

ENDBERICHT

FFG Projektnummer	848921	eCall Antragsnummer	5189306
Kurztitel	Betriebsstoffverbrauch Baumaschinen	FörderungsnehmerIn	ÖBV
Bericht Nr.	2	Berichtszeitraum	11.2015 – 10.2016
Bericht erstellt von	DI Christoph Winkler, Em.O.Univ.Prof. DI Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl, Univ.Prof. DI Dr.techn. Gerald Goger, DI Michael Pauser		

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 sowie Möglichkeiten zur Förderung von ökoeffizienten Bauprozessen.

Alle gesteckten Ziele wurden erreicht. Für wesentliche (Tief-)Baumaschinen (Raupebagger, Radlader, Muldenfahrzeuge, Planierdrauen) wurden **Kraftstoffverbrauchsmodelle** entwickelt. Für weitere Baumaschinenfamilien wurden neuen Standardwerte definiert. Möglichkeiten zur Digitalisierung des Baumaschinenprozesses wurden festgeschrieben und Effizienzsteigerungspotentiale durch **Telematikdaten** genannt. Die **Optimierung des Baumaschinenbetriebs** durch die Integration verschiedener Systeme (Abschaltautomatik, Standheizung, -kühlung) in den Baumaschinenbetrieb konnte anhand Praxistests verifiziert werden.

Zusätzlich zu den verschriftlichten Auswertungen sind zwei **Tools** auf Excel-VBA-Basis entstanden. Dazu zählt ein Tool, um den Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen, über wenige Eingaben, für gewisse baubetrieblichen Randbedingungen zu erhalten sowie ein Tool, um die Ökoeffizienz von Maßnahmen zur Optimierung des Baumaschinenbetriebs zu bewerten.

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

Abschluss des Promotionsverfahrens (Rigorosum) im Februar 2017.

Highlights im Rahmen des Forschungsprojektes

- Aufzeigen von Differenzen bezüglich der Kalkulationsansätze bei Literatur-, Praxis- und tatsächlichen Betriebsstoffverbrauchswerten
- Festlegung von standardisierten Betriebsstoffverbräuchen für Maschinenfamilien im Tiefbau (Raupenbagger bis Straßenfertiger)
- Finden und Bewerten von maßgebenden Einflussfaktoren (Leerlaufzeit, Verfuhrdistanz, Materialeigenschaften etc.) auf den Betriebsstoffverbrauch abhängig von der jeweiligen Maschinenfamilie
- Entwicklung von Modellen für den Umgang mit dem Betriebsstoffverbrauch in der Baukalkulation
- Nutzungsmöglichkeiten von Telematikdaten für den Baubetrieb sowie Definition von Optimierungsmöglichkeiten durch die Verwendung von Telematikdaten
- Erkennung von Potentialen bezüglich der Optimierung des Baumaschinenbetriebs auf Baustellen
- Optimierung des Baumaschinenbetriebs durch Praxistests auf Baustellen unter Einbezug
 - von Fahrerschulungen
 - der Aktivierung einer automatischen Motorabschaltung
 - der Nachrüstung einer Standheizung (Winterbetrieb)
 - der Nachrüstung eines Prototyps einer Standkühlung (Sommerbetrieb)
- Erstellung von Excel-Tools
 - Ermittlung des Betriebsstoffverbrauchs von Baumaschinen für die Baukalkulation
 - Bewertung der Ökoeffizienz von Maßnahmen zur Optimierung des Baumaschinenbetriebs auf Baustellen

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	100%	11/14	02/15	11/14	06/16	Baustellendokumentationen Telematikdaten
2	Standardbedingungen / Einflussparameter	100%	03/15	10/15	03/15	04/16	Definition der Einflussparameter auf den Kraftstoffverbrauch von ausgewählten Baumaschinen.
3	Referenzaufnahmen	100%	04/15	03/16	04/15	03/16	Erstellung von Baustellendokumentationslisten abhängig von der Maschinenfamilie. Organisation und Begleitung der Durchführung der Baustellendokumentationen.
4	Auswertung	100%	04/15	06/16	04/15	08/16	Durchführung von Auswertungen hinsichtlich des Betriebsstoffverbrauchs der definierten Baumaschinen (vorwiegend deskriptive Statistik).
5	Festlegung Einflussparameter	100%	03/16	06/16	08/15	08/16	Auf Basis der Auswertungen wurden für ausgewählte Baumaschinen die wesentlichen Einflussparameter auf den Betriebsstoffverbrauch festgelegt.
6	Entwicklung Standardverfahren	100%	04/16	08/16	06/15	10/16	Die Modellbildung hinsichtlich des Betriebsstoffverbrauchs der ausgewählten Baumaschinen ist fertiggestellt. Dabei wurden die Einflüsse auf den Verbrauch quantifiziert (deskriptive sowie multivariate Statistik). Entwicklung eines Excel-VBA-Tools zur Ermittlung des Betriebsstoffverbrauchs ausgewählter Baumaschinen.
7	Ökoeffiziente Bauprozesse	100%	08/16	10/16	06/15	10/16	Ökoeffiziente Optimierung von Baumaschinenprozessen anhand von Telematik und Praxistests (u.a. Reduktion der Leerlaufzeit). Entwicklung eines Excel-VBA-Tools zur Ermittlung der ökoeffizienten Einsparungspotentiale.

2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

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

Die folgenden Auswertungen, Darstellungen sowie Tabellen entstammen der **Dissertationsschrift** „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“ (C. Winkler).

Die im Rahmen dieses Berichtes dargestellten Ergebnisse stellen einen kurzen Auszug der getätigten Auswertungen dar. Zum besseren Verständnis der Modelle und Ergebnisse wird auf die Dissertationsschrift verwiesen.

Abschluss des Promotionsverfahrens (Rigorosum) im Februar 2017.

2.2.0 Grundlagen

Ein Auszug der Grundlagen für das vorliegende Forschungsprojekt kann im Bericht Nr. 1 aus 2015 nachgelesen werden. Die Gesamtheit aller Grundlagen sowie die Methodik sind in der bereits zuvor angesprochenen Dissertationsschrift zu finden. Dazu zählen die folgenden Kapitel:

- Projektumgebung
u.a. Randbedingungen, Ausgangssituation, verbrauchsbeeinflussende Faktoren, Nachhaltigkeit im Bau- bzw. Baumaschinensektor
- Betriebsstoffliche Grundlagen
u.a. derzeitige Standardwerte des Betriebsstoffverbrauch, Emissionen im Bereich der Baumaschinen
- Maschinentechnische Grundlagen
u.a. Baumaschinenbestand, Grundlagen zu den betrachteten Maschinenfamilien, Beeinflussungen des Betriebsstoffverbrauchs
- Kalkulatorische Grundlagen
u.a. Kalkulation im Bereich der Baumaschinen bzw. aus Sicht der Baubranche, Zusammenhang zwischen Projekt- und Maschinenkosten
- Statistische Grundlagen
u.a. deskriptive Statistik, multivariate Statistik (Regressionsanalyse)

2.2.1 AP 1: Datenerhebung

Grundsätzlich ist zwischen den Maschinendaten (Kraftstoffverbrauch, Motorbetriebsstunden etc.) und den Baustellendaten (Tätigkeiten, Umschlagsleistung etc.) zu unterscheiden. Für die Maschinendaten werden vorwiegend sogenannte Telematikdaten herangezogen, da hier eine stimmige Datenlage als Voraussetzung anzunehmen ist. Hingegen kann es bei der manuellen Datenaufzeichnung der Maschinendaten über Dokumentationslisten und der späteren manuellen Eingabe in eine digitale Datenbank zu Dokumentationslücken bzw. Fehlaufzeichnungen kommen. Zu Beginn war zu klären, welche Baumaschinen der kooperierenden Unternehmen prinzipiell für eine Auswertung zur Verfügung stehen. Schnell war klar, dass es sinnvoll ist, sich hinsichtlich der Güte der erwünschten Daten vorwiegend auf Maschinen zu konzentrieren, die mit einem Telematiksystem ausgestattet sind. Zunächst wurde die Freischaltung der Baumaschinen in den unterschiedlichen Telematiksystemen geklärt. Danach konnten die Daten abgerufen werden (Aufwand abhängig vom System). Diese Daten wurden dann gesondert in einem MS Excel-Tool aufbereitet sowie einer Plausibilitätskontrolle unterzogen. Folgend war es notwendig, die jeweiligen Daten der passenden Baustelle zuzuordnen. Dann konnte die Zuweisung von Kontakten zu den Baustellen sowie die Kontaktaufnahme mit den Verantwortlichen dort erfolgen. Zunächst wurde versucht die vorliegenden retrospektiven Maschinendaten mit den jeweiligen Baustellendaten zu verknüpfen (Sekundärdaten). Jedoch war dies aufgrund der derzeitigen Dokumentationslage auf den Baustellen nur eingeschränkt realisierbar. Somit war es notwendig, vorwiegend auf eine prospektive Be-

trachtungsweise zurückzugreifen (Primärdaten). Es wurden auf den Baustellen mit eigens dafür entworfenen Dokumentationslisten tägliche Tätigkeits- bzw. Leistungsaufzeichnungen durchgeführt. **Abb. 1** stellt die beschriebenen Vorgänge anhand eines Ablauforganigramms dar. Im Zentrum der Datenerhebung steht die Baustelle sowie die Kontaktpersonen zu dieser. Mit den Kontaktpersonen galt es, die Maschinen- sowie Baustellendaten jeweils abzugleichen bzw. sich über die Vorgänge auf der Baustelle zu informieren. Mit der beschriebenen Vorgangsweise gelang es, die Maschinendaten mit den Baustellendaten zu verknüpfen.

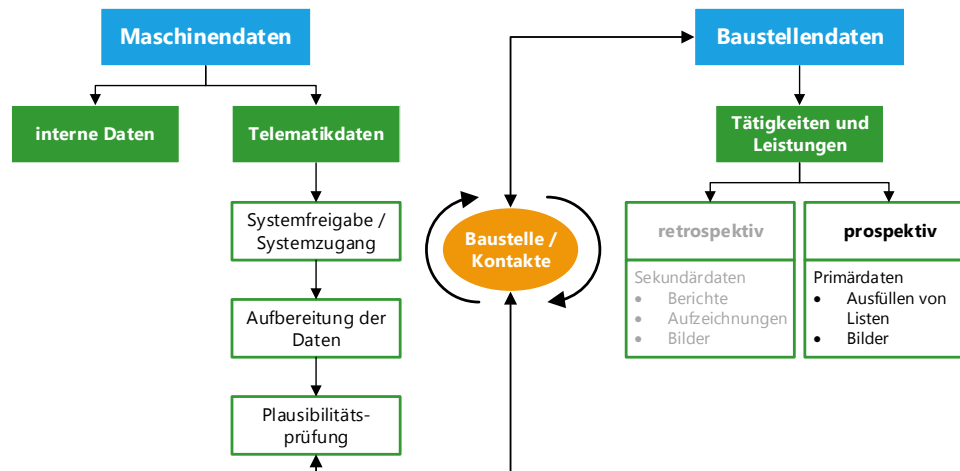


Abb. 1: Organigramm zur Datenerhebung

Weitere Details zur Datenerhebung, insbesondere zu den Telematikdaten sowie den Dokumentationslisten, können der angesprochenen Dissertationsschrift entnommen werden. Im Bereich der Telematikdaten wird sich u.a. den benötigten Komponenten eines Telematiksystems, dem Funktionsumfang, der Darstellung von baubetrieblichen Funktionen sowie Möglichkeiten zur Optimierung des Baubetriebs mittels Telematikdaten angenommen.

2.2.2 AP 2: Standardbedingungen / Einflussparameter

Für die Betrachtung des Betriebsstoffverbrauchs werden Baumaschinen herangezogen, die im Tief- (Erd-, Straßen- Tunnelbau etc.), Tagebau sowie in der stationären Bauindustrie eingesetzt werden. Dazu zählen:

- Raupenbagger (RB)
- Mobilbagger (MB)
- Radlader (RL)
- Muldenfahrzeug: Knickgelenkrahmen (MF-K), Starrahmen (MF-S)
- Planierraupe (PR)
- Grader (GR)
- Walze: Walzenzug (WA-Z), Tandemwalze (WA-T)
- Fertiger: Rad, Kette (SF)

Abb. 2 soll zeigen, von welchen Faktoren der Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen beeinflusst werden kann. Das Forschungsprojekt fokussiert sich vorwiegend auf die Hauptgruppen „Maschine“ sowie „Bedingungen“.

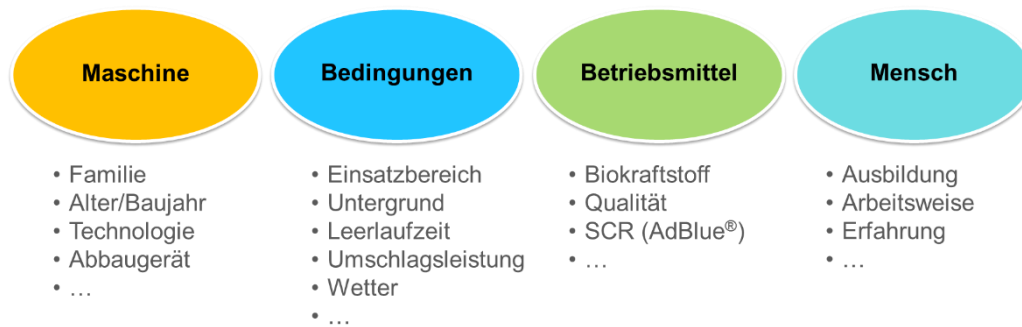


Abb. 2: Faktoren – Verbrauchsbeeinflussung

Für vier ausgewählte Baumaschinen werden zusätzlich zu den definierten Kraftstoffverbrauchsstandardwerten die Einflussparameter auf den Kraftstoffverbrauch statistisch analysiert:

- Raupenbagger (Mobilbagger)
- Radlader
- Muldenfahrzeug mit Knickgelenkrahmen
- Planierraupe

2.2.3 AP 3: Referenzaufnahmen

Neben den Maschinendaten, die vorwiegend aus den Telematikportalen stammen, sind für die Auswertungen die Daten der Baustellen von hoher Relevanz. Zu diesen Daten zählen u.a. die Tätigkeiten der Maschine, die Umschlagsleistung (z.B. m³/d, to/d), die Materialeigenschaften etc. Für das Erfassen dieser Daten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes sogenannte Dokumentationslisten entwickelt. Die Dokumentationslisten dienen dazu, um die zuvor angesprochenen Baustellendaten strukturiert erfassen zu können. Der Aufbau der Dokumentationslisten erfolgt jeweils nach folgendem Prinzip:

- Allgemeine Daten: Angaben zum Unternehmen, zum Bauvorhaben sowie Zeitangaben
- Maschinendaten: Angaben zur Maschine wie z.B. Typenbezeichnung, Inventarnummer, Baujahr, Arbeitsausrüstung
- Art der Tätigkeit der Maschine
- Spezifische Angaben zu Material, Untergrund, sonstige baustellenbezogene Eigenschaften
- Leistungsdaten: Angaben zur Umschlagsleistung oder zurückgelegten Wegstrecke

Die Dokumentationslisten sind immer in Kombination mit den Telematikdaten zu sehen, daher werden Daten wie Tankmenge oder Motorbetriebszeiten nicht gesondert auf den Listen erfasst. Einige Daten sind schriftlich einzutragen, für andere stehen Kästchen zum Ankreuzen zur Verfügung. Neben dem handschriftlichen Ausfüllen der Listen ist dies auch in einem MS Excel-Tool realisierbar.

Ein Thema, das im Rahmen der Baustellendokumentation aufgetreten ist, betrifft die Rücklaufquote der angefragten Dokumentationen. Zunächst war es notwendig, die Baustellenverantwortlichen von der Sinnhaftigkeit der Dokumentationen zu überzeugen. Diese mussten danach wiederum den Maschinisten dementsprechend für die Dokumentationen begeistern. Teilweise war es hinsichtlich geplanter Dokumentationen notwendig, Freigaben seitens der Unternehmensführung sowie des Betriebsrates abzuwarten, was in manchen Fällen mehrere Monate dauerte. Aus Erfahrungen kann gesagt werden, dass ein persönlicher Kontakt zum Baustellenteam (z.B. regelmäßige Baustellenbesuche) einen wesentlichen Baustein für eine erfolgreiche Dokumentation darstellt. Dies war im Rahmen der Dissertation aufgrund der verstreuten Lage sowie wechselnder Standorte der Baumaschinen leider nicht immer möglich. Die Rücklaufquote der angeforderten Baustellendokumentationen liegt im Bereich von 20-40%.

2.2.4 AP 4: Auswertung

Bei den Auswertungen des Betriebsstoffverbrauchs gilt es zwischen drei Bereichen zu unterscheiden: Kraftstoffverbrauch, Schmierstoffverbrauch sowie Reduktionsmittelverbrauch (AdBlue®).

Kraftstoffverbrauch

Bei den Auswertungen zum Kraftstoffverbrauch erfolgt zunächst eine Einteilung der Maschinenfamilien in Einsatzgewichtskategorien.

Die Darstellung des Kraftstoffverbrauchs in den diversen Maschinenfamilien erfolgt mittels Balkendiagramm. Im Mittelpunkt der Auswertung steht der gewichtete durchschnittliche Kraftstoffverbrauch in „l/kWh“ (vertikale Primärachse). Zusätzlich wird für jede Maschine (falls vorhanden) der gewichtete durchschnittliche Leerlaufanteil in „%“ ausgewiesen (rotes Quadrat; vertikale Sekundärachse). Weiters werden der gewichtete Mittelwert und die gewichtete mittlere Standardabweichung (STABW) als untere bzw. obere Grenze (UG bzw. OG) der betrachteten Kategorie dargestellt. Die sogenannten Fehlerindikatoren (FI) stellen die gewichtete Standardabweichung zum gewichteten Mittelwert der jeweiligen Maschine dar. Als Beispiel wird in diesem Endbericht ein Raupenbagger (Kategorie RB1) herangezogen. Das entsprechende Diagramm ist in **Abb. 3** ersichtlich.

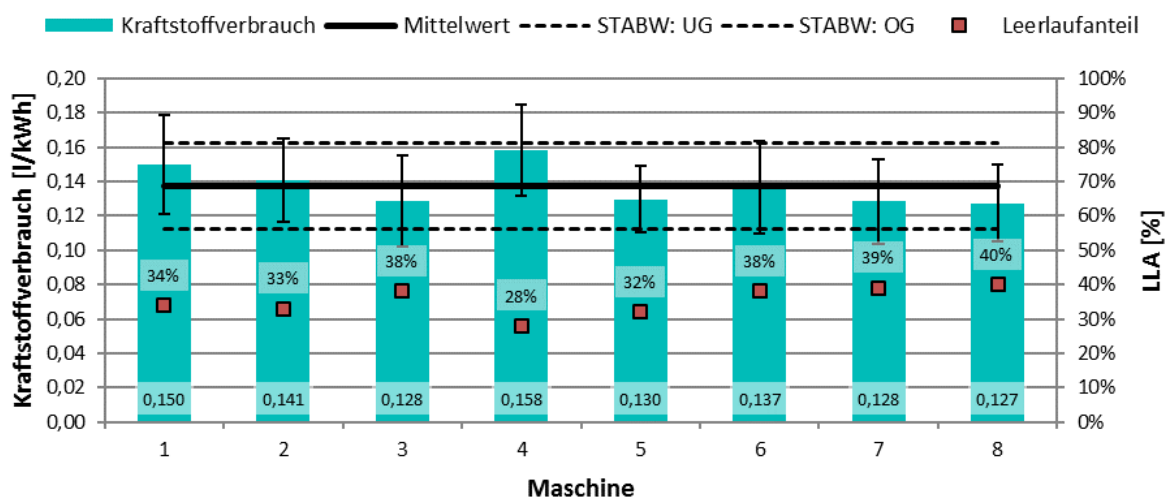


Abb. 3: RB1: 20-25 t: Kraftstoffverbrauch und Leerlaufanteil

Nach erfolgter Auswertung aller Kategorien, werden die Kraftstoffverbrauchswerte tabellarisch zusammengefasst (siehe **Tab. 1**)

Tab. 1: Kraftstoffverbrauch: Zusammenfassung der Maschinenkategorien

Kategorie	MW [l/kWh]	Bandbreite [l/kWh]	Kategorie	MW [l/kWh]	Bandbreite [l/kWh]
RB1: 20-25 t	0,14	0,12-0,16	MF-K: 20-25 t	0,06	0,04-0,08
RB2: 25-30 t	0,12	0,10-0,15	MF-S: 30-50 t	0,08	0,03-0,13
RB3: 30-50 t	0,12	0,10-0,15	PR: 15-25 t	0,12	0,08-0,16
RB4: >50 t	0,14	0,12-0,16	GR: 10-20 t	0,10	0,08-0,12
MB1: 10-15 t	0,11	0,09-0,13	WA-Z: 10-15 t	0,09	0,07-0,11
MB2: 15-20 t	0,09	0,07-0,11	WA-T: 8-13 t	0,09	0,06-0,12
RL1: 20-25 t	0,10	0,06-0,12	SF: 20 t	0,10	0,08-0,12
RL2: 25-30 t	0,10	0,06-0,12			

Das folgende Diagramm stellt überblicksmäßig die Kraftstoffverbräuche getrennt nach ausgewählten Maschinenfamilien dar. Dabei werden neben den gewichteten Mittelwerten, die Standardabweichungen sowie die Minimal- und Maximalwerte ausgegeben (siehe **Abb. 4**).

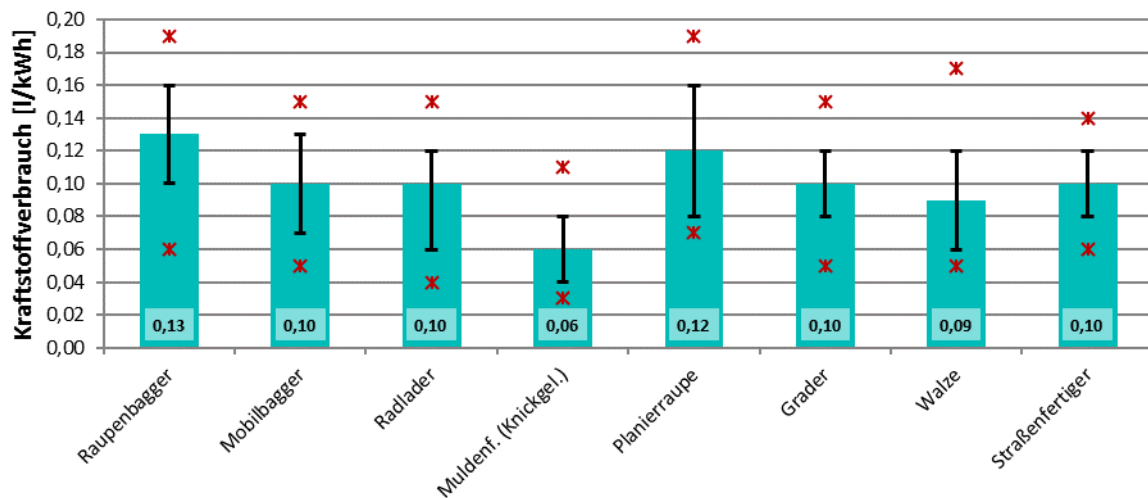


Abb. 4: Kraftstoffverbrauch der jeweiligen Maschinenfamilie

Schmierstoffverbrauch

Der Ermittlung des Schmierstoffverbrauchs wird folgendes Berechnungsmodell zu Grunde gelegt. Ausgehend von der jeweiligen Maschinenfamilie ergeben sich die unterschiedlichen Schmierstoffbereiche. Zu diesen Bereichen zählen z.B. Motor, Hydraulik, Antrieb, Achse etc. Jedem dieser Schmierstoffbereiche kann eine definierte Schmierstoffart zugeordnet werden. Die Füllmenge des Schmierstoffbereichs mit der passenden Schmierstoffart ergibt sich u.a. aus dem Fassungsvermögen des entsprechenden Behältnisses. Beim Motoröl ist zusätzlich zur Tauschmenge eine Nachfüllmenge zu berücksichtigen (zwischen Tauschintervall). Um allgemeingültige Verbrauchswerte zu erhalten, wird die Füllmenge auf die jeweilige Nettomotorleistung der Baumaschine heruntergebrochen. Dies wird für unterschiedliche Leistungskategorien der betrachteten Maschinenfamilie durchgeführt, damit allgemeingültige Werte ermittelt werden können. Über alle Maschinen der behandelten Familie wird der Mittelwert sowie über die Standardabweichung die Bandbreite der Füllmenge bezogen auf die Nettomotorleistung ermittelt. Jedem Schmierstoffbereich wird weiters ein Tauschintervall zugewiesen. Das Tauschintervall definiert sich über die Motorbetriebsstunden. Wird die motorleistungsbezogene Füllmenge durch das Tauschintervall dividiert, erhält man den Schmierstoffverbrauch des betrachteten Bereichs. Damit die verschiedenen Bereiche verknüpft werden können, sind die Einheitskosten der jeweiligen Schmierstoffart mit in die Berechnung aufzunehmen. Somit erhält man die stündlichen Schmierstoffkosten des betrachteten Schmierstoffbereichs. Summiert man die Kosten der Bereiche und berücksichtigt Zuschläge für Schmierstoff-Kleinmengen sowie Abschmiermengen mit Schmierfetten erhält man als Ergebnis die stündlichen motorleistungsbezogenen Schmierstoffkosten je Maschinenfamilie. In **Abb. 5** ist das zuvor erläuterte Berechnungsschema bezüglich des Schmierstoffverbrauchs sowie der -kosten grafisch dargestellt.

Die getätigten Auswertungen sind in **Tab. 2** als Zusammenfassung dargestellt. Neben dem durchschnittlichen Schmierstoffverbrauch ($\text{l/kWh} \cdot 10^{-4}$) sowie den -kosten ($\text{€}/\text{kWh} \cdot 10^{-4}$) ist für jede Maschinenfamilie ein Rechenbeispiel in der Tabelle ersichtlich. Ausgehend von der Motorleistung der Maschine werden die durchschnittlichen stündlichen Schmierstoffkosten ermittelt. Über den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch sowie den Kraftstoffkosten wird der prozentuelle Zuschlag der Schmierstoffkosten auf die Kraftstoffkosten berechnet.

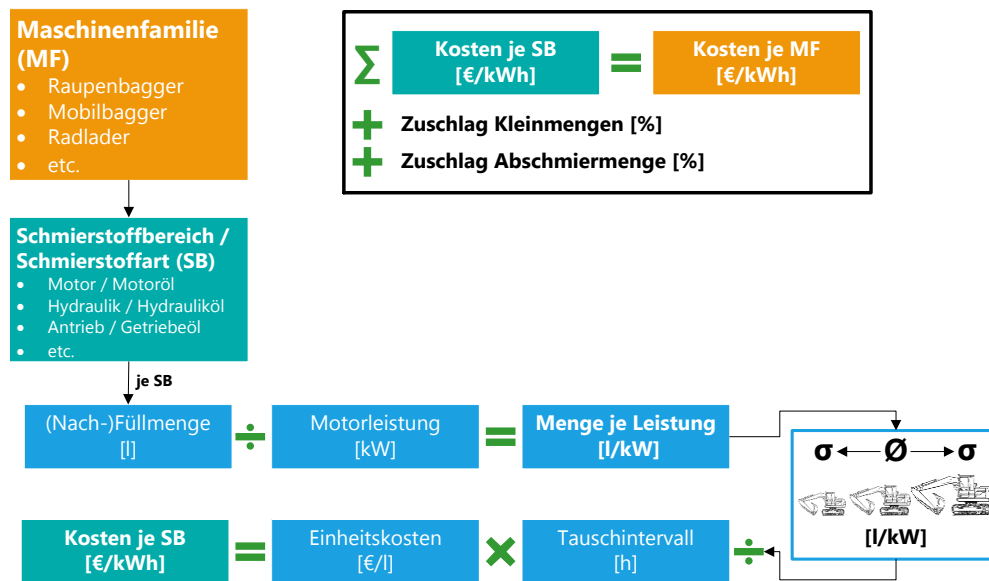


Abb. 5: Berechnungsmodell Schmierstoffverbrauch bzw. -kosten

Tab. 2: Zusammenfassung der Schmierstoffverbräuche sowie -kosten

Maschinenfamilie	MW SSV [l/kWh*10 ⁻⁴]	MW SSK [€/kWh*10 ⁻⁴]	ML [kW]	SSK [€/h]	Zuschlag KSK ¹⁾ [%]
Raupenbagger	11	34	150	0,50	2-4%
Mobilbagger	13	44	100	0,45	3-5%
Radlader	14	56	250	1,40	4-6%
Muldenfahrzeug (Knickgelekr.)	11	43	250	1,10	6-8%
Muldenfahrzeug (Starrrahmen)	11	40	500	2,00	4-6%
Planierraupe	15	61	100	0,60	4-6%
Grader	17	75	100	0,75	7-9%
Walze: Zug	9	29	75	0,20	2-4%
Walze: Tandem	9	26	75	0,20	2-4%
Straßenfertiger	13	37	130	0,50	3-5%

1) Basis: Kraftstoffverbrauchsmittelwerte aus Tab. 1; Kraftstoffeinheitskosten von 1,0 €/l

Es wird darauf hingewiesen, dass die Kalkulation der Schmierstoffkosten als prozentueller Zuschlag auf die Kraftstoffkosten nur im Falle einer durchschnittlichen Annahme des Kraftstoffverbrauchs sowie gleichbleibenden Schmierstoff- bzw. Kraftstoffkosten zu richtigen Ergebnissen führt. In allen anderen Fällen kommt es zu Unter- sowie Überdeckungen der Schmierstoffkosten. Daher wird die Berücksichtigung des tatsächlichen Schmierstoffverbrauchs in der Kalkulation empfohlen.

Reduktionsmittelverbrauch (AdBlue®)

Der Reduktionsmittelverbrauch errechnet sich mittels eines prozentuellen Anteils am Kraftstoffverbrauch der Baumaschine. Beim Einsatz eines SCR-Systems (Selektive katalytische Reduktion) kann sich, muss sich jedoch nicht, eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs einstellen. Die Kosten für das Reduktionsmittel ergibt sich aus der Multiplikation mit den Einheitskosten. Die Kostenminderung beim Kraftstoff ergibt sich nach demselben Prinzip. Bei Gegenüberstellung der Reduktionsmittel- und Kraftstoffminderungskosten ergeben sich die Gesamtkosten des Reduktionsmittelverbrauchs. Hierbei sind zwei Szenarien vorstellbar: Eine Erhöhung der Betriebsstoffkosten oder eine Senkung der Betriebsstoffkosten. In der Praxis wird sich unter Umständen eine Kostenneutralisation ergeben. Abb. 6 stellt das zuvor beschriebene Berechnungsmodell dar.

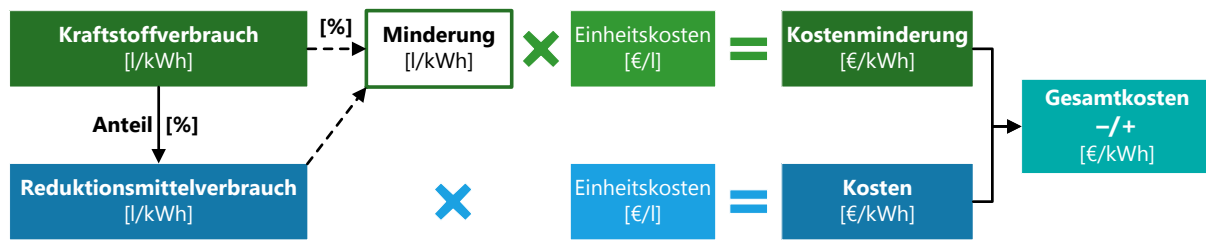


Abb. 6: Berechnungsmodell Reduktionsmittelverbrauch bzw. -kosten

2.2.5 AP 5: Festlegung Einflussparameter

Folgend werden Auswertungen zu diversen Einflussparameter auf den Kraftstoffverbrauch ausgewählter Baumaschinen dargelegt. Zu dem wesentlichsten Einflussparameter auf den Kraftstoffverbrauch zählt bei allen untersuchten Baumaschinen der **Leerlaufanteil** (Verhältnis von Motorleerlaufzeit zu Motorbetriebszeit). Die Höhe des Leerlaufanteils charakterisiert sich im Regelfall durch die Tätigkeit sowie die damit verbundene Leistungserbringung.

Für Baumaschinenfamilien, von denen Telematikdaten vorhanden sind, können die aktuellen Leerlaufanteile dargelegt werden. Die Basis für die Tabellenwerte bilden die Auswertungen der durchschnittlichen Leerlaufanteile der jeweiligen Maschinenfamilien. In **Tab. 3** werden neben den durchschnittlichen Leerlaufanteilen auch die Extremwerte dieser dargelegt. Der durchschnittliche Leerlaufanteil über alle betrachteten Maschinen liegt bei 36%. Die größten Leerlaufanteile, mit durchschnittlich 47%, ergeben sich bei den Muldenfahrzeugen mit Knickgelenkrahmen. Bei Radladern liegen die durchschnittlichen Leerlaufanteile am niedrigsten bei 31%, wobei sich hier die größte Bandbreite (15-60%) einstellt.

Tab. 3: Leerlaufanteile (LLA) nach Maschinenfamilie

Maschinenfamilie	Ø-LLA [%]	MIN-LLA [%]	MAX-LLA [%]
Raupenbagger	34%	18%	47%
Mobilbagger	37%	29%	45%
Radlader	31%	15%	60%
Muldenfahrzeug (Knickgelenkrahmen)	47%	39%	56%
Planierdraupe	34%	30%	42%
Gesamt	36%		

Abb. 7 zeigt beispielhaft anhand eines Raupenbaggers den Einfluss des Leerlaufanteils auf den Kraftstoffverbrauch. Bereits ohne Berücksichtigung einer Tätigkeit sowie sonstiger Faktoren ergibt sich eine sehr starke Korrelation, wie das ausgewiesene Bestimmtheitsmaß (R^2) beweist.

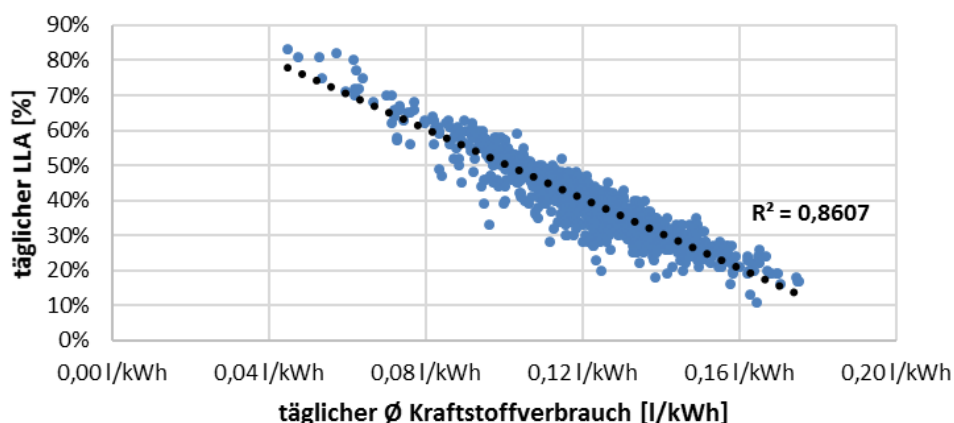


Abb. 7: täglicher Kraftstoffverbrauch und LLA: Raupenbagger (Einzelmachine)

Insbesondere bei Maschinen, die für die Ausübung ihrer Tätigkeit häufig rotatorische Bewegungen auszuführen haben, ist die stündlich zurückgelegte **Wegstrecke** ein wesentlicher Faktor, der den Kraftstoffverbrauch beeinflusst. **Abb. 8** zeigt beispielhaft anhand eines Muldenfahrzeuges mit Knickgelenkrahmen den Einfluss der zurückgelegten Wegstrecke auf den Kraftstoffverbrauch. Neben den Gesamtausprägungen des Zusammenhangs zwischen Kraftstoffverbrauch und Wegstrecke werden diese gesondert für mehrere Bauvorhaben ausgewiesen. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) aller Ausprägungen liegt bei rund 0,85. Betrachtet man hingegen ausschließlich die Ausprägungen eines Bauvorhabens (Nr. 4), ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,96. Die Unterschiede ergeben sich insbesondere aufgrund der differierenden Baustellenrandbedingungen (u.a. Untergrundeigenschaften, Beladezeit, Verfuhrdistanz).

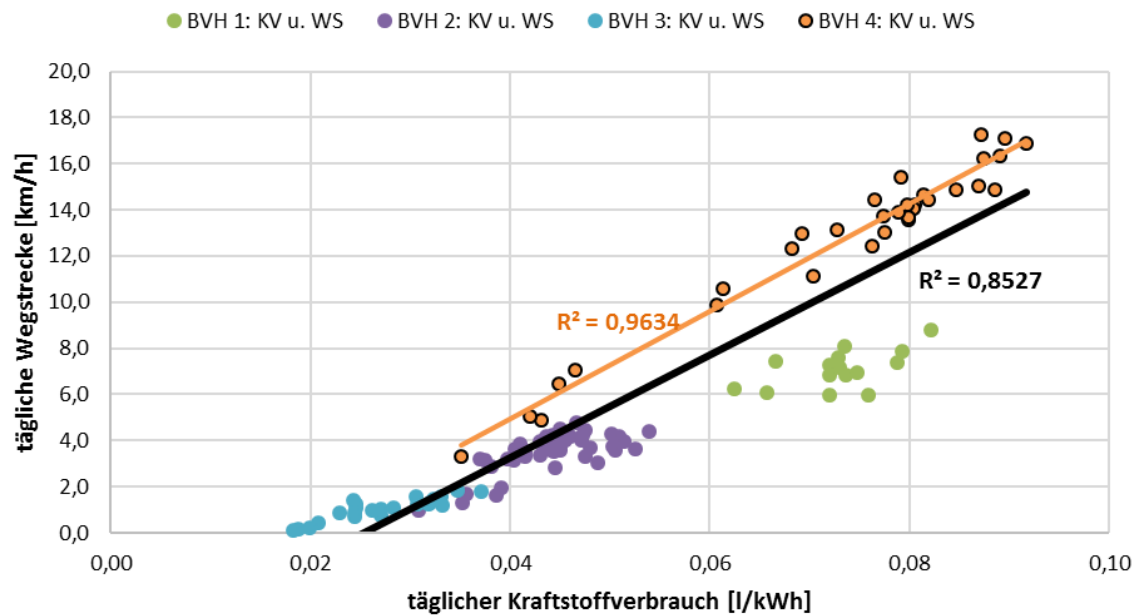


Abb. 8: täglicher Kraftstoffverbrauch und Wegstrecke: MF-K (Einzelmachine)

Weiters konnten unter Zuhilfenahme von Telematikdaten Einflussparameter wie u.a. Grab- und Hebeanteile (Raupebagger), Motorbetriebsmodi sowie Lastfaktoren untersucht werden. In die Modellbildung (AP 6) werden folgende **Einflussparameter**, abhängig von der Maschinenfamilie aufgenommen:

- Raupenbagger
 - Tätigkeit
 - Lastzeitfaktor (Verhältnis von Lastzeit zu Motorbetriebszeit)
 - Materialeigenschaften (Bodenklasse)
 - Arbeitsausrüstung (Tieföffel, Böschungslöffel)
- Radlader
 - Tätigkeit (Einsatzgebiet)
 - Lastzeitfaktor (Verhältnis von Lastzeit zu Motorbetriebszeit)
 - Wegstrecke
- Muldenfahrzeug mit Knickgelenkrahmen
 - Verfuhrdistanz
 - Beladezeit
 - Untergrundeigenschaften
- Planierdraupe
 - Tätigkeit
 - Lastzeitfaktor (Verhältnis von Lastzeit zu Motorbetriebszeit)

2.2.6 AP 6: Entwicklung Standardverfahren

Das Hauptaugenmerk der folgenden Auswertungen richtet sich auf die baubetrieblichen Einflussfaktoren des Kraftstoffverbrauchs. Zu diesen Faktoren zählen u.a. die Tätigkeiten der Maschinen sowie die damit verbundenen Baustellenrandbedingungen (z.B. Verfuhrdistanz, Materialeigenschaften, Anbaugerät, Umschlagsleistung). Die Systematik der Modellbildung ist in **Abb. 9** dargestellt. Die Kraftstoffverbräuche der Maschinenfamilien aus AP 4 bilden die Ausgangsbasis (Mittelwert, Bandbreite) für die Modellbildung. Das Ziel der Modellbildung ist es, aus den Basiskraftstoffverbrauchswerten aufgrund der Tätigkeiten der Maschinen Standardkraftstoffverbrauchswerte zu bilden. Zunächst gilt es, die Haupttätigkeiten der Maschinen zu definieren. Sind die Tätigkeiten definiert, ist für die Bildung der Standardwerte, neben den diversen baubetrieblichen Einflussfaktoren, der sogenannte Lastzeitfaktor von entscheidender Bedeutung. Die baubetrieblichen Einflüsse werden abhängig von der Maschinenfamilie definiert. Danach werden die Auswirkungen dieser Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch untersucht. Die Festlegung der Standardkraftstoffverbrauchswerte erfolgt dann mittels deskriptiver und multivariater Statistik unter Einbezug des Lastzeitfaktors sowie den baubetrieblichen Einflüssen. Die Standardwerte werden dann grafisch sowie tabellarisch aufbereitet. Den Abschluss der Auswertungen bildet die Zuordnung von Standardwerten zu ausgewählten Leistungsgruppen oder Positionen der Standardleistungsbeschreibungen (LB Hochbau, LB Verkehr und Infrastruktur).

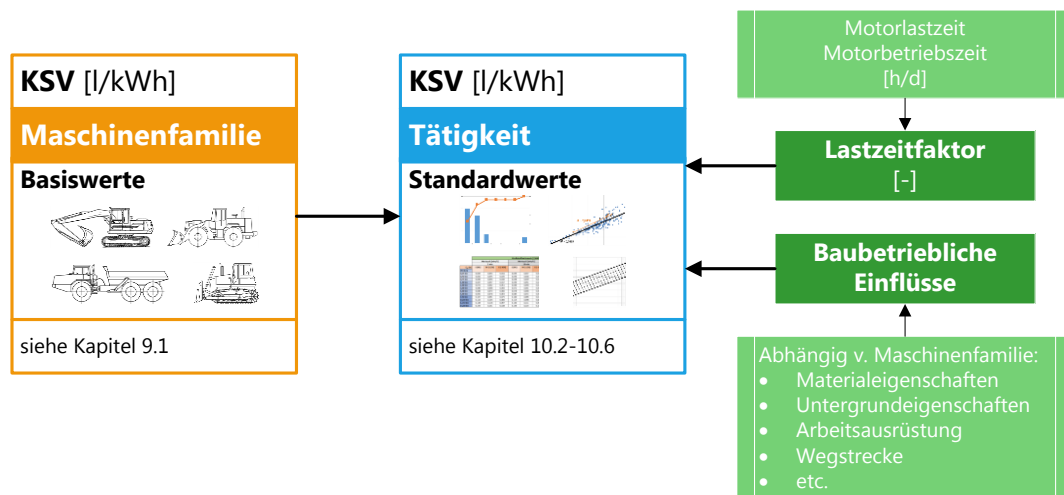


Abb. 9: Systematik zur Modellbildung

Raupenbagger

Die dokumentierten Tätigkeiten von Raupenbagger werden in zehn Hauptkategorien (TK) eingeteilt (siehe **Tab. 4**). Einige aufgezeichneten Datensätze konnten nicht einer passenden Tätigkeit zugeordnet werden (u.a. täglich mehrere differierende Tätigkeiten). Diese sind in einer weiteren Kategorie (11) erfasst. Zum besseren Verständnis der Tabelle wird zu jeder Tätigkeit jeweils ein Beispiel genannt.

Anhand der im Rahmen der Dissertation getätigten Auswertungen werden tabellarische Standardwerte für den Kraftstoffverbrauch von Raupenbagger definiert. Zunächst werden in **Tab. 5** die Standardwerte für die Tätigkeitskategorien 1-4 festgeschrieben, abhängig von den Faktoren Lastzeit, Materialeigenschaft (n.b. = nicht bindig, b. = bindig) und Arbeitsausrüstung (BL = Böschungslöffel, TL = Tieflöffel). Für die Tätigkeitskategorien 5, 6, 8 und 9 ergeben sich die jeweiligen Kraftstoffverbrauchswerte nach **Tab. 6**, wobei neben dem Lastzeitfaktor jeweils eine vorgegebene Arbeitsausrüstung zugeordnet wird. Für die Tätigkeitskategorie 7 (Kanalbau) gilt es, zwischen Tätigkeiten im unbebauten Gebiet und im bebauten Gebiet zu unterscheiden. Für die Tätigkeiten im unbebauten Gebiet wird auf die Kraftstoffverbrauchswerte aus den Tätigkeitskategorien 1-4 sowie 6 zurückgegriffen. **Tab. 7** fasst die Ergebnisse für den Kanalbau zusammen. Die Standardwerte für die Kalkulation sind farbig hinterlegt.

Tab. 4: RB: Tätigkeiten

Tätigkeit	Kategorie	Beispiel
Lösen von Material	1	Boden lösen und seitlich lagern
Umsetzen von Material	2	Gelöstes Material umsetzen (Lagerplatz)
Lösen und Laden von Material	3	Boden lösen und auf LKW laden
Laden von Material	4	Gelöstes Material auf LKW laden
Planieren/Profilieren von Material	5	Profilieren einer Böschung
Einbauen/Schütten/Verfüllen von Material	6	Dammschüttung, Verfüllung Rohrgraben
Tätigkeiten im Kanalbau	7	Lösen, Laden, Verfüllen eines Kanals
Abbrechen/Schremmen von Bauwerken	8	Abbrechen von Beton (Hydraulikhammer)
Heben von Lasten	9	Heben eines Schachtes
Diverse Tätigkeiten	10	Sieben von Material, Bauplatz einrichten
Nicht zuordenbare Tätigkeiten	(11)	differierende Tätigkeiten an einem Tag

Tab. 5: RB: Standardwerte Kraftstoffverbrauch (TK 1-4)

		Kraftstoffverbrauch [l/kWh]					
		f _{ME}	f _{AA}	f _{ME}	f _{AA}	f _{ME}	f _{AA}
Lastzeitfaktor		-5%	-5%	0%	0%	5%	5%
f _{LZ} [%]	Einstufung	n.b.	BL	-	-	b.	TL
90%	sehr schwer	0,152	0,169	0,186			
70%	schwer	0,121	0,134	0,148			
50%	mäßig	0,090	0,100	0,110			
30%	leicht	0,059	0,066	0,072			
10%	sehr leicht						

Tab. 6: RB: Standardwerte Kraftstoffverbrauch (TK 5, 6, 8, 9)

		Kraftstoffverbrauch [l/kWh]			
Lastzeitfaktor		TK 5 (Plan./Profil.)	TK 6 (Einb./Verf.)	TK 8 (Abbrechen)	TK 9 (Heben)
f _{LZ} [%]	Einstufung	Böschungslöffel	Böschungslöffel	Abbruchhammer	-
90%	sehr schwer	0,150	0,165	0,148	
70%	schwer	0,133	0,135	0,120	
50%	mäßig	0,102	0,098	0,089	0,070
30%	leicht				0,067
10%	sehr leicht				

Tab. 7: RB: Standardwerte Kraftstoffverbrauch (TK 7)

		Kraftstoffverbrauch [l/kWh]		
		TK 7 (Kanalbau unbebautes Gebiet)		TK 7 (Kanalbau bebautes Gebiet)
Lastzeitfaktor		Lösen u. Laden	Verfüllen	
f _{LZ} [%]	Einstufung	Tieflöffel	Tieflöffel	Tieflöffel
90%	sehr schwer	0,186	0,165	
70%	schwer	0,148	0,135	0,106
50%	mäßig	0,110	0,098	0,093
30%	leicht			
10%	sehr leicht			

Radlader

Die untersuchten Radlader werden in vier Hauptkategorien (Einsatzgebiete) eingeteilt (siehe **Tab. 8**). Einige aufgezeichneten Datensätze konnten nicht einer passenden Tätigkeit zugeordnet werden (täglich mehrere differierende Tätigkeiten). Diese sind in einer weiteren Kategorie (4) erfasst. Zum besseren Verständnis der Tabelle wird zu jeder Tätigkeit jeweils ein Beispiel genannt.

Tab. 8: RL: Tätigkeiten (Einsatzgebiete)

Tätigkeit (Einsatzgebiet)	Kategorie	Beispiel
Mobilrecycling	1	vorwiegend Brecherbetrieb
Tunnelbau	2	Schütterung von Material
Materialbeschickung	3	Beschickung von Material in Mischanlage
Diverse Tätigkeiten	4	täglich wechselnde Tätigkeiten (Laden von Material, Verführen von Material, Planieren etc.)

Anhand der im Rahmen der Dissertation getätigten Auswertungen werden tabellarische Standardwerte für den Kraftstoffverbrauch von Radladern definiert. Abhängig vom Lastzeitfaktor sowie der stündlich zurückgelegten Wegstrecke (UG = unterer Grenzwert, MW = Mittelwert, OG = oberer Grenzwert), werden in **Tab. 9** die Standardwerte dargelegt. Die Standardwerte für die Kalkulation sind farbig hinterlegt.

Tab. 9: RL: Standardwerte Kraftstoffverbrauch

		Kraftstoffverbrauch [l/kWh]											
		TK 1 (Mobilrecycling)			TK 2 (Tunnelbau)			TK 3 (Materialbesch.)			TK 4 (Diverse Tätigkeiten)		
Wegstrecke [km/h]		UG	MW	OG	UG	MW	OG	UG	MW	OG	UG	MW	OG
f_{LZ} [%]	Einstufung	4,0	6,0	8,0	5,0	7,0	9,0	1,0	3,0	5,0	3,0	5,0	7,0
100-80%	sehr schwer	0,120	0,140	0,160	0,108	0,128	0,148	0,049	0,069	0,089	0,087	0,107	0,127
80-60%	schwer	0,097	0,117	0,137	0,094	0,114	0,134	0,042	0,062	0,082	0,074	0,094	0,114
60-40%	mäßig	0,065	0,085	0,105	0,053	0,073	0,093	0,032	0,052	0,072	0,062	0,082	0,102

Muldenfahrzeug mit Knickgelenkrahmen

Anhand der im Rahmen der Dissertation getätigten Auswertungen werden tabellarische Standardwerte für den Kraftstoffverbrauch von Muldenfahrzeugen mit Knickgelenkrahmen definiert. Die **Tab. 10** gibt abhängig von der Verfuhrdistanz, der Wartezeit (Beladezeit) sowie den Untergrundeigenschaften (S = schlecht, M = mittel, G = gut) den Kraftstoffverbrauch wider.

Tab. 10: MF-K: Standardwerte Kraftstoffverbrauch

		Kraftstoffverbrauch [l/kWh]								
		Wartezeit [min/U]			Wartezeit [min/U]			Wartezeit [min/U]		
		5 min			10 min			15 min		
f_{UE} [%]		S (0%)	M (-15%)	G (-30%)	S (0%)	M (-15%)	G (-30%)	S (0%)	M (-15%)	G (-30%)
VD [km]										
0,25 km		0,063	0,053	0,044	0,055	0,047	0,038	0,047	0,040	0,033
0,50 km		0,064	0,055	0,045	0,056	0,048	0,039	0,048	0,041	0,034
0,75 km		0,066	0,056	0,046	0,058	0,049	0,041	0,050	0,043	0,035
1,00 km		0,067	0,057	0,047	0,059	0,051	0,042	0,052	0,044	0,036
2,00 km		0,074	0,062	0,051	0,066	0,056	0,046	0,058	0,049	0,040
3,00 km		0,080	0,068	0,056	0,072	0,061	0,050	0,064	0,054	0,045
4,00 km		0,086	0,073	0,060	0,078	0,066	0,055	0,070	0,060	0,049
5,00 km		0,092	0,078	0,064	0,084	0,072	0,059	0,076	0,065	0,053
7,50 km		0,107	0,091	0,075	0,100	0,085	0,070	0,092	0,078	0,064
10,00 km		0,123	0,104	0,086	0,115	0,098	0,080	0,107	0,091	0,075
12,50 km		0,138	0,118	0,097	0,130	0,111	0,091	0,123	0,104	0,086
15,00 km		0,154	0,131	0,108	0,146	0,124	0,102	0,138	0,117	0,097

Planierraupe

Die Tätigkeiten von Planierraupen können in drei Hauptkategorien eingeteilt werden. Dazu gehört das Abschieben/Abtragen/Lösen, das Einbauen/Schütten/Verfüllen und das Planieren von Material. Weiters kommen diese Tätigkeiten im sogenannten Mischbetrieb vor, d.h. an diesen Tagen werden unterschiedliche Tätigkeiten durchgeführt. **Tab. 11** stellt die genannten Tätigkeiten dar. Jeder Tätigkeit wird eine bestimmte Kategorie zugeordnet. Zum besseren Verständnis wird jeweils ein Beispiel genannt.

Tab. 11: PR: Tätigkeiten

Tätigkeit	Kategorie	Beispiel
Abschieben/Abtragen/Lösen von Material	1	Abtrag von Oberboden (Mutterboden)
Einbauen/Schütten/Verfüllen von Material	2	Dammschüttung
Planieren von Material	3	Herstellung ebene Fläche (Frostschuttschicht)
Mischbetrieb	4	Einbauen und Planieren

Anhand der im Rahmen der Dissertation getätigten Auswertungen werden tabellarische Standardwerte für den Kraftstoffverbrauch von Planierraupen definiert. **Tab. 12** gibt abhängig von der Tätigkeitskategorie sowie dem Lastzeitfaktor (UG = unterer Grenzwert, MW = Mittelwert, OG = oberer Grenzwert), den Kraftstoffverbrauch wider. Die Standardwerte für die Kalkulation sind farbig hinterlegt.

Tab. 12: PR: Standardwerte Kraftstoffverbrauch

Lastzeitfaktor		Kraftstoffverbrauch [l/kWh]								
		TK 1 (Abschieben/Abtragen/Lösen)			TK 2 (Einbauen/Schütten/Verfüllen)			TK 3 (Planieren)		
f_{LZ} [%]	Einstufung	OG	MW	UG	OG	MW	UG	OG	MW	UG
100-80%	sehr schwer	0,191	0,173	0,155	0,178	0,161	0,143	0,166	0,148	0,130
80-60%	schwer	0,155	0,138	0,120	0,143	0,125	0,107	0,130	0,112	0,095
60-40%	mäßig	0,120	0,102	0,084	0,107	0,089	0,072	0,095	0,077	0,059
40-20%	leicht				0,072	0,054	0,036	0,059	0,041	0,023
20-0%	sehr leicht									

Weitere Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch

Im Rahmen der Dissertation werden folgende weitere Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch diskutiert:

- Betriebsstoffe: u.a. Premiumkraftstoff, Biokraftstoff, verbesserte Schmierstoffe
- Faktor „Mensch“: u.a. mögliche Beeinflussungsfaktoren, Veränderung durch Telematik
- Zeitliche Entwicklung: u.a. Einfluss des Baujahres
- Wetter: u.a. Veränderung von Material-, Untergrundeigenschaften, Temperatur, Luftdruck
- Motorleerlaufzeit: u.a. Auswirkung durch Veränderung der Motorleerlaufzeit (Lastzeitfaktor)

Tool-Betriebsstoffverbrauch

Das „Tool-Betriebsstoffverbrauch“ dient dazu, auf Basis der Auswertungen in den Arbeitspaketen 4-6 den Betriebsstoffverbrauch ausgewählter Baumaschinen über wenige Eingaben zu ermitteln. Dieses Tool basiert auf Excel-VBA.

Das Tool wurde unter Anlehnung an die „rS1.Methode“ erstellt und besteht aus zwei Teilbereichen. Jeder dieser Teilbereiche setzt sich aus mehreren Arbeitsblättern zusammen. Der **erste Teilbereich** behandelt die Ermittlung des Betriebsstoffverbrauchs von Baumaschinen und besteht aus mehreren Eingabeblättern sowie einem Ausgabeblatt. Die Richtwerte der Eingabeblätter sind in mehreren Datenblättern erfasst. Dazu zählen etwa Richtwerte für den Kraftstoff-, Schmierstoff- und Reduktionsmittelverbrauch. Die Eingabe setzt sich auch vier Tabellenblättern zusammen: Basis, Kraftstoffverbrauch, Schmierstoffverbrauch und Reduktionsmittelverbrauch. Die Ergebnisse der Eingabeblätter werden im Ausgabeblatt als Zusammenfassung dargestellt.

Der zweite Teilbereich des Tools befasst sich mit der Ermittlung des detaillierten Kraftstoffverbrauchs von vier ausgewählten Baumaschinenfamilien auf Basis baubetrieblicher Randbedingungen. Für jede Maschinenfamilie steht jeweils ein Eingabeblatt zur Verfügung. Dieses Blatt dient zugleich als Ausgabeblatt des ermittelten Kraftstoffverbrauchs. Zu den Maschinenfamilien zählen: der Raupenbagger, der Radlader, das Muldenfahrzeug mit Knickgelenkrahmen und die Planier-
 raupen. Die Aufbereitung der Daten erfolgt in unterschiedlichen Datenblättern. In **Abb. 10** ist der zuvor beschriebene Aufbau des Tools anhand eines Organigramms ersichtlich.

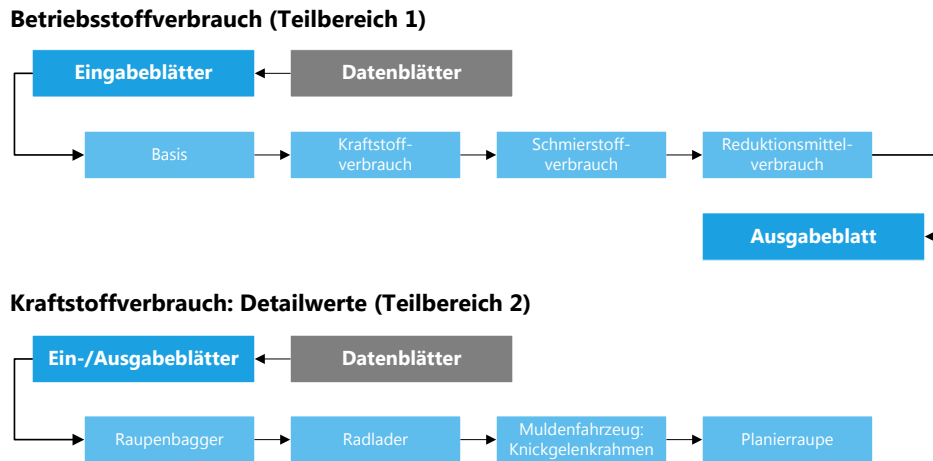


Abb. 10: Tool-Betriebsstoffverbrauch: Aufbau

2.2.7 AP 7: Ökoeffiziente Bauprozesse

Die bisherigen Auswertungen in den vorangegangenen Arbeitspaketen zeigen sehr gut, wo die Potentiale für eine Bau(maschinen)prozessoptimierung liegen. Insbesondere die Motorleerlaufzeiten, mit einem Anteil von derzeit teilweise über 40% der Motorbetriebszeiten, sind hier zu nennen. Dieser Problemstellung wird im vorliegenden Arbeitspaket besonderer Beachtung geschenkt. Zunächst werden die Optimierungspotentiale im Baumaschinenbetrieb sowie Maßnahmen zur Nutzung dieser Potentiale aufgezeigt, in weiterer Folge werden die Grundlagen für die Ermittlung der ökoeffizienten Einsparungspotentiale dargelegt. Anhand von Praxistests werden die genannten Optimierungspotentiale validiert. Den Abschluss des Arbeitspaketes bildet die Darstellung von Möglichkeiten zur Förderung von ökoeffizienten Bau(maschinen)prozessen bereits in der Ausschreibung- sowie Vergabephase eines Bauprojektes.

Durch eine Verminderung der Motorleerlaufanteile können die folgenden unmittelbaren sowie mittelbaren ökoeffizienten Effekte generiert werden.

- **Ökonomische Auswirkung**
 - Senkung des Kraftstoffverbrauchs
Unmittelbare Kostenreduktion durch Einsparung von Kraftstoff.
 - Senkung der Wartungskosten
Mittelbare Kostenreduktion durch Senkung der Motorbetriebszeit. Die Kostenreduktion äußert sich durch die Verlängerung der Zeitspanne zwischen den Wartungsintervallen, da Wartungsintervalle im Regelfall an das Erreichen von festgelegten Motorbetriebsstunden gekoppelt sind.
 - Verlangsamung der Wertminderung
Mittelbare Kostenreduktion durch Senkung der Motorbetriebszeit. Die Kostenreduktion äußert sich entweder durch das Erzielen eines höheren Wiederverkaufswerts aufgrund einer geringeren Anzahl an Motorbetriebsstunden oder durch die Verlängerung der Nutzungsdauer im eigenen Betrieb.
- **Ökologische Auswirkung**
 - Senkung von CO₂- sowie Schadstoffemissionen
Unmittelbare Emissionsreduktion durch Einsparung von Kraftstoff.

Abb. 11 zeigt die möglichen Kosten- sowie Emissionsreduktionspotentiale der jeweiligen darge-

legten ökoeffizienten Effekte durch die Reduktion der Motorleerlaufzeiten. Da der Kraftstoffverbrauch im Motorleerlaufbetrieb wesentlich geringer ist als im Motorlastbetrieb, liegt das unmittelbare Reduktionspotential beim Kraftstoffverbrauch sowie bei den Emissionen geringer als das mittelbare Reduktionspotential bei der Wartung sowie Wertminderung.

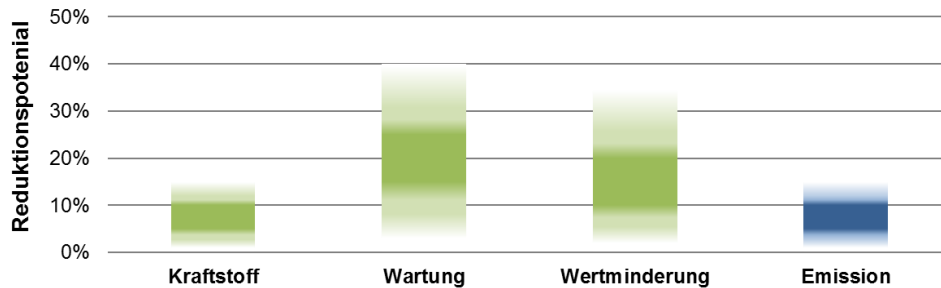


Abb. 11: Ökoeffiziente Potentiale durch Reduktion der Motorleerlaufzeiten

Damit die zuvor aufgezeigten ökoeffizienten Potentiale tatsächlich generiert werden können, gilt es einige Maßnahmen zu setzen. Ihre optimale ökoeffiziente Wirkung können die Maßnahmen nur gemeinsam entfalten. Zu diesen Maßnahmen zählen folgende (geordnet nach Relevanz):

- Durchführung von Schulungen der Maschinisten
Die Schulungen sind auf die vorliegende Thematik abzustimmen (Darstellung der Problematik, Umgang mit neuer Technologie)
- Aktivierung der automatischen Motorabschaltung oder Nachrüstung einer Motorabschalteinrichtung an der Baumaschine
- Nachrüstung von Systemen zur Regelung des Raumklimas an der Baumaschine
 - Standheizung
 - Standkühlung

Anhand eines **Excel-VBA-Tools** kann die Ökoeffizienz von Maßnahmen zur Optimierung des Baumaschinenbetriebs auf der Baustelle bewertet werden. Die Berechnungsgrundlagen sind in der bereits erwähnten Dissertationsschrift dargelegt. Anhand von Praxistests konnten die Einsparungspotentiale validiert werden. Bei den Praxistests wurden anhand von drei verschiedene Radladern zuvor gezeigte Maßnahmen gesetzt. Dazu zählen das Briefing der Maschinisten (keine gesamtheitliche Schulung), die Aktivierung von Motorabschaltungen sowie die Nachrüstung einer Standheizung und einer Standkühlung, wobei die Heizung für den Winterbetrieb und die Kühlung für den Sommerbetrieb nur beim Radlader 1 nachgerüstet wurde. Bei der Standkühlung handelt es sich um einen Prototyp und sie ist die erste ihrer Art, die auf einer Baumaschine in Europa montiert sowie in Betrieb genommen wurde.

In **Abb. 12** werden die Ergebnisse des **Praxistests** des **Winterbetriebs** von Radlader 1 dargestellt. Hinsichtlich des Praxistests kam es zu zwei Problempunkten: Im Rahmen von Wartungsarbeiten am Radlader, die Mitte Jänner stattgefunden haben, wurde der Abschaltzeitraum unbeabsichtigt von 5,0 auf 20,0 min gestellt, was erst später bemerkt wurde. Es dauerte dann bis Anfang März bis eine Rückstellung erfolgen konnte. Weiters konnte die automatische Inbetriebnahme der Standheizung bei der Motorabschaltung erst Mitte Februar gewährleistet werden. Aus diesen Gründen kam es von Mitte Jänner bis Mitte Februar zu teilweise etwas höheren Leerlaufanteilen. Danach pendelt sich der Leerlaufanteil zwischen 10 und 30% ein. Trotz dieser Schwierigkeiten kann der Praxistest als Erfolg gewertet werden. Der durchschnittliche Leerlaufanteil über den Beobachtungszeitraum liegt bei 21%. Betrachtet man nur die Phasen, wo der Abschaltzeitraum 5,0 min betragen hat, liegt der durchschnittliche Leerlaufanteil bei nur 17%.

Für einen Vergleich stehen die Daten aus den Jahren 2014 und 2015 zur Verfügung (selber Zeitraum). Die durchschnittlichen Leerlaufanteile im Jahr 2014 betragen 36% und im Jahr 2015 40%. Somit ist bewiesen, dass durch organisatorische sowie technische Maßnahmen eine Halbierung der Leerlaufanteile durchaus im Bereich des Möglichen liegen. Aufgrund der Maßnahmen konnten somit über den Beobachtungszeitraum (Anfang Jänner bis Anfang April 2016) ca. **170 Betriebs-**

stunden eingespart werden. Dies bedeutet weiters eine unmittelbare Einsparung von ca. 520 l an Kraftstoff sowie 1,6 t CO₂-Ä. Weiters konnten durch die Reduktion der Betriebsstunden mittelbare Einsparungen in den Bereichen Wartung und Wertminderung der Maschine generiert werden.

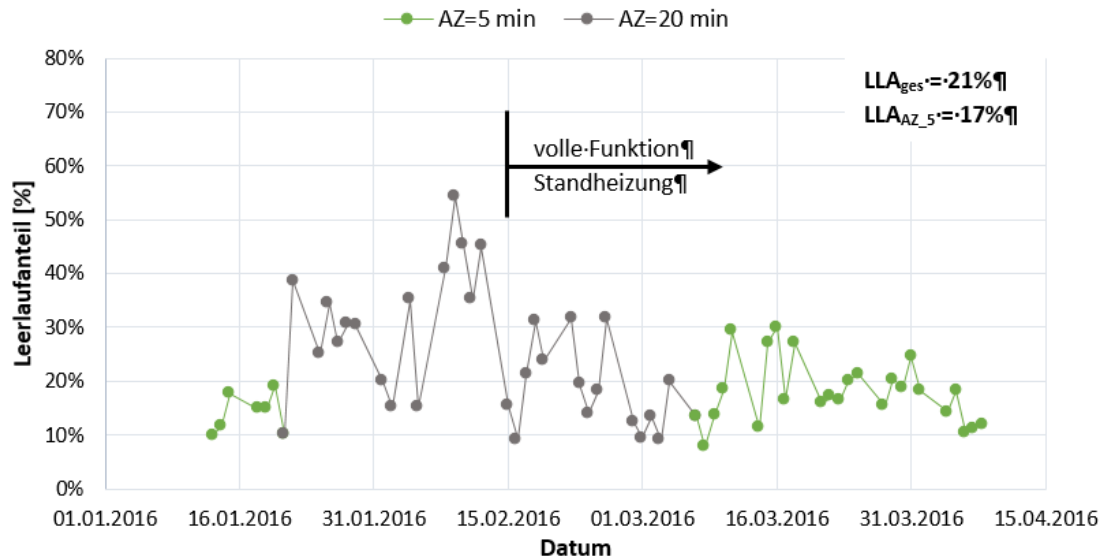


Abb. 12: Radlader 1: Leerlaufanteile Winter 2016

Anfang des Sommers 2016 erfolgte die **Nachrüstung** der angesprochenen **Standkühlung** beim Radlader 1. Der Beobachtungszeitraum für die Auswertungen geht von Anfang Juli bis Ende September 2016. In **Abb. 13** wird diese Entwicklung der Motorleerlaufanteile anhand eines Diagramms dargestellt. Hinsichtlich des Praxistests gilt es folgendes anzumerken: Der Betrieb der Standkühlung konnte mit 06.07.2016 aufgenommen werden. Organisatorisch wurde mit 11.07.2016 ein neuer Stammmaschinist bestellt. Von Mitte August bis Mitte September kam es aufgrund interner Gegebenheiten (z.B. Urlaub), zu mehreren Änderungen bei den eingesetzten Maschinisten. Der Zeitraum von 18.07.2016-19.08.2016 wird als sogenannter Referenzbereich (ReBe) festgelegt. Dieser beginnt nach einer einwöchigen Eingewöhnungsphase (11.07.2016-17.07.2016) des neuen Stammmaschinisten und endet aufgrund der beschriebenen internen Gegebenheiten ca. Mitte August.

Für den Testbetrieb zwar ausreichend, jedoch problematisch für den Praxisbetrieb ist, dass die Standkühlung nicht automatisch nach dem Abschaltvorgang des Motors in Betrieb gegangen ist, sondern manuell vom Maschinisten über das Bedienelement eingeschaltet werden musste. Dies führt natürlich zu einem zusätzlichen Aufwand für den Maschinisten und verhindert dadurch die volle Akzeptanz bei diesem. Weiters gilt es zu erwähnen, dass die Standkühlung im Praxistest eine motorbetriebslose Zeit (z.B. Pause) von ungefähr 45-60 min überbrücken konnte (Begründung siehe Dissertationsschrift). Der durchschnittliche Leerlaufanteil über die gesamte Beobachtungsphase liegt bei 20%. Die Motorbetriebszeit im Beobachtungszeitraum liegt bei 370 h, bei einer Leerlaufzeit von 75 h. Im Referenzbereich stellt sich ein mittlerer Leerlaufanteil von nur 16% ein. In dieser Phase wurde der Motor ca. 155 h betrieben, bei einer Leerlaufzeit von rund 25 h.

Für einen Vergleich stehen die Daten aus dem Jahr 2015 zur Verfügung (selber Zeitraum). Die durchschnittlichen Leerlaufanteile im Jahr 2015 betragen 30%. Somit ist bewiesen, dass durch organisatorische sowie technische Maßnahmen, auch in den Sommermonaten, eine Reduktion der Leerlaufanteile durchaus im Bereich des Möglichen liegen. Aufgrund der Maßnahmen konnten somit über den Beobachtungszeitraum (Anfang Juli bis Ende September 2016) ca. **50 Betriebsstunden eingespart** werden. Dies bedeutet weiters eine unmittelbare Einsparung von ca. 170 l an Kraftstoff sowie 0,5 t CO₂-Ä. Weiters konnten durch die Reduktion der Betriebsstunden mittelbare Einsparungen in den Bereichen Wartung und Wertminderung der Maschine generiert werden.

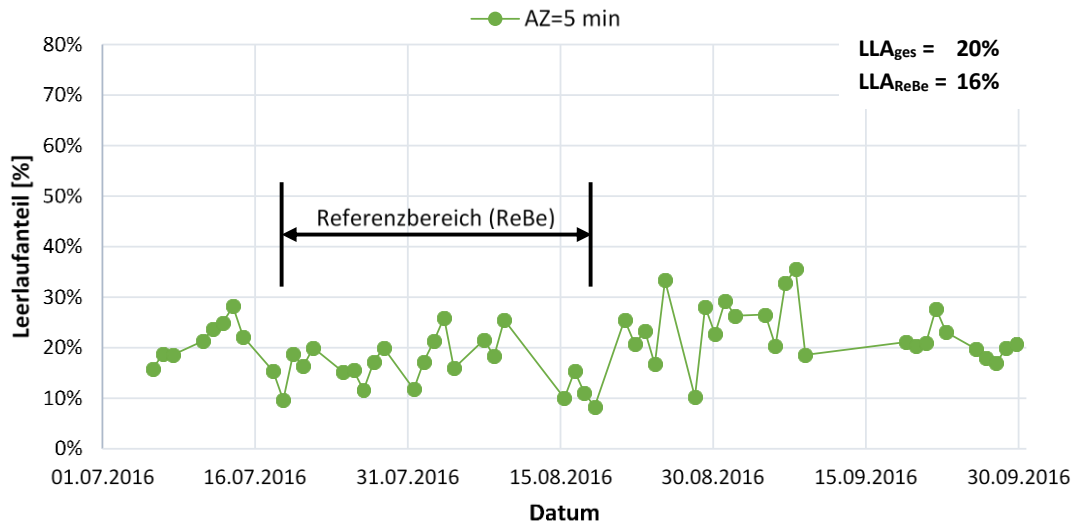


Abb. 13: Radlader 1: Leerlaufanteile Sommer 2016

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

Die Arbeitspakete konnten bis auf wenige zeitliche Verschiebungen nach Plan erarbeitet werden. Bezüglich Abweichungen können folgende Punkte angemerkt werden:

- Aufgrund der bestehenden mäßigen Dokumentationslage zum Kraftstoffverbrauch sowie den zugehörigen Tätigkeiten der Baumaschinen auf den Baustellen musste für die Referenzaufnahmen (AP 3) auf den Baustellen mehr an Zeit eingeplant werden, um eine gute Datenlage für die Auswertung sowie Modellbildung zu erhalten.
- Das AP 7 wurde um den Bereich der Praxistests (Reduktion von Motorleerlaufzeiten) erweitert. Dazu gehören z.B. Aktivierung von automatischen Motorabschaltungen, Einbau einer Standheizung und einer Standkühlung bei Radladern in der stationären Bauindustrie. Weiters wurden die dazugehörigen Auswertungen 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 Rahmen des Forschungsprojektes kam es zu keiner Veränderung im Projektteam bzw. in der Arbeitsaufteilung.

4. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

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

Folgende Veröffentlichungen fanden bisher im Rahmen des Forschungsprojektes statt:

- Zeitschriftenartikel
 - Forschungsprojekt Betriebsstoffverbrauch (C. Winkler, Jodl, Goger), Bulletin TU Wien alumni club, 2016
 - Forschungsprojekt an der TU Wien belegt Einsparungspotential durch Engine-Off-Technologie (Webasto, TU Wien, PORR), bauMagazin, 2016
- Vorträge mit Tagungsband-Eintrag
 - Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen: Ein wirtschaftlicher Faktor (C. Winkler), Baukongress 2016, Wien, 2016
 - Digitalisierung von Baumaschinenprozessen: Der baubetriebliche Umgang mit Telematikdaten von Baumaschinen (C. Winkler), 27. BBB-Assistententreffen, Dresden, 2016
- Vorträge ohne Tagungsband-Eintrag
 - Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen eine baubetriebliche Betrachtung (C. Winkler): BBB-Treffen, Obergurgl, 2015
 - Betriebsstoffverbrauch Baumaschinen (C. Winkler): Informationsveranstaltung zum FFG-Projekt, Wien, 2015
 - Energieeffizienz auf Baustellen – Erkennen und Nutzen von Potentialen mithilfe praxisnaher Forschung (C. Winkler, Fecke): 9. Tag der Deutschen Baumaschinentechnik, Berlin, 2015
 - Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen (C. Winkler): Innovationstag Strabag, Wien, 2015
 - Forschungsaktivitäten im Baubetrieb 2015/16 (C. Winkler, L. Winkler): BBB-Treffen, Obergurgl, 2016
 - Optimierung der Motorbetriebsstunden von Baumaschinen durch Abschaltautomatik und Standheizung (C. Winkler): VÖZ Vorstandssitzung, Wien, 2016
 - Betriebsoptimierung von Baumaschinen durch Mensch und Technik (C. Winkler): 27. Webasto Partnertagung, Neuhofen, 2016

Auszug weiterer geplanter Veröffentlichungen:

- Zeitschriftenartikel
 - bauMAGAZIN, Sommer 2017
- Pressemitteilungen, Newsletter (u.a. TU Wien, Webasto)
- Vorträge mit Tagungsband-Eintrag
 - 46. VDBUM Großseminar, Willingen, Februar 2017
 - 4. Internationaler BBB-Kongress, Stuttgart, September 2017
- Abschlussveranstaltung an der TU Wien für alle Mitwirkenden im Februar 2017

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

Der Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik (TU Wien), unter der Leitung von Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, wird dieses Thema weiterhin wissenschaftlich verfolgen und auf den Grundlagen dieser Forschungsarbeit aufbauen.

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

Auf Basis dieses Forschungsprojektes ist folgende Dissertationsschrift entstanden:

- Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung (*C. Winkler*), Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2017

Folgend werden alle Bachelor- Projekt- sowie Diplomarbeiten aufgelistet, die im Rahmen des gegenständlichen Forschungsprojektes entstanden bzw. in Entstehung sind:

- **Arbeit abgeschlossen:**
 - Kraftstofflogistik auf der Baustelle (*Sebastian Gerhard*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2015, [Bachelorarbeit]
 - Flottenmanagement von Baumaschinen auf Baustellen (*Ursula Plessl*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2016, [Bachelorarbeit]
 - Österreichische Baugeräteliste 2015 – eine Gegenüberstellung zur ÖBGL 2009 (*Nino Ivic*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2016, [Bachelorarbeit]
 - Einfluss des Bundes-Energieeffizienzgesetzes auf die Baubranche (*Thomas Schoberberger*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2016, [Bachelorarbeit]
 - Zusammenhang zwischen realer und digitaler Daten von Baumaschinen auf Baustellen (*Tobias Bisenberger*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2016, [Projektarbeit]
 - Gegenüberstellung von Leistung und Einsatzgewicht bei Baumaschinen im Erdbau (*Harald Urban*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2016, [Projektarbeit]
 - Telematik bau Baumaschinen: Baubetriebliche Untersuchung der Telematikdaten von Baumaschinen und deren Verwertungspotential zur Bauablaufoptimierung im Tiefbau (*Christoph Hofstätter*): FH Campus Wien, 2016, [Diplomarbeit]
 - Logistik der Betriebsstoffe von Baumaschinen auf Baustellen (*Antonia Simova*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2016, [Diplomarbeit]

- **Arbeiten in Bearbeitung:**

- Vergleich Telematikdaten und Praxisdaten von Baumaschinen anhand baubetrieblicher Untersuchungen (*David Bachinger*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, laufend, [Projektarbeit]
- Energieeffizienz in der Bauabwicklung (*Maria Trauntschnig*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, laufend, [Diplomarbeit]
- Kraftstoffverbrauchs- und Emissionstests bei Baumaschinen anhand definierter Lastzyklen (*Tobias Bisenberger, Harald Urban*): Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, laufend, [Diplomarbeit]

- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant?

Aus heutiger Sicht kann nicht abgeschätzt werden inwiefern es zu der behandelten Thematik weitere Forschungsaktivitäten geben wird. Jedoch wird sich der Lehrstuhl für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik an der TU Wien zukünftig intensiv mit dem Thema „Datenbasierte Modellierung, Simulation und Optimierung von Bauprozessen“ beschäftigen.

- Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiter verwendet?

Neben der erstellten Dissertationsschrift werden die entwickelten Tools (Betriebsstoffverbrauch, Ökoeffizienz) der gesamten Baubranche zur Verfügung stehen. Die öffentliche Verbreitung erfolgt seitens der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) sowie des Instituts für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (TU Wien, IBPM). Weiters werden die Auswertungen in der baubetrieblichen Lehre ihren Einfluss finden.

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

- Die Abrechnung ist als eigene Datei im Excel-Format hochzuladen. Die Verwendung der im eCall zur Verfügung gestellten Vorlage ist verpflichtend. Beachten Sie den FFG Kostenleitfaden (www.ffg.at/kostenleitfaden) bzw. Ausschreibungsdokumente.
- Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.

Siehe Excel-Sheet (DI Pauser).

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.

Die Projektveröffentlichungen sind unter Kapitel 4 dieses Berichtes zu finden.

Die Veröffentlichungsschrift bildet die **Dissertation** „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“ (C. Winkler, H. G. Jodl), die parallel zum Forschungsprojekt ausgeführt wurde.

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

Folgende Unternehmen unterstützen das Projekt mit genannten Beträgen (gesamt: 2 Jahre):

Unternehmen	Unterstützung [€]	In-Kind Leistung (geplant) [€] ¹⁾
HABAU Hoch- u. Tiefb. GmbH	4.000 €	ca. 750 € (1.500 €)
PORR Bau GmbH	4.000 €	ca. 750 € (1.500 €)
STRABAG AG	4.000 €	ca. 750 € (1.500 €)
Ver. der österr. Zementind. (VÖZ)	4.000 €	0 € (1.500 €)
WIENER LINIEN GmbH & Co KG	4.000 €	0 € (1.500 €)

1) Die In-Kind Leistungen konnten nur zu einem geringen Anteil realisiert werden.

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 Rahmen des Forschungsprojektes traten keine meldungspflichtigen Ereignisse auf.