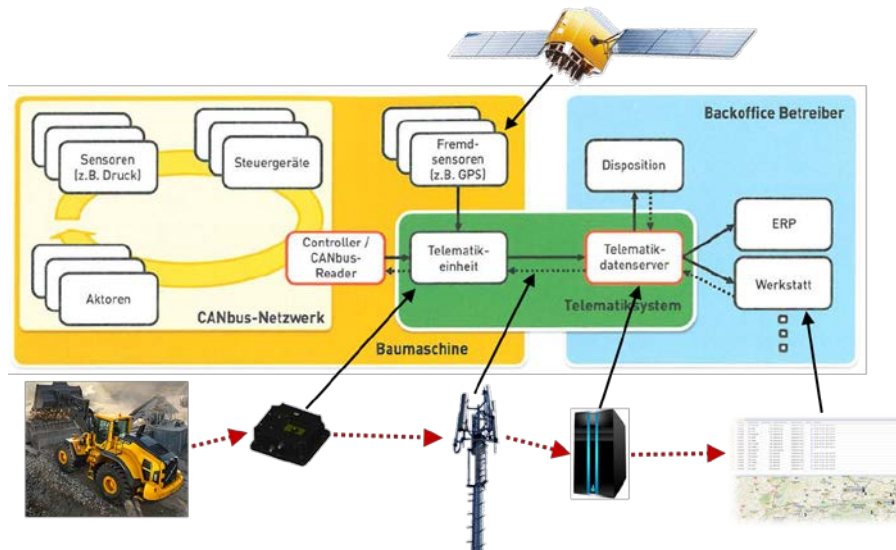


Abb. 1: Aufbau Telematikeinheit¹

Interessant ist, wie sich die Emissionen im Off-Road- bzw. Baumaschinenbereich darstellen. Der österreichische Sachstandsbericht „Klimawandel 2014“ weist dem Off-Road-Bereich rund 15 bis 20% der gesamten CO₂-Emissionen im Verkehrssektor zu. Aufgrund einer Studie des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt zum Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Off-Road-Sektors kann mit einem Baumaschinenanteil von ca. 40% im Bereich der Off-Road-Emissionen gerechnet werden. Der Verkehrssektor hat einen Anteil von rund 20% (ohne Exportanteil) an den CO₂-Emissionen Österreichs. Die gesamten jährlichen CO₂-Emissionen in Österreich belaufen sich auf ca. 80 Mio.t. Die CO₂-Emissionen im Baumaschinenbereich ergeben sich demnach auf ungefähr 1 Mio.t/a, was sich gesamtstaatlich gesehen zwischen 1,0 und 1,5% beläuft. Die Abb. 2 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor. Auffällig ist hierbei eine prognostizierte Verringerung der Emissionen von 50% im PKW-Bereich von 2010 bis 2030, hingegen soll es im Off-Road-Bereich zu einem leichten Anstieg der Emissionen kommen. Geht man davon aus, wird sich der Anteil des Off-Road-Bereiches an den Gesamtemissionen im Verkehrssektor um bis zu 10% auf 25 bis 30% erhöhen.

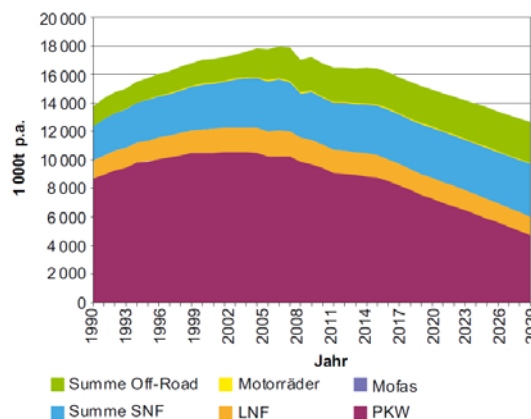


Abb. 2: Entwicklung der CO₂-Emissionen des Verkehrssektors in Österreich²

¹ adaptiert tHIS: Flottenmanagement 2.0, Flotte(n)-Gewinne, 2/2012, S 50

Die EU-Richtlinie 97/68/EG bestimmt die Gesetzgebung bezüglich der Partikel- und NO_x-Emissionen. Diese strebt eine deutliche Senkung der Emissionen an. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die prognostizierte zukünftige Entwicklung der Emissionen im Off-Road-Bereich. Bis 2020 sind Reduktionen von bis zu 50%, bis 2030 von über 60% zu erwarten. Für einen Großteil der Emissionen werden dann nur mehr ältere Maschinen ohne Reglementierung bzw. kleinere Maschinen die sich auf weniger strikte Vorgaben beschränken verantwortlich sein. Potentiale zur Schadstoffreduktion sind in AP 7 zu finden.

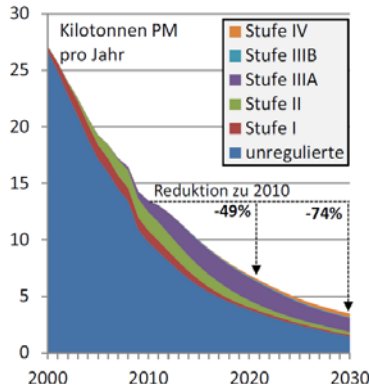


Abb. 3: Entwicklung der Partikel-Emissionen bei mobilen Maschinen³

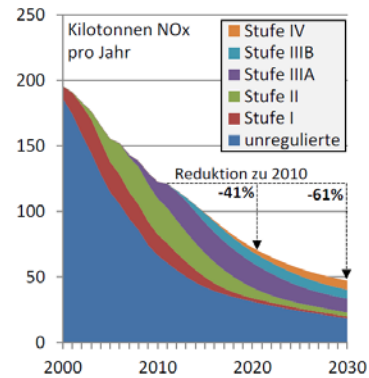


Abb. 4: Entwicklung der NO_x-Emissionen bei mobilen Maschinen⁴

Welche Baumaschinen für eine Verbrauchsuntersuchung relevant sind, wurden anhand von Studien zum Baumaschinenbestand definiert. Abb. 5 stellt den berechneten Maschinenbestand im Bereich Tiefbau in Deutschland dar (in Bezug auf Österreich gibt es keine derartigen Studien). Kleinmaschinen stellen anzahlmäßig die größten beiden Gruppen dar, sind jedoch vom Gesamtverbrauch her nicht relevant. Bedeutsam sind vor allem Raupenbagger, Radlader (>80Hp), Planiertraupe, Mobilbagger etc. Verdichtungsmaschinen (>19kW), die nicht in der Grafik aufscheinen, befinden sich anzahlmäßig im Bereich der Radlader. Abb. 6 zeigt die Verteilung der kraftstoffbetriebenen Baumaschinen in unterschiedlichen Bausparten. Dem Bereich „Tiefbau“ werden u.a. die zuvor genannten Maschinen zugeordnet. In den Bereich „Hochbau“ fallen z.B. Maschinen wie Autokrane und Betonmischer, der Bereich „Sonstige“ umfasst u.a. Kompressoren und Stapler. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Struktur in Österreich ähnlich darstellt. In AP 2 wird noch detaillierter auf diese Thematik eingegangen.

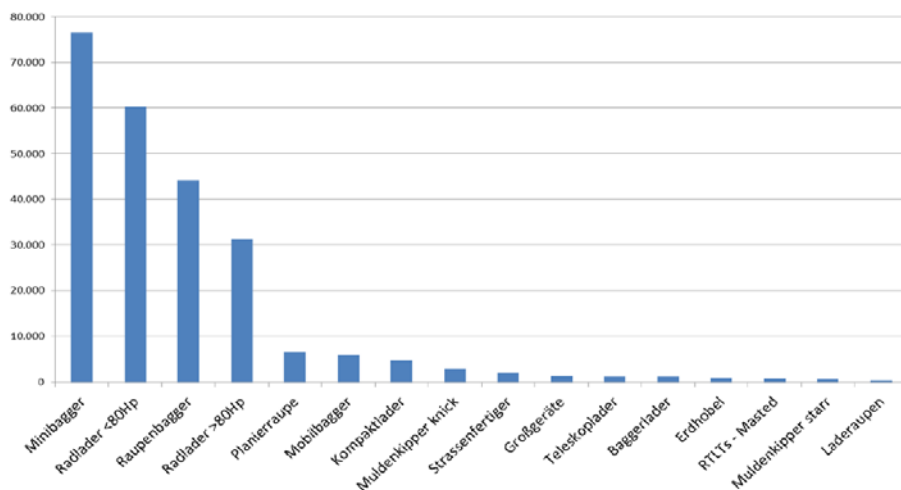


Abb. 5: Baumaschinenbestand >19 kW: Tiefbau⁵

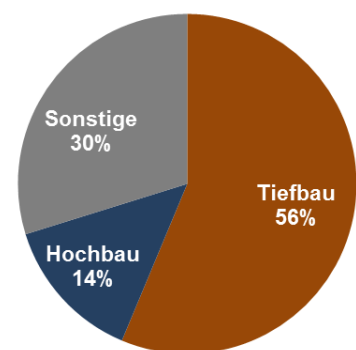


Abb. 6: Baumaschinenbestand nach Kategorie⁶

² vgl. APCC: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014, 2014, S 905

³ vgl. Helms et al.: Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung [...], 24/2014, S 58

⁴ vgl. Kunze et al.: Mobile Baumaschinen – Trends und neue [...], ATZ offhighway, 01/2010, S 6-22

⁵ vgl. Forschungsv. Bau- und Baustoffm.: Ermittlung des Baumaschinenbestandes [...], 2015, S 25

⁶ Datenbasis für Auswertung: vgl. Helms et al.: Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung [...], 24/2014, S 75

Zusätzlich sind auch die verbrauchten Kraftstoffmengen je Maschinentyp von Relevanz. Eine Schweizer Studie hat sich dieser Problematik angenommen. Die größten Anteile am Dieserverbrauch weisen Maschinen wie Hydraulikbagger (Raupen- und Mobilbagger) (~31%), Lader (~34%) und Muldenfahrzeuge (Dumper/Kipper) (~12%) auf.⁷

2.2.1 AP 1: Datenerhebung

Die Datenauswertung umfasst ca. 80 Maschinen unterschiedlicher Typen, Hersteller und Nutzer. Um den Überblick über die gesamten Maschinen zu wahren, wurde eine interaktive onlinebasierte Karte (Google: My Maps) erstellt. Der jeweiligen Maschine wird neben dem Typ der Standort und Informationen zur jeweiligen Baustelle (Art, Kontaktperson) zugeordnet. Alle Maschinen sind derzeit entweder in Österreich oder Deutschland auf diversen Baustellen bzw. im Tagebau im Einsatz. Die folgende Abbildung gibt eine grundlegende Vorstellung der Übersichtskarte.



Abb. 7: Übersichtskarte: Baumaschinen

Die Datenerhebung des Betriebsstoffverbrauchs wird in die drei Bereiche, Kraftstoff, Schmierstoffe, Reduktionsmittel (AdBlue®), eingeteilt. Wobei auf dem Kraftstoffbereich (Diesel) das Hauptaugenmerk liegt.

Kraftstoff

Im Bereich der Datenerhebung war es zu Beginn notwendig zu klären, welche Maschinen prinzipiell für eine Auswertung zur Verfügung stehen. Es war relativ schnell klar, dass es sinnvoll ist, sich vorwiegend auf Maschinen zu konzentrieren, die mit einem Telematiksystem ausgestattet sind. Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft die Bekanntgabe der Baustellenkontakte um die Maschinendaten mit den baustellenspezifischen Daten verknüpfen zu können. Die Verbrauchsdaten werden dann demensprechend softwaretechnisch aufbereitet und hinsichtlich auf Datenplausibilität überprüft. Es wurde zunächst versucht, die retrospektiven Verbrauchsdaten mit den jeweiligen Baustellendaten zu verknüpfen. Jedoch ist dies aufgrund der derzeitigen Dokumentationslage nur eingeschränkt möglich. Somit wird vorwiegend auf eine prospektive Betrachtungsweise zurückgegriffen. D.h. es werden auf den Baustellen mit eigens dafür entworfenen Dokumentationslisten tägliche Tätigkeits- bzw. Leistungsaufzeichnungen durchgeführt (siehe AP 3). Den ungefähren Ablauf der Datenerhebung bzw. die Betrachtungsweise kann Abb. 8 entnommen werden.

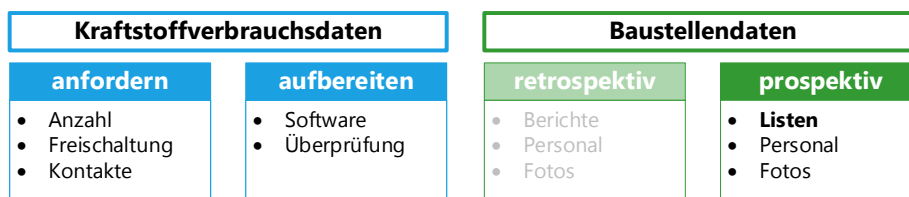


Abb. 8: Datenerhebung und Verknüpfung: Kraftstoffverbrauch

⁷ vgl. BAfU.: Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors, 2008, S 71

Schmierstoffe

Der Begriff Schmierstoffe umfasst Betriebsflüssigkeiten, die für den Betrieb der jeweiligen Maschine notwendig sind (ausgenommen Kraftstoff und Reduktionsmittel). Dazu zählen Schmieröle wie z.B. Motoröl, Getriebeöl, Hydrauliköl und Flüssigkeiten wie Kühlmittel. Informationen konnten hier, einerseits in enger Zusammenarbeit mit den Serviceverantwortlichen der Bauunternehmen und andererseits durch zur Verfügung Stellung von Datenmaterial seitens der Hersteller gewonnen werden. Weitere Informationen zum Schmierstoffverbrauch sind im AP 6 zu finden.

Reduktionsmittel (AdBlue®)

Um die strikten Grenzwerte im Bereich der Partikel- bzw. NO_x-Emissionen in den Griff zu bekommen, setzen viele Hersteller auf die selektive katalytische Reduktion (SCR). Hiefür ist ein Reduktionsmittel, das in Europa unter den Markennamen „AdBlue®“ vertrieben wird, notwendig. Dieses wird in den Abgasstrang eingespritzt und sorgt im Rahmen einer chemischen Reaktion für die Umwandlung von schädlichen Stickoxiden in unschädliche Stoffe (H₂O, N₂). Im Rahmen der Untersuchungen sind derzeit zwei Maschinen mit einem SCR-System ausgestattet. Informationen zum Reduktionsmittelverbrauch sind in AP 6 zu finden.

Datenerhebung: Kalkulation

Ein wesentlicher Punkt der Datenerhebung betrifft den derzeitigen Umgang mit dem Betriebsstoffverbrauch in der Kalkulation. Einerseits betrifft dies den derzeitigen Umgang mit Literaturangaben und andererseits die baupraktische Anwendung dieses Themas. Über 20 baubetriebliche Standardwerke wurden hinsichtlich der Maschinenkalkulation, mit dem Schwerpunkt Betriebsstoffverbrauch, analysiert. Zumeist wird auf die Baugeräteliste (welche das Standardwerk für Baumaschinen darstellt) verwiesen. Die Durchschnittswerte für den Kraftstoffverbrauch, unabhängig von der Maschine, liegen bei 0,15 l/kWh und für den Schmierstoffverbrauch wird mit einem rund 10%igen Zuschlag auf die Kraftstoffkosten gerechnet.

In der Praxiskalkulation wird neben den zuvor genannten Standardwerten häufig auf einen geräteleistungsabhängigen Algorithmus zurückgegriffen. Es sind hier folgende drei Leistungsbereiche zu unterscheiden:

- Bereich 1: 20 bis 100 kW → 0,20 bis 0,135 l/kWh
- Bereich 2: 100 bis 300 kW → 0,135 bis 0,11 l/kWh
- Bereich 3: > 300 kW → 0,11 l/kWh (konstant)

Die Bereiche 1 und 2 sind von einem geradlinig sinkenden Verbrauchsverlauf inkl. oberer und unterer Schranke gekennzeichnet. Der Bereich 3 weist einen konstanten Verlauf auf. Die nachstehende Grafik veranschaulicht die drei Bereiche.

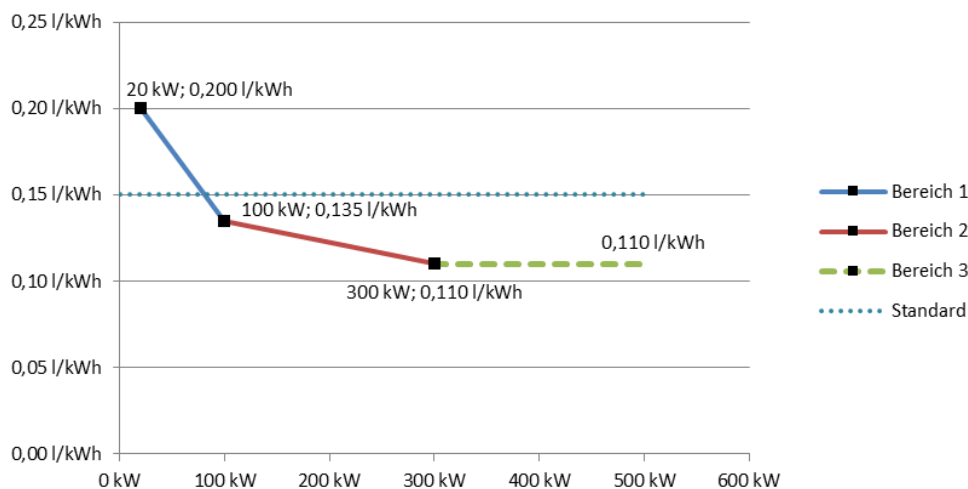


Abb. 9: Kalkulationsannahme leistungsabhängiger Verbrauch

Für den Schmierstoffverbrauch werden abhängig von der Kalkulationsstrategie des jeweiligen Unternehmens entweder als Kostenzuschlag 0 bis 10% den Kraftstoffkosten oder als Mengenzuschlag der Kraftstoffmenge aufgeschlagen.

Ein zentraler Punkt betrifft die Auswirkung der Betriebsstoffkosten auf die Maschinengesamtkosten bzw. die Projektgesamtkosten. Aufgrund vieler kalkulativer Einflussmöglichkeiten auf die Maschinenkosten, wurden neben einem Standardfall, vier weitere Fälle mit festgelegten Randbedingungen durchkalkuliert. Diese Kalkulationsbeispiele wurden für unterschiedliche Maschinentypen und Leistungsgrößen durchgeführt. Im Standardfall liegt der Anteil der Betriebsstoffkosten an den Maschinengesamtkosten im Bereich von 20-30%. In Extremfällen kann der Einfluss unter 15% bzw. über 40% liegen. Eine weitere Auswertung beschäftigt sich mit den Maschinengesamtkosten an den Projektgesamtkosten. Hier ist zunächst zwischen bestimmten Bausparten (Hochbau, Straßenbau, Erdbau) zu unterscheiden. Im Bereich des Hochbaus kann der Anteil, mit 0-5%, als relativ gering betrachtet werden. Hingegen liegen diese Kosten im Straßenbau bei rund 10-20% und im Erdbau bei 30-50%. Somit nehmen die Betriebsstoffkosten in den Bereichen Straßen- bzw. Erdbau einen wesentlichen Faktor von bis zu 15% der Projektgesamtkosten ein. Näheres kann Abb. 10 entnommen werden.

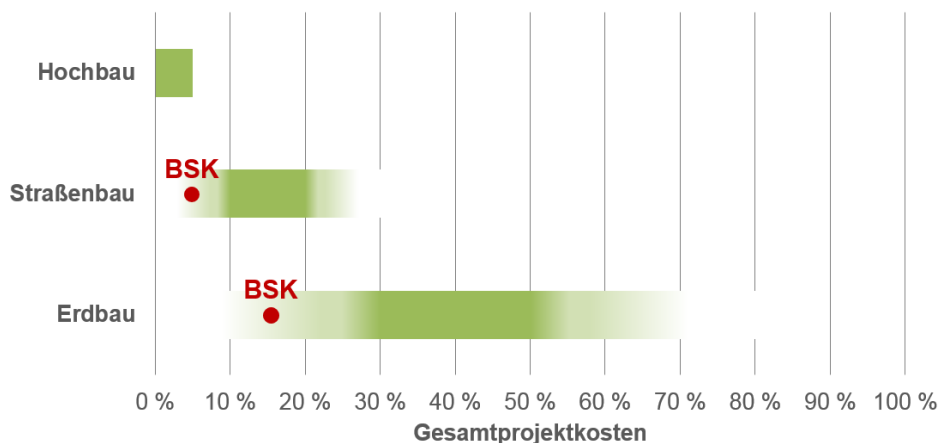


Abb. 10: Anteil der Maschinenkosten an den Projektgesamtkosten

2.2.2 AP 2: Standardbedingungen / Einflussparameter

Aufgrund der Erkenntnisse der Grundlagenaufbereitung wurde entschieden für die gesamte Baumaschinen-Leistungskette des Erd- und Straßenbaus Verbrauchsangaben zu eruieren, wobei das Gros der Maschinen einer quantitativen Verbrauchsuntersuchung unterzogen wird. Folgende Maschinen werden in die Auswertungen miteinbezogen:

- Raupenbagger
- Mobilbagger (qualitativ)
- Radlader
- Muldenfahrzeug: Knicklenkung, Starrrahmen
- Planierdraupe
- Grader (qualitativ)
- Walze: Walzenzug, Tandemwalze (qualitativ)
- Fertiger: Rad, Kette (qualitativ)

Im Forschungsantrag wurden bezüglich der Verbrauchsbeeinflussung folgende vier Obergruppen genannt: Maschine, Einsatzbedingungen, Betriebsmittel, Faktor „Mensch“. Wie die Auswertungen zeigen (siehe AP 4), hat neben dem **Maschinentyp** und den **Einsatzbedingungen** vorwiegend der **Leistungswert** (z.B. m³/h) einen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Variationen im Bereich der Betriebsmittel, wie z.B. Biodiesel, Bioöle und Premiumdiesel spielen eine sehr untergeordnete Rolle im praktischen Baumaschinenbetrieb. Weiters ist auch die Beeinflussbarkeit des Verbrauchs lt. Erfahrungen eher als gering anzusehen. Beim Faktor „Mensch“ kann davon ausgegangen werden, dass die Maschinisten in der Baupraxis durchaus im richtigen Umgang mit der Baumaschine geübt sind. Die Unterschiede die sich ergeben, werden über den Leistungswert erfasst. Differenzen die sich etwa durch differierende Betriebsmodi oder atypische Leerlaufanteile ergeben, können mittels der Telematikdaten berücksichtigt werden. Die folgende Abbildung stellt das zuvor Beschriebene dar.

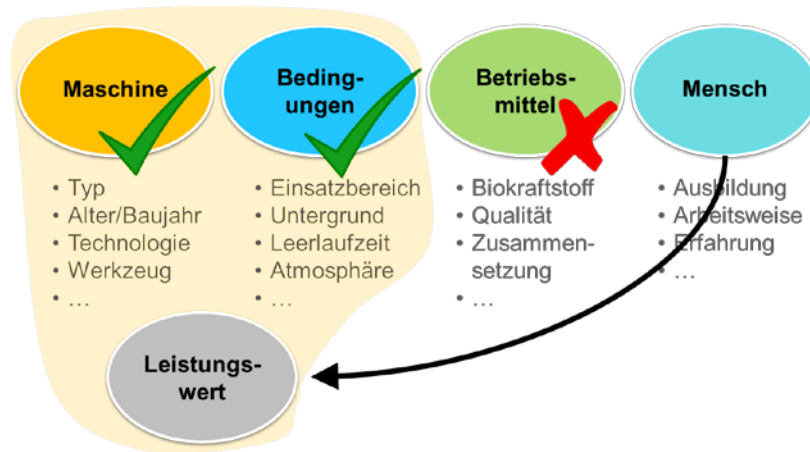


Abb. 11: Überblick: Verbrauchsbeeinflussende Faktoren

Für die Maschinen, die einer quantitativen Verbrauchsanalyse unterzogen werden, wurden die zu untersuchenden Faktoren zu einem Großteil definiert. Diese Faktoren finden sich in den Dokumentationslisten (siehe AP 3) wieder. Folgend eine Aufstellung der Maschinen und dazugehörige Faktoren:

- Raupenbagger
 - Tätigkeit: Lösen/Laden, Profilieren, Schrämmarbeiten, Kanalarbeiten etc.
 - Material: Bodenklassen
 - Leistungswert
- Radlader
 - Einsatzort: Werk, Tunnelbau, Tagebau etc.
 - Tätigkeit: Laden, Laden & Verfuhr
 - Verfuhrdistanz
 - Untergrund: Material
 - Leistungswert
- Muldenfahrzeug
 - Verfuhrdistanz
 - Untergrund: Material, Steigung/Gefälle
 - Leistungswert
- Planierraupe
 - Tätigkeit: Abschub, Einbau, Auftrag, Reißen
 - Material: Bodenklassen
 - Leistungswert

2.2.3 AP 3: Referenzaufnahmen

Die Dokumentation der Tätigkeiten von Baumaschinen auf den Baustellen spielen im Rahmen des Forschungsprojekts eine zentrale Rolle. Die Planung der Referenzaufnahmen ist abhängig vom jeweiligen Standort der Baumaschinen. Mit der Durchführung der Aufnahmen wird vorwiegend das Baustellenteam vor Ort betraut. Zumeist sind neben den Leitungsorganen (Projektleiter, Bauleiter) der Baustelle vorwiegend der Polier und der Maschinist für die organisatorische Durchführung verantwortlich. Je nach Baustellenwechsel der Maschine, wechselt häufig auch das verantwortliche Baustellenteam, was wiederum neuen Organisationsaufwand verursacht. Weiters sind die Untersuchungsmöglichkeiten durch den derzeit noch geringen Ausstattungsgrad der Maschinen mit einer Telematikeinheit beschränkt. Eine weitere Herausforderung stellt daneben die Systemfreischaltung und somit der Datenzugang dar. Neben den Dokumentationslisten werden zusätzlich, soweit organisatorisch möglich, Fotos von den aktuellen Einsätzen angefordert. Wo es nicht möglich ist die Dokumentationslisten einzusetzen, wird mit tabellarischen Listen gearbeitet.

Die Dokumentationslisten wurden in MS-Excel unter Zuhilfenahme von VBA-Programmierung erstellt. Voreinstellungen in den Listen und das Hinzufügen von Fotos können somit schnell erfol-

gen. Wurden von Seiten des Baustellenteams die Anpassungen vorgenommen, ist im Normalfall ein tägliches Ausfüllen durch den Maschinisten gefordert. Für folgende Maschinen wurden Listen erstellt: Hydraulikbagger (Raupen- bzw. Mobilbagger), Radlader, Muldenfahrzeug, Planierraupe, Walze. Der Aufbau der Listen erfolgt immer nach einem ähnlichen Schema. Zum Inhalt zählen:

- Allgemeine Daten:
 - Unternehmen, Bauvorhaben, Ort
 - Datum und Zeit der Dokumentation
- Maschinendaten
 - Typenbezeichnung, Inventarnummer, Baujahr
 - Verwendetes Anbaugerät und Größe bzw. Inhalt
- Art der Tätigkeit (abhängig vom Maschinentyp)
- Materialeigenschaften (z.B. Bodenklassen)
- täglicher Leistungswert (z.B. m³/d, to/d)
- Anmerkungen: u.a. Sonstige Tätigkeiten bzw. Ereignisse, Witterung
- (Kraftstoffverbrauch: in Ausnahmefällen)

Bei dem Entwurf der Listen wurde darauf geachtet, dass die gesamten Daten auf einer A4-Seite Platz finden, da ansonsten die Handhabbarkeit seitens der Maschinisten nicht mehr praktikabel wäre. Zusätzlich werden die Listen aufgrund von Rückmeldungen laufend aktualisiert bzw. an örtliche Gegebenheiten angepasst.

Derzeit sind die Dokumentationslisten auf ca. 20 Bauvorhaben im Einsatz. Nach ersten Rückmeldungen kann mit einer Rücklaufquote von ungefähr 30-50% gerechnet werden. Es wird versucht die Dokumentationen soweit möglich bis Frühjahr 2016 weiter zu intensivieren.

2.2.4 AP 4: Auswertung

Die Auswertungen der Kraftstoffverbrauchsdaten erfolgt vorwiegend mittels deskriptiver Statistik unter Zuhilfenahme weiterer statistischer Methoden (Regressionsanalyse). Um sinnvolle Aussagen treffen zu können, wird auf die täglichen Verbrauchsangaben zurückgegriffen. Diese Angaben zu erfassen, verursacht abhängig vom System unterschiedlich viel an Aufwand. Bevor nun mit den Auswertungen begonnen werden kann, stellt sich häufig die Frage inwiefern die aus dem System generierten Verbrauchsangaben mit den realen Verbrauchsdaten übereinstimmen. Um die Frage beantworten zu können, wurden Maschinen herangezogen die vorwiegend zentralisiert, unter Zuhilfenahme einer Tankkarte, betankt werden. Dies betrifft Maschinen die im Tagebau oder der stationären Industrie eingesetzt werden. Die Differenzen liegen zu einem Großteil im Bereich von $\pm 5\%$. Dies bestätigt auch die Aussagen einiger befragten Experten.

Die untersuchten Maschinen werden, abhängig vom Einsatzgewicht, in bisher 16 Hauptgruppen eingeteilt. Bei Radladern scheint es aufgrund der Auswertungen sinnvoll zusätzlich Obergruppen je nach Einsatzbereich zu definieren.

In der baubetrieblichen Praxis wird der Kraftstoffverbrauch zumeist in Abhängigkeit zur Motorleistung gestellt. Jedoch gilt es hier zwischen Netto- und Bruttoleistung zu unterscheiden. Auswertungen zeigen, dass sich hier Unterschiede von bis zu 10% ergeben. Dies liegt in den unterschiedlichen Messverfahren, um die Netto- bzw. Bruttoleistung zu erhalten, begründet. Im Rahmen des Projekts wird ausnahmslos auf die Nettoleistung nach ISO 9249 bzw. SAE J1349 zurückgegriffen.

Zu Beginn der Auswertungen steht die grundsätzliche Höhe des Kraftstoffverbrauchs der Maschinenhauptgruppen im Fokus. Die Verbräuche der einzelnen Maschinen werden je Hauptgruppe in Balkendiagrammen dargestellt. Neben dem durchschnittlichen Verbrauch und der Standardabweichung der täglichen Verbräuche (vertikale schwarze Linien) der jeweiligen Maschine, werden der Mittelwert und die Standardabweichung der Gruppe dargestellt. Weiters wird der demensprechende durchschnittliche Leerlaufanteil in Prozent angezeigt. Hier lässt sich bereits ein gewisser Zusammenhang zwischen Leerlaufanteil und Verbrauch erahnen. Alle Werte stellen gewichtete Werte in Abhängigkeit von der täglichen Stundenanzahl dar. Die folgenden beiden Darstellungen sollen, das zuvor Beschriebene verbildlichen. Bei der Kategorie: Muldenfahrzeug mit Knicklenkung (MF-K) ergeben sich sehr große Standardabweichungen (Grund: siehe AP 5).

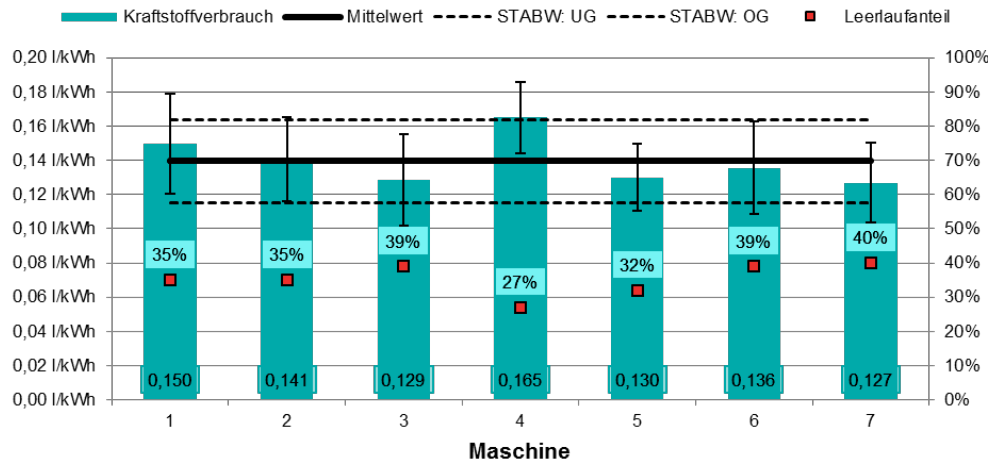


Abb. 12: Auswertung: Kraftstoffverbrauch – Kategorie: RB1

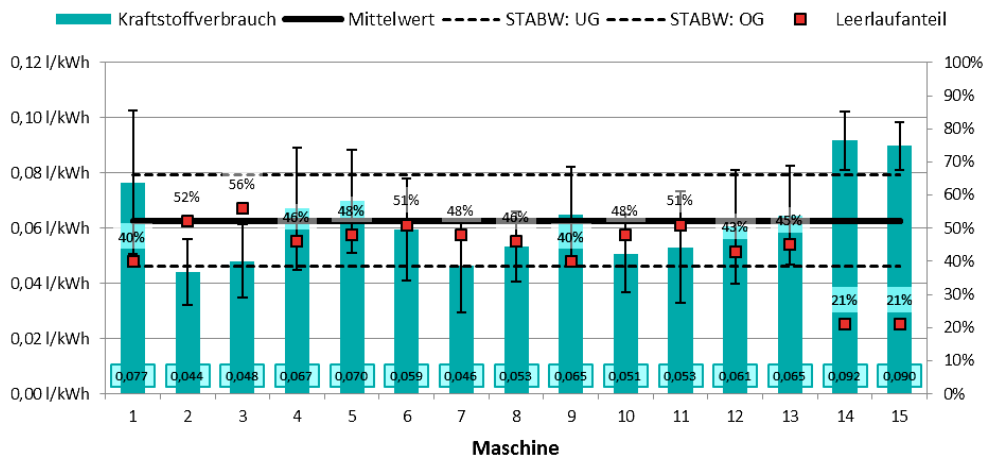


Abb. 13: Auswertung: Kraftstoffverbrauch – Kategorie: MF-K

In folgender tabellarischer Auflistung, finden sich alle bisher definierten Kategorien mit den dazugehörigen Kraftstoffverbräuchen (Mittelwert, Bereich) wider. Der Bereich stellt die Standardabweichung dar. Für eine bessere Vorstellung wird der Verbrauch zusätzlich in I/h abhängig von einer durchschnittlichen Leistung dargelegt. Für die rötlich hinterlegten Gerätegruppen konnten noch keine baubetrieblich relevanten Verbrauchswerte ermittelt werden.

Tab. 1: Auswertung: Kraftstoffverbrauch – Zusammenfassung
 *) Radlader: Obergruppen ergeben bessere Aussagen zum Verbrauch

Kategorie	Ø-Verbrauch [I/kWh]	Bandbreite [I/kWh]	Leistung [kW]	Bandbreite [I/h]
RB1: 20-25 to	0,14	0,12-0,16	110	13-18
RB2: 25-30 to	0,12	0,10-0,15	150	15-23
RB3: 30-50 to	0,12	0,10-0,15	200	20-30
RB4: >50 to	0,15	0,14-0,17	350	50-60
MB1: 10-15 to	0,11	0,09-0,13	80	7-11
MB2: 15-20 to	0,09	0,08-0,10	120	9-13
RL1: 20-25 to*	0,06	0,05-0,07		
RL2: 25-30 to*	0,10	0,08-0,12		
RL-OG1: Stat. Industrie	0,06	0,05-0,07	150	7-11
RL-OG2: Tagebau	0,11	0,09-0,13	250	20-30
RL-OG3: Tunnelbau	0,10	0,08-0,12	250	20-30
RL-OG4: Recycling	0,11	0,09-0,13	250	20-30
MF-K: 20-25 to	0,06	0,04-0,08	250	10-20

MF-S: 30-50 to	0,04	0,03-0,05	450	14-22
PR1: 15-25 to	0,12	0,08-0,16	125	10-20
GR1				
WA-Z1: 10-15 to	0,10	0,08-0,12	100	8-12
WA-T1				
SF-K1				
SF-R1				

Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch setzt sich aus Last- und Leerlaufverbrauchsanteilen zusammen. Sieht man sich den Last- und Leerlaufverbrauch genauer an, erkennt man, dass sich im Gegensatz zum durchschnittlichen Verbrauch, relativ geringe Schwankungsbreiten ergeben. Unterschiedliche Tätigkeiten sind mit gewissen unproduktiven Zeiten (Leerlaufzeiten) verbunden. Siehe hierfür AP 5 bzw. AP 6.

Wesentlich für das weitere Verständnis der folgenden Arbeitspakete ist die Höhe der Leerlaufzeiten an den Einsatzzeiten von Baumaschinen. Grundsätzlich lässt sich zwischen produktionsbedingten (0-10 min), organisatorischen (10-60 min) und atypischen Leerlaufzeiten (>0 min) unterscheiden. Die Tab. 2 stellt den derzeitigen Stand an Leerlaufanteilen unterschiedlicher Maschinentypen dar.

Tab. 2: Auswertung: Leerlaufanteile

Kategorie	Ø-LLA [%]
RB1, RB2, RB3	30-40
RB2: 25-30 to	30-40
RB3: 30-50 to	20-40
RB4: >50 to	35-55
MB1: 10-15 to	20-40

Die Höhe des Leerlaufverbrauchs ist von der zugewiesenen Motordrehzahl (zumeist <1.000 U/min) und von der Motorleistung abhängig. Auswertungen zeigen bezüglich der Motorleistungen einen linearen Zusammenhang. Somit lässt sich der Leerlaufverbrauchsanteil am Gesamtverbrauch recht gut bestimmen. Mittels folgender Formel kann der Anteil rechnerisch ermittelt werden.

$LLVA = \frac{BH \times LLA \times LLV \times ML}{GV}$	
LLVA	Leerlaufverbrauchsanteil [%]
BH	Betriebsstunden (betrachteter Abschnitt) [h]
LLA	Leerlaufanteil [%]
LLV	Leerlaufverbrauch [l/kWh]
ML	Motorleistung [kW]
GV	Gesamtverbrauch (betrachteter Abschnitt) [l]

Je nach Höhe des Leerlaufanteils liegt der Anteil des Leerlaufverbrauchs am Gesamtverbrauch bei rund **5 bis 10%**.

Auswertungen zum Schmierstoff- und Reduktionsmittelverbrauch sind unter AP 6 zu finden.

2.2.5 AP 5: Festlegung Einflussparameter

In diesem Arbeitspaket wird auszugsweise auf wesentliche Einflussparameter auf den Kraftstoffverbrauch unterschiedlicher Maschinentypen eingegangen. Der Anteil der Leerlaufbetriebszeiten an den täglichen Gesamtbetriebszeiten zählt zum bedeutendsten Beeinflussungsfaktor des Kraftstoffverbrauchs, unabhängig des Maschinentyps. Die folgende Abbildung soll diesen Umstand exemplarisch verdeutlichen. Anmerkung: Veränderungen ergeben sich bei einer in Betrieb befindlichen Abschaltautomatik.

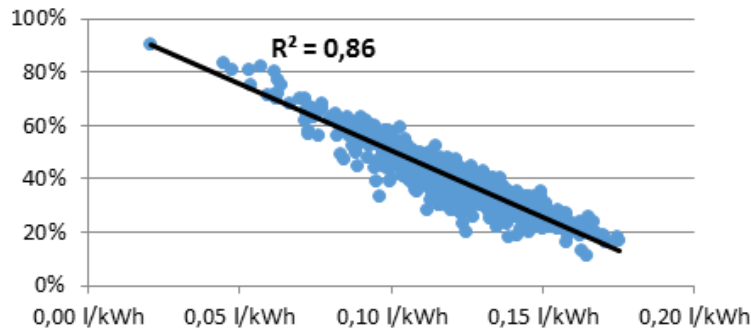


Abb. 14: Kategorie RB2: Verbrauch [l/kWh] und Leerlaufanteil [%]

Raupenbagger

Als exemplarisches Beispiel wird ein Raupenbagger der Kategorie „RB4“ herangezogen. Dieser ist stationär in einem Tagebau im Einsatz. Man kann hier gut den Einfluss gewisser Tätigkeiten auf den Verbrauch bzw. Leerlaufanteil erkennen. Weiters sieht man, wie sich die Standardabweichung, bei Zuordnung einer Tätigkeit, verringert. Die nachfolgende Tabelle gliedert die Tätigkeiten in drei Kategorien. Die Kategorie drei ist vor allem durch die Wartezeit zwischen den Ladevorgängen des Muldenfahrzeuges bestimmt. Daher ergeben sich hier häufig hohe Leerlaufanteile und eine höhere Standardabweichung.

Tab. 3: Kategorie RB4: Verbrauch in Abhängigkeit der Tätigkeit

Nr.	Kategorie	Mittelwert	σ (Stabw)	% σ v. MiW	\emptyset Leerlauf	Leistungsverbrauch
	Gesamt	44,9 l/h	7,2 l/h	16%	32%	0,12 l/kWh
1	Etage räumen (allgemein)	52,4 l/h	4,3 l/h	8%	23%	0,14 l/kWh
2	Etage räumen (Wand abräumen)	58,6 l/h	3,2 l/h	6%	15%	0,16 l/kWh
3	Brechgut fördern	41,2 l/h	4,1 l/h	10%	37%	0,11 l/kWh

Radlader

Als Beispiel wird ein Radlader herangezogen, der in der stationären Industrie zum Einsatz kommt. Grundsätzlich gleichen sich die täglichen Tätigkeiten (Beschickung von Aufgabetrichern). Es soll gezeigt werden inwiefern der Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit zur täglichen Produktionsleistung (Leistungswert: to/d) des Werks gestellt werden kann. Daneben wird der Einfluss der Produktionsleistung auf den Leerlaufanteil deutlich sichtbar. Nähere Details können der folgenden Abbildung entnommen werden.

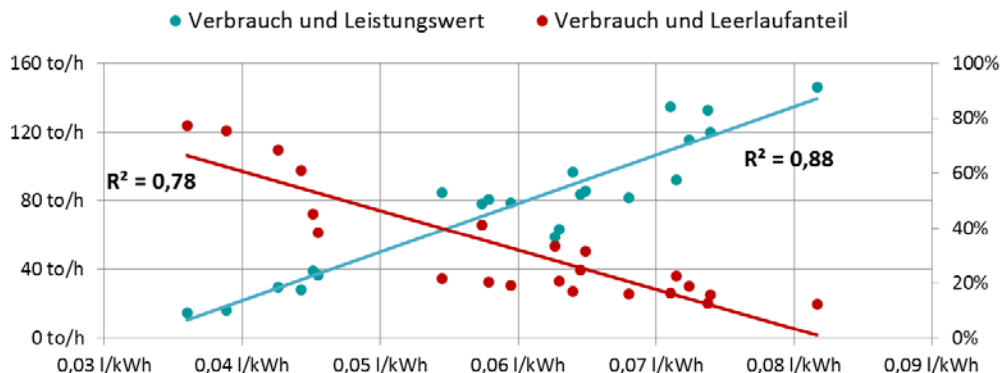


Abb. 15: Kategorie RB2: Verbrauch in Abhängigkeit der Produktionsleistung bzw. des Leerlaufanteils

werkzeug zugeordnet. Um vom Verbrauch des jeweiligen Maschinentyps (HG) auf den Tätigkeitsverbrauch (UG) schließen zu können, wird ausgehend vom Last- und Leerlaufverbrauch, der Tätigkeit ein sogenannter Tätigkeitsfaktor (TF) zugeordnet. Dieser stellt prinzipiell den Gegenpart zum Leerlaufanteil dar ($TF=1-LLA$). Gerade dieser Umstand ist wesentlich, denn durch vermehrten Einsatz von Abschaltautomatik wird sich der Leerlaufanteil dementsprechend verändern und die Durchschnittsverbräuche bei verringerten Betriebszeiten erhöhen. Jedoch verändert sich die Einsatzzeit der Maschine im Prinzip nicht und daher wird der Tätigkeitsfaktor zukünftig eine wesentliche Rolle einnehmen.

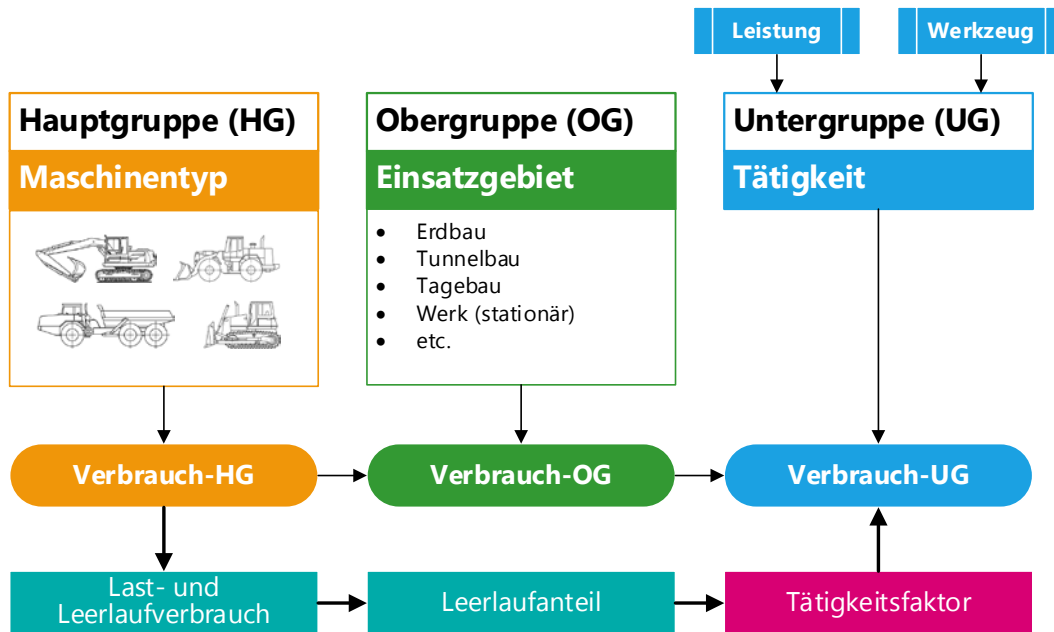


Abb. 18: Methodik Standardverfahren Kraftstoffverbrauch

Schmierstoffe

Das Standardverfahren bezüglich des Schmierstoffverbrauchs (inkl. Kühlmittel) konnte, in Absprache mit Verantwortlichen der Bauunternehmen und Hersteller, bereits weitestgehend festgelegt werden. Abb. 19 soll das Berechnungsschema des Schmierstoffverbrauchs verdeutlichen. Zu Beginn ist zwischen unterschiedlichen Maschinentypen zu differenzieren. Danach gilt es, die variierenden Schmierstoffbereiche- bzw. -arten zu berücksichtigen. Die Füllmenge definiert sich je nach Behältnisgröße. Um nun allgemeingültige Verbrauchswerte zu erhalten wird die Füllmenge auf die Motorleistung je Maschine umgelegt (l/kW) und Durchschnittswerte über diverse Maschinengrößen gebildet. Je nach Schmierstoffart ist zwischen unterschiedlichen Tauschintervallen und dahinterliegenden Kosten zu unterscheiden. Diese Abfolge wird für jede Schmierstoffart durchgeführt und mittels Summierung der Einzelkosten je Schmierstoffart können die Gesamtschmierstoffkosten je Maschinentyp ermittelt werden. Zusätzlich zu berücksichtigen sind diverse Nachfüllmengen, insbesondere für Motoröl, und die Abschmiermenge, die der Maschinist für die Wartung der Baumaschine auf der Baustelle selbst benötigt.

Abb. 20 stellt beispielhaft für die Raupenbagger die Aufteilung der Schmierstoffgesamtkosten dar. Dargestellt sind die Bereiche, für diese Schmierstoffe benötigt werden. Dies betrifft folgende Stoffe für die jeweiligen Bereiche: Motor bzw. Motor (Nachfüllung) – Motoröl, Schwenk- und Endantrieb – Getriebeöl, Hydraulik – Hydrauliköl, Schmierstellen – Schmierfett, Kühlung – Kühlmittel. Die jeweiligen Wechselintervalle bewegen sich im Bereich von 500 bis 6.000 Betriebsstunden. Beim Hydraulikbagger dominieren die Bereiche Motor (32%+13% Nachfüllung) und Hydraulik (25%).

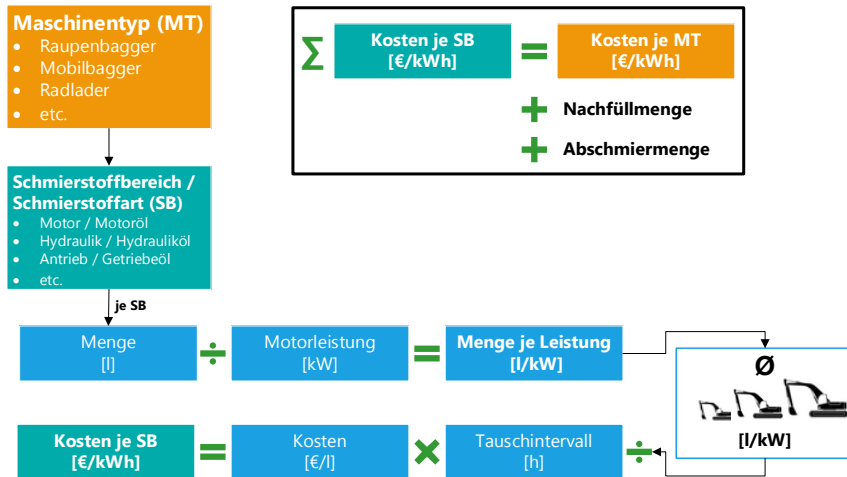


Abb. 19: Methodik Standardverfahren Schmierstoffverbrauch

- Motor
- Endantrieb
- Motor (Nachfüllung)
- Kühlung
- Schwenkantrieb
- Hydraulik
- Schmierstellen

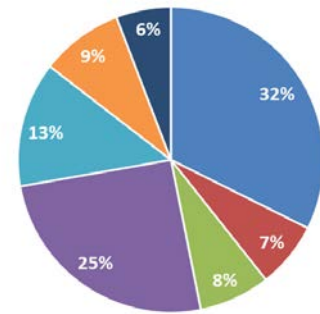


Abb. 20: Aufteilung Gesamtkosten Schmierstoffverbrauch: RB

Die bisherigen Auswertungsergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Zusätzlich wird für durchschnittliche Kraftstoffverbräuche (lt. Tab. 1) ein ungefährender Prozentsatz bezüglich des Anteils der Schmierstoffkosten an den Kraftstoffkosten ausgewiesen. Aufgrund des geringeren Durchschnittsverbrauchs bei Muldenfahrzeugen, im Vergleich zu anderen Maschinentypen, erhöhen sich hier die Prozentsätze dementsprechend. **Da die Schmierstoffverbräuche über die Nutzungsdauer, im Gegensatz zum Kraftstoffverbrauch, eher als linear verlaufend anzusehen sind, wäre es empfehlenswert in der Kalkulation nicht wie bisher auf pauschale Prozentsätze, die den Kraftstoffkosten aufgeschlagen werden, sondern auf fixe Kostensätze (abhängig von der Motorleistung in €/kWh) zurückzugreifen.**

Tab. 4: Kostensätze: Schmierstoffverbrauch

*) Hydraulikflüssigkeitswechselintervall kann sich bei häufiger Verwendung des Hydraulikhammers (oder gleichwertiges) verkürzen
 **) Zusätzlich Bremsenkühlflüssigkeit für Großfahrzeuge berücksichtigen
 ***) Zusätzlich Hydraulikflüssigkeitsbedarf für Winde oder Heckaufreißer berücksichtigen

Maschinentyp	Ø-Kosten [€/kWh*10 ⁻³]	Bandbreite [€/kWh*10 ⁻³]	Leistung [kW]	Ø-Kosten [€/h]	~Anteil an KSK [%]
Raupenbagger*	2,8	2,0 – 3,6	150	0,40	2 – 3%
Mobilbagger	3,6	2,7 – 4,5	100	0,35	3 – 4%
Radlader	4,6	3,2 – 6,0	250	1,20	4 – 5%
Muldenf. (knickg.)**	3,7	2,8 – 4,6	250	0,90	5 – 6%
Muldenf. (starr)**	3,3	2,4 – 4,3	500	1,60	6 – 8%
Planierraupe***	5,8	3,8 – 7,7	125	0,75	4 – 6%
Grader					
Walze					
Straßenfertiger					

Reduktionsmittel (AdBlue®)

Für die selektive katalytische Reduktion (SCR) wird Reduktionsmittel mit dem Markennamen „Ad-Blue®“ verbraucht. Derzeit sind zwei Maschinen in der Untersuchung mit einem SCR-System ausgestattet. Erste Untersuchungen zeigen einen Verbrauch von rund 4-8% des Kraftstoffverbrauchs. Lt. Herstellerangaben soll sich dadurch der Kraftstoffverbrauch um ca. 5% reduzieren. Bei Kosten von 0,50 bis 0,70 €/l und logistischem Mehraufwand ist die ökonomische Ersparnis eher vernachlässigbar. Hingegen ergibt sich durch die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes und somit ein ökologischer Beitrag zum Umweltschutz.

Bezüglich der kalkulativen Abwicklung wird voraussichtlich ein Prozentsatz auf den Kraftstoffverbrauch aufgeschlagen, bei gleichzeitiger Abminderung des Kraftstoffverbrauchs.

Kalkulations-Tool

Das Kalkulations-Tool soll aus vier Bausteinen bestehen. Dazu zählen eine Eingabemaske, der Betriebsstoffverbrauchs-, der Gesamtkostenbaustein und eine Ausgabemaske. In der Eingabemaske sollen allgemeine Einstellungen und die Maschinenauswahl getroffen werden. Im Mittelpunkt des Tool's steht der Betriebsstoffverbrauchsbaustein. Hier sollen die drei Bereiche: Kraftstoff, Schmierstoff und Reduktionsmittel abgebildet werden. Eine Differenzierung nach gewissen bauablaufspezifischen Randbedingungen soll hier vorgenommen werden können. Im Gesamtkostenbaustein gilt es möglichst die Maschinenkosten gesamtheitlich abzubilden. Damit können Auswirkungen von Verbrauchs- oder sonstiger Annahmen auf die Kosten einfach überblickt werden. Die Ausgabemaske soll dementsprechend die Ergebnisse zusammenfassen und übersichtlich darstellen.

2.2.7 AP 7: Ökoeffiziente Bauprozesse

Wieso „Ökoeffizienz“? Der Begriff umfasst gleichzeitig ökonomische und ökologische Effizienz. D.h. effiziente Verwendung von Ressourcen bringt Vorteile für die Umwelt und senkt gleichzeitig durch die Erhöhung der Ressourcenproduktivität die Kosten (z.B. Vermeidung von Leerlaufprozessen).

Diverse Nachhaltigkeitsberichte unterschiedlicher Unternehmen lassen auf Bestrebungen hinsichtlich einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung hindeuten. Nicht nur die Leitgedanken, wie

- *„Aus der Verantwortung gegenüber Mensch, Gesellschaft und Umwelt wirtschaften wir nachhaltig – mit dem Blick auf zukünftige Generationen ...“⁸*
- *„Das Unternehmen bekennt sich zu einem wirksamen und langfristig verantwortungsvollen Handeln im wirtschaftlichen Umfeld, gegenüber ihren Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen, der Gesellschaft und der Umwelt.“⁹*
- *„Nachhaltiges Handeln ist ein wesentlicher Teil unserer gesellschaftlichen Verantwortung und zugleich das Fundament, um unser Geschäft langfristig erfolgreich zu führen.“¹⁰*

sondern auch punktuelle Ideen und Auflistungen zur Baumaschinenthematik, wie

- energieeffizientes Motormanagement
- Forcierung von Start-Stopp Automatik
- Verminderung der Schadstoffemissionen
- Sensibilisierung von Mitarbeitern

verdeutlichen diesen Trend.

Nun geht es darum neben dem Aufzeigen von Optimierungspotentialen von Bau(maschinen-)prozessen, auch Möglichkeiten bezüglich einer Förderung von ökoeffizienten Bauprozessen bereits in der Bauprojektausschreibungs- bzw. -vergabephase zu definieren.

Ausschreibungs- und Vergabephase

Folgend einige Vorschläge bezüglich einer ökoeffizienten baumaschinenoptimierten Ausschreibungsgestaltung bzw. Anpassung im Vergabeprozess:

- Ausschließlicher Einsatz von Baumaschinen die einer gewählten **Emissionsstufe** nach EU-Richtlinie 97/68/EG entsprechen. Dies könnte auch als umwelttechnisches **Zuschlagskriterium** fungieren.
 - Verringerung von Schadstoffemissionen insbesondere im Nahbereich der Baustelle
 - Verbesserung für Personal und Anrainer
 - indirekte Verringerung des Kraftstoffverbrauchs, sowie CO₂-Emissionen durch Förderung des Einsatzes von Baumaschinen mit neuartiger Technologie
- Verpflichtete Forderung einer **Abschaltautomatik** (für bestimmte Motorleistungsstufen). Dies könnte auch als umwelttechnisches **Zuschlagskriterium** fungieren.
 - Verringerung der Gesamtkosten (siehe Wirtschaftlichkeitsanalyse)

⁸ vgl. Strabag: Online-Nachhaltigkeitsbericht, www.strabag.com, 06.2015

⁹ vgl. HABAU: Nachhaltigkeitsbericht, 2012, S 6

¹⁰ vgl. PORR: Werthaltigkeitsbericht, 2014, S 3

- Verringerung von Schadstoff- und CO₂-Emissionen
- Zuschlagskriterium bezüglich des Nachweises einer ergänzenden Fahrerschulung
 - Bewusster Umgang mit der Maschine
 - Verringerung der Gesamtkosten

Diese Vorschläge sollen als Diskussionsgrundlage gelten. Die Möglichkeiten einer Umsetzung sind noch zu erörtern.

Bau(maschinen)prozess

Potential bei der Optimierung von Bau(maschinen)prozessen kann vorwiegend in der Verminderung von Leerlaufzeiten gesehen werden. Die Anteile aus denen sich die Leerlaufzeiten zusammensetzen können in AP 4 nachgelesen werden. Neben Potential beim organisatorischen Leerlauf, gilt es primär beim atypischen Leerlauf anzusetzen. Als Beispiel für den atypischen Leerlauf kann das Durchlaufenlassen des Motors während den Pausenzeiten genannt werden. In der Abb. 21 ist gut zu erkennen, dass die Maschine den gesamten Tag über in Betrieb war. Die Leerlaufzeiten in diesem Zeitraum gehen hier von 30 bis über 50%. Dieses Beispiel stellt keinen Einzelfall dar, sondern kann bei mehr als 50% der Maschinen vor allem in den Winter- (Kälte) und Sommermonaten (Hitze) beobachtet werden. Abb. 22 zeigt einen Radlader in der stationären Industrie. Hier liegen die täglichen Leerlaufanteile im Bereich von 50 bis 80%.

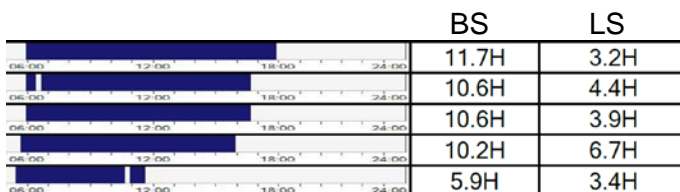


Abb. 21: Aufstellung: Betrieb- und Leerlaufzeiten

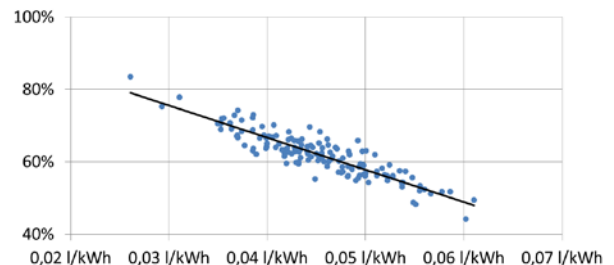


Abb. 22: RL-OG1: hohe Leerlaufanteile

Folgende **Möglichkeiten** können bezüglich einer **Optimierung** ergriffen werden:

- Aktivierung oder Nachrüstung einer Abschaltautomatik
- Nachrüstung einer Standheizung bzw. -kühlung inkl. Abschaltautomatik
Diese Systeme sind empfehlenswert um den Komfortverlust für den Maschinisten zu kompensieren, denn dieser ist letztendlich für die Produktionsleistung hauptverantwortlich ist.
- Durchführung von Fahrerschulungen

Wesentlich ist bei jeder der genannten Optimierungen, dass die Maßnahmen hinsichtlich ihres Nutzens baubetrieblich begleitet und dahingehend auf ihre Sinnhaftigkeit überprüft werden. D.h. im Sinne einer kooperativen Zusammenarbeit sind alle Beteiligten gemeinschaftlich in die Planung und Umsetzung von Maßnahmen von Beginn an einzubeziehen.

Erste **Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit** haben gezeigt, dass eine Absenkung des Leerlaufanteils große Einsparungspotentiale bieten. Die Kosten entstehen nicht nur **direkt** durch den im **Leerlauf verbrauchten Kraftstoff**, sondern vorwiegend **indirekt** durch einen **Wartungsmehraufwand** und einen **Wertverlust über die Lebensdauer**. Der Wertverlust kann durch die Senkung der Leerlaufanteile entweder durch eine **Nutzungsverlängerung** oder einen **höheren Wiederverkaufswert** vermindert werden. Als Beispiel ergeben sich für einen Raupenbagger der Kategorie „RB1“ (120 kW) bei einer Senkung der Leerlaufanteile von durchschnittlich 35% auf 15% und 1.700 Bh/a Einsparungen, natürlich abhängig von unternehmerischen Ansätzen, von rund 8.000 €/a. Zusätzlich kommt es zu einer Senkung der CO₂-Emissionen von zumindest 5%.

Detailliertere Ergebnisse zu diversen Punkten bzw. Auswertungen, können der, derzeit in Arbeit befindlichen, **Dissertationsschrift** „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“ (C. Winkler) entnommen werden.

Voraussichtliche Fertigstellung: Ende 2016

2.2.8 Literaturverzeichnis

Austrian Panel on Climate Change (APCC) Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 [Bericht]. - Wien : Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2014.

Bundesamt für Umwelt (BAFU) Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors: Studie für die Jahre 1980-2020 [Bericht]. - Bern : BAFU, 2008.

Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen Ermittlung des Baumaschinenbestandes in Deutschland [Bericht]. - Frankfurt : Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen, 2015.

HABAU GmbH Nachhaltigkeitsbericht [Bericht]. - Perg : HABAU GmbH, 2012.

Helms Hinrich und Heidt Christoph Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung aus NRMM (non road mobile machinery) unter Berücksichtigung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionsverminderungsoptionen für den Bestand [Bericht]. - Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 2014.

Kunze Günter Mobile Baumaschinen - Trends und neue Entwicklungen [Artikel] // ATZ offhighway. - Wiesbaden : Springer Verlag, April 2010. - 01/2010.

PORR AG Werthaltigkeitsbericht [Bericht]. - Wien : PORR AG, 2014.

STRABAG SE Online-Nachhaltigkeitsbericht [Bericht]. - Wien : STRABAG SE, 2015.

tHIS – Tiefbau Hochbau Ingenieurbau Straßenbau Flottenmanagement 2.0: Flotte(n)-Gewinne [Artikel]. - Gütersloh : Bauverlag BV GmbH, 2012. - Bd. 2/2012.

- Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden?
Gab es wesentliche Abweichungen?

Aufgrund der unter Punkt 1 genannten Problematik bezüglich der retrospektiven Datenerhebung werden einerseits die Referenzaufnahmen (AP 3) ausgedehnt und somit konnte das AP 2 (Standardbedingungen / Einflussparameter) noch nicht gänzlich abgearbeitet werden. Aufgrund des inhaltlichen Zusammenhangs der Arbeitspakete, konnten bereits Auswertungen in den AP 5-7 durchgeführt werden. Im AP 5 (Festlegung Einflussparameter) war es möglich bereits wesentliche Faktoren festzulegen. Im Bereich des Schmierstoffverbrauchs konnte bereits ein Standardverfahren (AP 6) zur Ermittlung der Verbrauchsmenge, je nach Maschinentyp, entwickelt werden. Auch im Bereich der ökoeffizienten Bauprozesse (AP 7) wurden erste Überlegungen und Analysen vorgenommen.

- Die Beschreibung beinhaltet ebenso eine allfällige Änderung der angewandten Methodik.
Achtung: Änderungen an der Methodik und wesentliche Änderungen im Arbeitsplan erfordern eine Genehmigung durch die FFG.

Es wurden keine wesentlichen Änderungen am Arbeitsplan vorgenommen.

3. Projektteam und Kooperationen

- Gibt es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne SchlüsselmitarbeiterInnen und externe Partner/Dritteleister)?
- Gehen Sie auf Änderungen in der Arbeitsaufteilung ein.
Gibt es Auswirkungen auf die Kosten- / Finanzierungsstruktur und die Zielsetzung?

Im ersten Forschungsjahr gab es keine Veränderungen im Projektteam bzw. in der Arbeitsaufteilung.

4. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- und / bzw. Weiterverbreitungsaktivitäten. Ist eine Verwertung möglich?

Erste Ergebnisse wurden im Rahmen des Treffens der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement (BBB) in Obergurgl im März 2015 präsentiert. Folgende weitere Veröffentlichungen im Rahmen von Tagungen und Kongressen sind geplant:

- 9. Tag der Deutschen Baumaschinentechnik, November 2015, Berlin
- STRABAG Innovationstag, November 2015, Wien
- Baukongress 2016, April 2016, Wien
- BBB-Assistententreffen, Juni 2016, Dresden
- VDBUM Großseminar, Februar 2017, Willingen

Herr Prof. Jodl und Herr DI Winkler sind Mitglied im, seit Mai 2015 neu gegründeten, **Arbeitskreis „Zukunft der Bauprozesse“** der ÖIAV Fachgruppe für Bauwesen. In diesen Arbeitskreis wird das Wissen, dass in diesem Forschungsprojekt erlangt wird, eingebracht, dementsprechend verbreitet und weiter verwertet.

Das Softwaretool zur Kalkulation der Maschinengesamtkosten wird nach Fertigstellung nicht nur den Projektpartner, sondern der gesamten Baubranche durch Bereitstellung der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) zur Verfügung stehen. Somit steht einer Verwertung nichts im Wege.

- Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.

Folgend werden alle Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem gegenständlichen Forschungsprojekt stehen, aufgelistet.

Arbeiten fertiggestellt:

- Kraftstofflogistik auf der Baustelle, *Sebastian Gerhard*, Mai 2015, [Bachelorarbeit]

Arbeiten in Bearbeitung:

- Gegenüberstellung von Leistung und Einsatzgewicht bei Baumaschinen im Erdbau, *Andreas Markl*, laufend, [Bachelorarbeit]
- Flottenmanagement von Baumaschinen auf Baustellen, *Ursula Plessl*, laufend, [Bachelorarbeit]
- Einfluss des Bundes-Energieeffizienzgesetzes auf die Baubranche, *Thomas Schoberberger*, laufend, [Bachelorarbeit]
- Logistik der Betriebsstoffe von Baumaschinen auf Baustellen, *Antonia Simova*, laufend, [Diplomarbeit]
- Umgang mit Telematikdaten von Baumaschinen und deren Verwertungsmöglichkeiten auf Baustellen, *Christoph Hofstätter*, laufend, [Diplomarbeit]
- Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung, *Christoph Winkler*, laufend, [**Dissertation**]

Arbeiten in Planung:

- Energieeffizienz in der Bauabwicklung, [Diplomarbeit]
- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant?

Derzeit ist noch nicht absehbar inwiefern und ob es zu weiteren Forschungsaktivitäten im Bereich des „Betriebsstoffverbrauchs von Baumaschinen“ kommen wird. Die zuvor genannte Dissertation wird sich im abschließenden Kapitel mit möglichen Potentialen für weiterführende Forschungsaktivitäten befassen.

- Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiter verwendet?

Das Softwaretool zur Kalkulation von Betriebsstoffverbräuchen inkl. der Maschinengesamtkosten wird der gesamten Baubranche zur Verfügung stehen. Dieses wird seitens der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) und des Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (TU Wien, IBPM) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht (z.B. Homepage). Weiters wird es auch in der baubetrieblichen Lehre am Institut seinen Einfluss finden. Die Verwendung des Tools obliegt dann in der Verantwortung der jeweils zuständigen Person.

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

Siehe Excel-Sheet

6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

- Gehen Sie auf projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen (laut §6 des Förderungsvertrags) ein, sofern diese im Förderungs- bzw. Werkvertrag vereinbart wurden.

Auszug Förderungsvertrag §6: Die Projektergebnisse sind zu veröffentlichen. Die Veröffentlichungsschrift ist im Endbericht beizulegen

Erste Ergebnisse wurden im Rahmen des Treffens der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement (BBB) in Obergurgl im März 2015 präsentiert. Folgende weitere Veröffentlichungen im Rahmen von Tagungen und Kongressen sind geplant:

- 9. Tag der Deutschen Baumaschinentechnik, November 2015, Berlin
- STRABAG Innovationstag, November 2015, Wien
- Baukongress 2016, April 2016, Wien
- BBB-Assistententreffen, Juni 2016, Dresden
- VDBUM Großseminar, Februar 2017, Willingen

Als Veröffentlichungsschrift kann die **Dissertation** „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“, die parallel zum Forschungsprojekt ausgeführt wird, angesehen werden. **Voraussichtliche Fertigstellung:** Ende 2016

Auszug Förderungsvertrag §6: Es ist die Teilnahme von mindestens drei Unternehmen, von denen eine Barbeteiligung von mindestens 20% der anerkehbaren Projektkosten zu leisten ist, erforderlich.

Folgende Unternehmen unterstützen das Projekt mit genannten Beträgen (gesamt: beide Jahre):

Unternehmen	finanzielle Unterstützung [€]	In-Kind Leistung [€]
HABAU Hoch- u. Tiefb. GmbH	4.000 €	1.500 €
PORR Bau GmbH	4.000 €	1.500 €
STRABAG AG	4.000 €	1.500 €
Ver. der österr. Zementind. (VÖZ)	4.000 €	1.500 €
WIENER LINIEN GmbH & Co KG	4.000 €	1.500 €

7. Meldungspflichtige Ereignisse

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind (siehe auch Richtlinien – Anhang zu 5.3., 5.3.5), z.B.

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten bei dem/der Förderungsnehmer/in
- Insolvenzverfahren
- Ereignissen, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen
- Weitere Förderungen für dieses Projekt

Im ersten Forschungsjahr traten keine meldungspflichtigen Ereignisse auf.