

# Prädiktive Betriebsstrategien für zukünftige Maschinenkonzepte

Tobias Töpfer, Dennis Jünemann, Thorsten Stamm von Baumgarten, Rifet Muminovic

Um die Effizienz und die Leistungsfähigkeit von landtechnischen Maschinen zu steigern, bedarf es innovativer Regelungsansätze. Werden diese Ansätze in einer übergeordneten Steuergeräteebene genutzt, um das Betriebsverhalten zu optimieren, spricht man von Betriebsstrategien. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit einem Ansatz zur Gestaltung einer Betriebsstrategie, die in der Lage ist, prädizierte Zyklusinformationen zu nutzen. Dieser vorausschauende Charakter bietet die Möglichkeit Optimierungsverfahren anzuwenden, um damit Effizienz- und/oder Leistungsverbesserungen zu erreichen. Als Anwendungsbeispiel wird ein Traktor verwendet. Dieser verlangt aufgrund seiner vielfältigen Arbeitsaufgaben nach einem sehr flexiblen Regelungsansatz. Wie dieser gestaltet sein kann, wie die notwendigen Teilelemente aufgebaut sind und welche Ergebnisse durch den Einsatz der vorgestellten Betriebsstrategie zu erwarten sind, zeigt der vorliegende Beitrag.

## Schlüsselwörter

Betriebsstrategie, Prädiktion, dynamische Programmierung

Der Antriebsstrang mobiler Arbeitsmaschinen besteht aus vielen unterschiedlichen Komponenten. Beim Traktor sind die Hauptkomponenten der Verbrennungsmotor, das Getriebe und die Hydraulik. Eine Betriebsstrategie muss den abgestimmten Betrieb der verschiedenen Komponenten des Antriebsstrangs sicherstellen. Mithilfe eines Gütekriteriums (z.B. Kraftstoffverbrauch, maximale Flächenleistung etc.) kann das Optimierungsziel für die Betriebsstrategie vorgegeben werden. Die Betriebsstrategien können in die drei Ausbaustufen

- regelbasiert,
- online optimal und
- prädiktiv

eingeteilt werden. Die Komplexität und der Entwicklungs- bzw. Forschungsbedarf nehmen in Richtung der prädiktiv arbeitenden Betriebsstrategie zu. Prädiktive Betriebsstrategien bieten im Vergleich zu den übrigen Verfahren die Möglichkeit, die Maschinenparameter zum optimalen Zeitpunkt auf den zukünftigen Maschinenzustand einzustellen; z.B. eine Erhöhung des Motorauslastungsgrades bei prädiziertem Lastabfall durch eine Anpassung der Getriebeübersetzung. Damit wird es möglich, nicht nur auf aktuelle Betriebszustände zu reagieren, sondern auch vorausschauend zu agieren. Dadurch können auch transiente Maschinenzustände bzw. hochdynamische Lastzyklen, z.B. Y-Zyklus bei Frontladerarbeiten, optimiert werden. Die Prädiktion hat die Aufgabe, die künftigen Lastanforderungen an den Antriebsstrang der Maschine zu ermitteln. Dabei kann generell zwischen der Verwendung von maschineninternen und externen Daten unterschieden werden. Externe Daten können z.B. Bodenkarten, Wetterinformationen oder Logistikdaten sein. Der vorliegende Ansatz fokussiert sich ausschließlich auf die Verwendung von maschineninternen Daten. Das bedeutet, dass

alle messbaren Informationen der Maschine, in diesem Fall des Antriebsstrangs, verwendet werden können. Nachdem das System eine Lernphase durchlaufen hat, kann mittels einer Mustererkennung der Betriebszustände der Maschine auf Basis der vorangegangenen Betriebszustände mit definierter Wahrscheinlichkeit eine Aussage über die nachfolgenden Betriebszustände getroffen werden. Der vorgestellte Ansatz grenzt sich somit von modellprädiktiven Ansätzen ab. Erst im Optimierungsbau-stein des Systems, der die eigentliche Betriebsstrategie der Maschine beinhaltet, erfolgt eine modellbasierte Optimierung der Maschinensteuerung.

In der Pkw-Entwicklung wird die Prädiktion u. a. zur Energieflussoptimierung und zur Erhöhung der Fahrersicherheit eingesetzt. Beispielsweise wird von BACK (2005) ein vorausschauendes Batterie- und Antriebsmanagementsystem zur Anpassung des Batterieladezustands und weiterer Antriebsstrangparameter an die prädizierte Fahrstrecke eingesetzt. Von GOSSLAU (2009) wurde ein Ansatz zur vorausschauenden Kühlsystemregelung entwickelt. Dabei wird die Regelung des Kühlsystems von den Informationen einer Streckentyp- und Streckenprofilerkennung sowie einer Fahrertypbestimmung beeinflusst. Es wird eine Erhöhung der Temperaturen im System ermöglicht, indem der Sicherheitsabstand zu den zulässigen Höchsttemperaturen verringert wird. Hieraus resultiert ein verringerter Kraftstoffverbrauch. KRETSCHMER et al. (2006) nutzen zur Erhöhung der Fahrersicherheit während des Überholens die Daten der Fahrzeuggeschwindigkeiten und -abstände, um einen Überholvorgang zu erkennen und die Dauer des Überholvorgangs zu prädizieren.

Bei Nutzfahrzeugen stellen prädiktive Regelansätze heutzutage, z. B. in Form eines prädiktiven Tempomaten, den Stand der Technik dar. Dabei werden zusätzlich zu den Fahrzeugzustandsdaten externe Informationen wie das Höhenprofil und die Richtgeschwindigkeit der zu befahrenden Strecke genutzt, daraus die zu erwartenden Lastfälle prädiziert und der effizienteste Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf bestimmt (TERWEN 2009, KERN 2013).

Ungleich anspruchsvoller ist die Anwendung prädiktiver Strategien in mobilen Arbeitsmaschinen und insbesondere beim Traktor. Die besondere Herausforderung besteht in der Einbindung in unterschiedlichste Arbeitsprozesse mit entsprechenden Störgrößen und den daraus resultierenden schwankenden Prozessparametern, veränderlichen Umweltbedingungen und Bedienerinflüssen. Derzeit angewendete Betriebsstrategien bei Traktoren sind üblicherweise regelbasierte Strategien zur Abstimmung des Fahrtriebs.

Bei der Arbeitsprozesssteuerung mobiler Maschinen sind bereits modellbasierte Steuerungsansätze vorhanden. So wurde z. B. von HAPPICH (2012) eine modellbasierte Beladungssteuerung für das Überladen von Häckselgut im Parallelverfahren untersucht. Dieser Ansatz beinhaltet ein Modell zum durchsatzabhängigen Aufbau des Schüttkegels auf der Transporteinheit. Auf Basis dieses Modells wird der Auftreffpunkt des Häckselgutstrahls angepasst, sodass ein automatisiertes gleichmäßiges Befüllen der Transporteinheit realisiert werden kann. Vorausschauende Elemente werden z. B. im Projekt „marion“ (REINECKE et al. 2012) im Rahmen von Planungssystemen angewendet; ein Anwendungsbeispiel in diesem Projekt ist die Bahnplanung und Planung der Überladepunkte bei der Getreideernte mit dem Ziel, die Mährescher-Überladefahrzeug-Kombination auf dem Feld zu automatisieren.

Die Motivation zur Entwicklung und Anwendung des im Folgenden vorgestellten Ansatzes liegt sowohl in der Anwendung als Entwicklungswerkzeug bei der Maschinenentwicklung als auch in der Nutzung im praktischen Maschineneinsatz. Das Ziel dabei ist es, die Betriebsstrategie auf sämtliche Leistungsverbraucher der Maschine auszuweiten und die vorhandenen Potenziale optimal auszunutzen. Als Basis für diesen Beitrag sei auf TÖPFER et al. (2014) verwiesen.

## Notwendige Systembausteine

Der hier vorgeschlagene Ansatz anhand des Anwendungsbeispiels Traktor besteht aus drei Hauptbausteinen: Klassifizierung der Arbeitsaufgabe, Prädiktion und optimierte Betriebsstrategie (Abbildung 1).

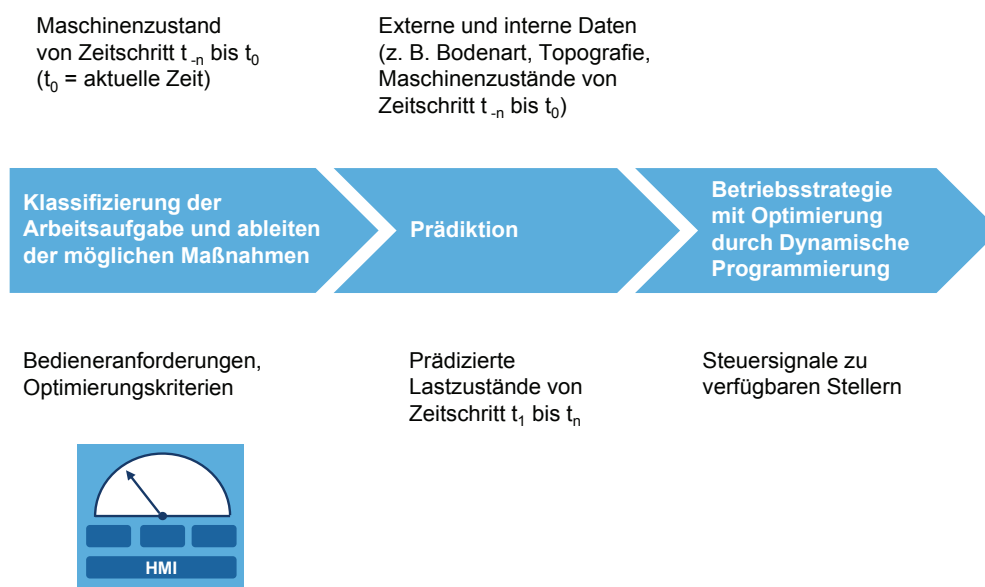


Abbildung 1: Mögliche Systemstruktur

### Klassifizierung der Arbeitsaufgabe und Maßnahmenzuordnung

Der erste Block, die Klassifizierung der Arbeitsaufgabe, ist erforderlich, um sicherzustellen, dass die Betriebsstrategie nur Maßnahmen anwendet, die sinnvoll und mit der aktuellen Arbeitsaufgabe der Maschine vereinbar sind. Die Qualität des Arbeitsergebnisses darf dabei nicht negativ beeinflusst werden. Beispielsweise darf die Motordrehzahl nur abgesenkt werden, wenn die Ist-Drehzahl eines prozessrelevanten Arbeitsantriebes annähernd im Bereich der Soll-Drehzahl gehalten werden kann. Daher ist es im Voraus erforderlich, die Maschinenzustände zu einer bestimmten Klasse zuzuordnen. Es ist dabei weniger wichtig, dass die Arbeitsaufgabe differenziert und eindeutig erkannt wird. Vielmehr muss in einer Lernphase erkannt werden, welche Anforderungen die aktuelle Arbeitsaufgabe an die Maschine stellt und welche Maschinenzustände daraus resultieren. Die Aufteilung in vier Anforderungsklassen erscheint vor diesem Hintergrund sinnvoll:

- Konstanter, quasistationärer Zyklus (z. B. Bodenbearbeitung)
- Dynamischer, periodisch wiederkehrender Zyklus (z. B. Y-Zyklus)
- Dynamischer, nicht periodisch wiederkehrender Zyklus (z. B. Transportarbeiten)
- Arbeitsprozess ohne oder nur mit intermittierender Nutzung des Fahrantriebs

Jeder Klasse wird ein Maßnahmenpaket zugeordnet, welches von der Betriebsstrategie angewendet werden kann. Zusätzlich können einzelne Maßnahmen eines Paketes durch Analyse des Betriebsmusters und der Bedienvorgaben ausgeklammert werden.

Als Maßnahmen können prinzipiell sämtliche Steuerungsmöglichkeiten und die Variabilität der im Gesamtsystem vorhandenen Verbraucher genutzt werden. Neben naheliegenden Maßnahmen, wie der Optimierung der Motor-Getriebe-Steuerung, sind viele weitere Maßnahmen denkbar

(z.B. ein prädiktives Thermo- oder Generator-Management). Je nach Maßnahme, von denen einige ohne Änderungen an der Hardware auskommen, werden Effizienz, Dynamik und Funktionalität durch die Anwendung beeinflusst.

### Prädiktion

Der zweite Block der Systemstruktur beinhaltet die Prädiktion zukünftiger Betriebszustände. Die dafür verwendeten Informationen können in externe und maschineninterne Daten unterteilt werden. Externe Daten, wie z. B. Kartenmaterial mit Informationen über Bodenart und Höhenprofil sowie Lastzustände von vorangegangenen parallelen Fahrspuren können zur Prädiktion der Betriebszustände herangezogen werden. Um auch Betriebszustände in Arbeitsaufgaben ohne externe Maschinendaten wie GPS-Daten präzisieren zu können, ist eine komplexere Prädiktion erforderlich, welche interne Sensordaten auswertet und mittels Mustererkennung eine Vorhersage über zukünftige Betriebszustände im Zeitintervall von  $t_1$  bis  $t_n$  ermöglicht. Zur Realisierung dieser Prädiktion wird die These aufgestellt, dass es möglich ist, zyklische Arbeitsaufgaben in eine endliche Anzahl von wiederkehrenden Betriebszuständen zu zerlegen und dass jede Arbeitsaufgabe aus einer bestimmten Sequenz von Betriebszuständen besteht. Unter dieser Voraussetzung ist es theoretisch möglich, mittels probabilistischer Methoden vorherzusagen, welche Betriebszustandssequenz auf Basis des momentanen und der zurückliegenden Betriebszustände am wahrscheinlichsten als nächstes folgen wird. Zu den geeigneten Methoden zählen u. a. Hidden-Markov-Modelle (HMM) und rückgekoppelte neuronale Netze (RNN). Gegenüber dem RNN bietet das HMM Vorteile bzgl. der Sequenzlänge und der Stabilität der Prädiktion sowie dem Umgang mit diskreten Zuständen.

Die Parametrierung des HMM erfolgt in mehreren Schritten. Hierzu werden in einer Lernphase zunächst die Sensordaten aufgezeichnet, aufbereitet und über der Zeit linearisiert (KROGERUS et al. 2013). Die aus der Linearisierung abgeleiteten Merkmale werden Betriebszuständen zugeordnet. Abbildung 2 zeigt exemplarisch Sensorsignale, die linearisiert wurden und einzelnen Betriebszuständen zugeordnet sind. Die Sequenz der Betriebszustände wird als Beobachtungssequenz bezeichnet. Die Beobachtungssequenz wird an das HMM übergeben, welches sich daraus parametriert. Ziel ist es nun, mit dieser Vorgehensweise im laufenden Betrieb der Maschine mit ähnlichen, wiederkehrenden Betriebszuständen auf Basis der ermittelten Betriebszustände der Lernphase und des parametrisierten HMM den jeweils aktuellen Betriebszustand einem zuvor definierten zuzuordnen. Dieser wird

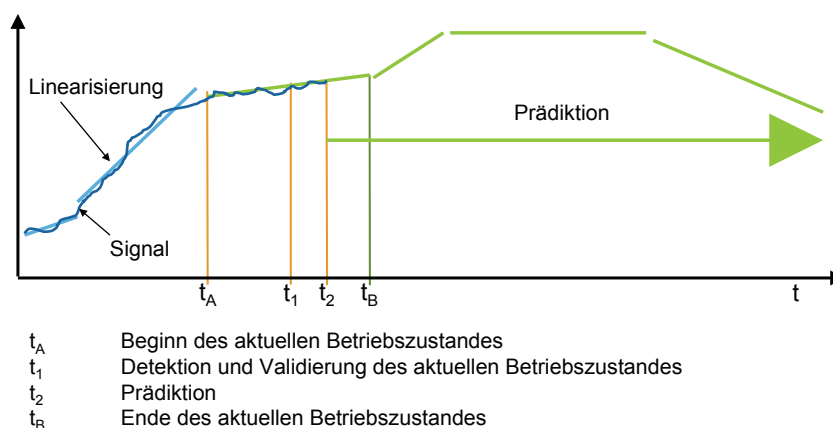


Abbildung 2: Erkennung und Prädiktion von Betriebszuständen

zusammen mit dem vorangegangenen Betriebszustand an das HMM übergeben, welches daraus die wahrscheinlich folgenden Betriebszustände und damit die wahrscheinlich auftretenden Lastanforderungen an die Maschine ermittelt. Die Bewertung der Prädiktionsqualität des HMM erfolgt durch einen Abgleich der prädizierten Betriebszustände mit den erkannten Betriebszuständen. Bei Abweichungen, die sich aufgrund unbekannter Betriebszustände ergeben, erfolgt eine erneute Parametrierung des HMM. Die Umsetzung und Anwendung der Prädiktion bei mobilen Maschinen mit ihren vielfältigen Arbeitsaufgaben ist bei wiederkehrenden Betriebszuständen (z. B. Y-Zyklus) realisierbar. Bei unregelmäßigen Lastzyklen besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

### Betriebsstrategie und dynamische Programmierung

Der dritte Baustein der vorgeschlagenen Systemstruktur beinhaltet die eigentliche Betriebsstrategie unter Anwendung der zur Verfügung stehenden Maßnahmen. Zur Bestimmung der optimalen Steuerungssignale der Maschine und unter Berücksichtigung der Optimierungsziele (Gütefunktionale) und der Nebenbedingungen von Zustands- und Stellgrößen wird die dynamische Programmierung nach Bellmann (BACK 2005) innerhalb dieses Ansatzes eingesetzt. Ein häufig verwendetes Optimierungsziel ist der Kraftstoffverbrauch für den betrachteten Zyklus. Andere Optimierungsziele, beispielsweise die bedarfsgerechte Einstellung der Maschinenparameter an die aktuellen und zukünftigen Leistungsanforderungen, sind mit diesem Ansatz auch realisierbar. Die dynamische Programmierung unterscheidet sich nach GUZZELLA und SCIARRETTA (2007) von den üblichen Optimalsteuerungsansätzen in der Regelungstechnik vor allem darin, dass auch komplexe Nebenbedingungen von Zustands- und Stellgrößen berücksichtigt werden können. Des Weiteren wird mit der dynamischen Programmierung das globale Optimum bezüglich des definierten Optimierungsproblems gefunden. Die häufig eingesetzten gradientenbasierten Optimierungsverfahren können das Auffinden des globalen Optimums nicht gewährleisten. Diese Eigenschaften sind ausschlaggebend für die Verwendung der dynamischen Programmierung in dem hier vorgestellten Ansatz.

Abbildung 3 zeigt den Ablaufplan für die Durchführung der deterministischen dynamischen Programmierung (DDP) mit den notwendigen Eingängen. Diese Optimierungsmethode kann sowohl in

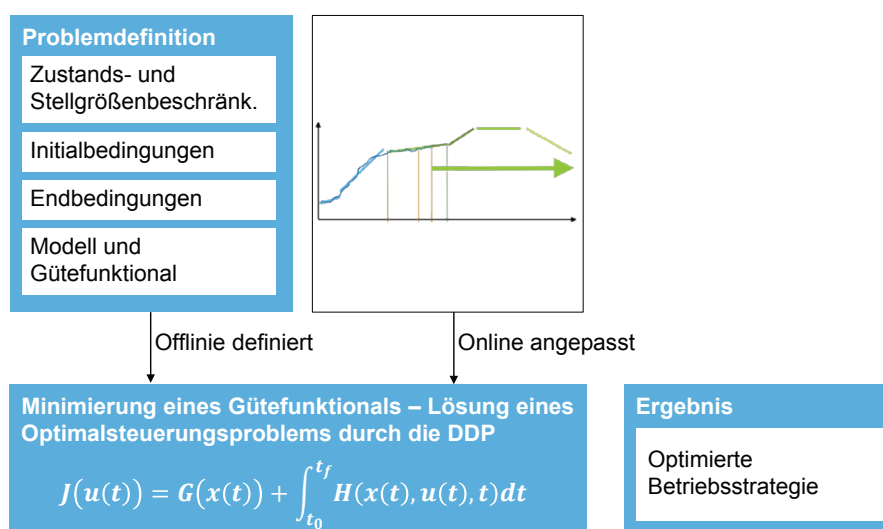


Abbildung 3: Ablaufschema deterministische dynamische Programmierung (DDP)

der modellbasierten Maschinenentwicklung zur Abstimmung von Steuerungsparametern als auch online im Maschinenbetrieb zur Ermittlung der optimalen Betriebsparameter angewendet werden. In diesem Fall können die Ergebnisse der Prädiktion als Eingangsgröße der Optimierung verwendet und die Maschine auf die zukünftigen Lastanforderungen eingestellt werden. Es wird erwartet, dass dieser Ansatz dadurch auch zur Optimierung transienter Maschinenzustände in dynamischen Zyklen geeignet ist.

### Konzeptvalidierung

Der vorgestellte Ansatz einer prädiktiven Betriebsstrategie wurde modellbasiert entwickelt und mithilfe eines validierten Gesamtmaschinenmodells getestet. Die nachfolgend gezeigten Ergebnisse stellen exemplarisch Anwendungsgebiete für die prädiktive Betriebsstrategie vor. Das theoretische Anwendungsfeld ist sehr weitläufig und hängt in erster Linie von den Freiheitsgraden der installierten Antriebsstrangkomponenten ab.

In allen drei Beispielen ist das Gütefunktional der Kraftstoffverbrauch. Die Verwendung der Maschinenleistung als Gütefunktional muss in der Simulation als kritisch betrachtet werden, da dieser Ansatz in der Regel eine maßgebliche Veränderung des Rad/Boden-Kontaktes und damit der Schlupfzahlen zur Folge hat. Eine genaue Simulation dieser Zusammenhänge ist mit dem aktuellen Stand der Technik nur sehr aufwendig zu erzeugen. Die Schlupfbedingungen werden bei den Vergleichen der unterschiedlichen Regelungsansätze daher möglichst konstant gehalten.

Abbildung 4 stellt exemplarisch einen Ausschnitt eines Y-Zyklus dar. Die Ergebnisse zeigen das veränderte Schaltverhalten bei einem Beschleunigungsvorgang im Vergleich zu einer einfachen

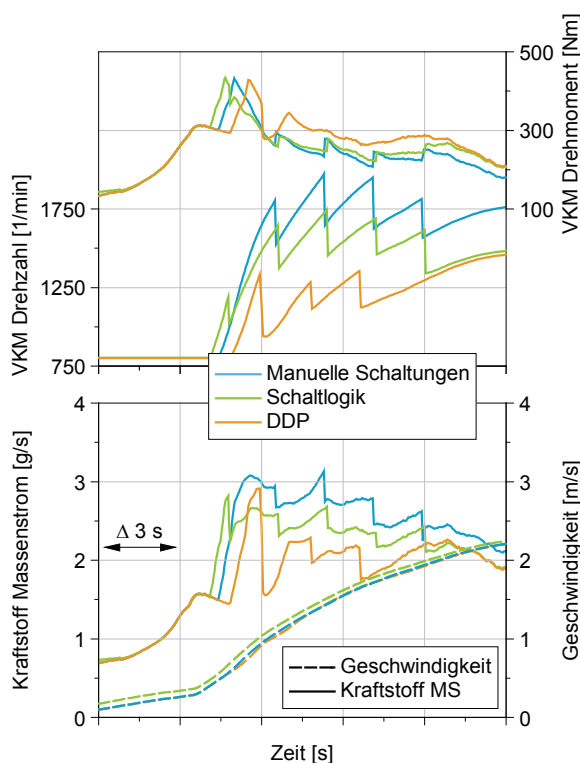


Abbildung 4: Simulationsergebnisse beim Beschleunigungsvorgang in einem Y-Zyklus

Schaltstrategie (blau), die ausschließlich drehzahlabhängig schaltet, und zu einer intelligenten Getriebeschaltlogik (grün). Durch die veränderten Schaltzeitpunkte wird der Motor effizienter betrieben. Daraus resultiert eine signifikante Verbesserung beim Kraftstoffverbrauch.

Auch das zweite Beispiel (Abbildung 5) beschäftigt sich mit der Festlegung von Schaltpunkten durch die DDP. In diesem Fall wird neben der Getriebeübersetzung auch die Übersetzung des Zapfwellengetriebes angepasst. Diese Maßnahme setzt ein lastschaltbares Zapfwellengetriebe im Traktor voraus. Wird durch die Prädiktion eine Phase mit reduzierter Lastanforderung (Abbildung 5, ca. Sekunde 22) vorhergesagt, optimiert die Betriebsstrategie zum entsprechenden Zeitpunkt die Übersetzung des Fahrgetriebes, um den Verbrennungsmotor in einem effizienteren Kennfeldbereich zu betreiben. Um die Zapfwelldrehzahl bei sich verändernder Verbrennungsmotordrehzahl konstant zu halten, muss die Übersetzung der Zapfwelle gleichzeitig angepasst werden. Dies gewährleistet die Betriebsstrategie. Die eigentliche Herausforderung in diesem Beispiel ist die Wahl des Zeitpunktes, an dem die Übersetzungen wieder in den Ausgangszustand zurückversetzt werden. Dies muss erfolgen, bevor die Lastanforderungen aus dem Arbeitszyklus wieder in den Bereich der Volllast (z. B. 90 %) ansteigen. Ein zu spätes Zurückschalten hätte eine Drückung des Verbrennungsmotors und damit eine Reduzierung der Arbeitsgeschwindigkeit zur Folge. Durch die Prädiktion wird der Lastverlauf vorhergesagt und damit der Betriebsstrategie die Möglichkeit gegeben, zu einem sinnvollen Zeitpunkt (Abbildung 5, ca. Sekunde 35) die Rückschaltung einzuleiten.

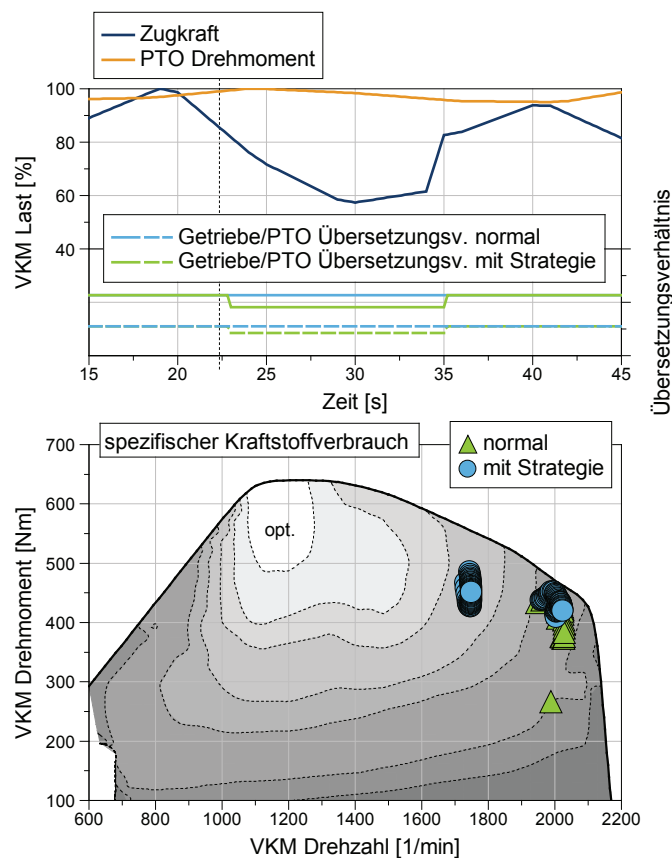


Abbildung 5: Variation der Zapfwellenübersetzung

Das dritte Anwendungsbeispiel (Abbildung 6) nutzt den thermischen Haushalt und die thermischen Massen im Kühlsystem, um während einer Vorgewendefahrt Kühlenergie zu speichern. Fährt der Traktor nach schwerer Zugarbeit ins Vorgewende, reduziert sich durch das Ausheben des Anbaugerätes schlagartig die notwendige Antriebsleistung. Gleichzeitig sinkt auch der Kühlbedarf des Verbrennungsmotors und der angrenzenden Komponenten. Durch die Betriebsstrategie kann in diesem Beispiel die Sollwerttemperatur des Kühlwassers reduziert werden. Dies hat eine Erhöhung der Lüfterleistung zur Folge, die wiederum den Verbrennungsmotor in einen effizienteren Betriebspunkt bewegt. Während der Vorgewendefahrt sinkt somit der spezifische Kraftstoffverbrauch. Beim Wiedereinsetzen des Anbaugerätes muss sich die Maschinenleistung wieder erhöhen. Sobald es energetisch sinnvoll ist, setzt die Betriebsstrategie die Kühlmittelsollwerttemperatur wieder auf den Ursprungswert. Der Traktor hat durch die nun verwendbare eingespeicherte Kühlenergie und damit momentan reduzierte notwendige Lüfterleistung Leistungsreserven für die Zugarbeit.

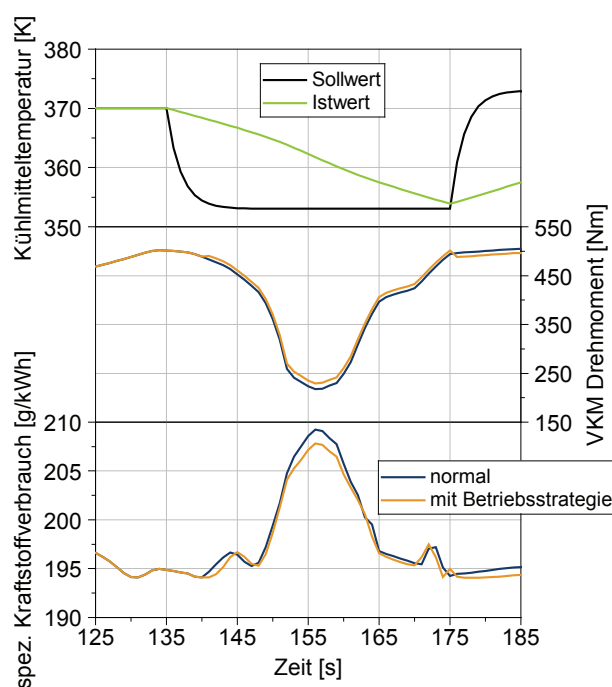


Abbildung 6: Kühlmaßnahme beim Vorgewende

## Schlussfolgerungen

Der vorgestellte Ansatz zeigt eine geeignete Möglichkeit eine prädiktive Betriebsstrategie auf einer zukünftigen mobilen Arbeitsmaschine implementieren zu können. Gleichzeitig können Elemente dieses Ansatzes bereits heute in der modellbasierten Maschinenentwicklung und in der Bewertung und Parametrierung regelbasierter Betriebsstrategien angewendet werden. Ein Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass die Optimierung unter Berücksichtigung des Gesamtsystems erfolgt und Maßnahmen angewendet werden können, die ohne Prädiktion vermutlich nicht umsetzbar wären. Die dargestellten exemplarischen Ergebnisse zeigen realistische Anwendungsmöglichkeiten der Methodik auf, um z. B. vorhandene Effizienzsteigerungspotenziale zu nutzen. Das Einsparpotenzial ist dabei extrem vom Anwendungsfall abhängig. Eine pauschale Aussage kann hier nicht getroffen werden. Die nächs-



ten Schritte auf dem Weg zur Realisierung des vorgestellten Ansatzes sind die Umsetzung des HMM, die Validierung der Methodik und die Entwicklung eines Virtual Terminals, auf dem die selbstoptimierende Betriebsstrategie implementiert wird und das die Schnittstelle zum Bediener bildet.

## Literatur

- Back, M. (2005): Prädiktive Antriebsregelung zum energieoptimalen Betrieb von Hybridfahrzeugen. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
- Goßlau, D. (2009): Vorausschauende Kühlsystemregelung zur Verringerung des Kraftstoffverbrauches. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen
- Guzzella, L.; Sciarretta, A. (2007): Vehicle propulsion systems. Berlin/Heidelberg, Springer Verlag
- Happich, G. (2012): Automatisches Überladen von Silagegut mittels einer modellbasierten Beladungssteuerung. Dissertation, Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, Aachen, Shaker Verlag
- Kern, M. (2013): Das dritte Auge. lastauto omnibus 08, S. 14–19
- Kretschmer, M.; König, I.; Neubeck, J.; Wiedermann, J. (2006): Erkennung und Prädiktion des Fahrerhaltens während eines Überholvorgangs. In: Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 4.–5. April 2006, Garching, S. 1–17
- Krogerus, T.; Hyvönen, M.; Raivio, K.; Huhtala, K. (2013): Recognition of Operating States of a Medium-Sized Mobile Machine. 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP2013, 3–5 June 2013, Linköping, Sweden, doi: <http://dx.doi.org/10.3384/ecp1392a37>
- Reinecke, M.; Schäperkötter, C.; Grothaus, H.-P.; Stiene, S.; Hartanto, R.; Scheuren, S. (2012): Dynamisches, verteiltes Infield-Planungssystem für die Getreideernte. In: VDI-MEG Tagung Landtechnik 2012, Karlsruhe 6.–7.11.2012, VDI-Berichte Nr. 2173, Düsseldorf, VDI Verlag, S. 127–132
- Terwen, S. (2009): Vorausschauende Längsregelung schwerer Lastkraftwagen. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Elektrotechnik u. Informationstechnik
- Töpfer, T.; Muminovic, R.; Stamm von Baumgarten, T. (2014): Model-based Development of Operation Strategies for Mobile Machines. 3. Internationale VDI-Fachkonferenz „Getriebe in mobilen Arbeitsmaschinen“, 24.–25.6.2014, Friedrichshafen, VDI-Bericht 2218, Düsseldorf, VDI-Verlag

## Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Tobias Töpfer M.Sc.** ist Teamleiter für Gesamtsysteme, alternative Antriebe/Hybrid im Fachbereich Nutzfahrzeug-Powertrain, **Dipl.-Ing. Dennis Jünemann** ist Entwicklungsingenieur für Gesamtsysteme, alternative Antriebe/Hybrid im Fachbereich Nutzfahrzeug-Powertrain, **Dr.-Ing. Thorsten Stamm von Baumgarten** ist Entwicklungsingenieur für Antriebselektronik im Fachbereich Nutzfahrzeug-Powertrain, **Dr.-Ing. Rifet Muminovic** ist Entwicklungsingenieur für Gesamtsysteme, alternative Antriebe/Hybrid im Fachbereich Nutzfahrzeug-Powertrain, IAV GmbH, Carnotstraße 1, 10587 Berlin, E-Mail: [tobias.toepfer@iav.de](mailto:tobias.toepfer@iav.de).

## Hinweis

Das Thema wurde auf der VDI-Tagung LAND.TECHNIK 2014 in Berlin, 19.–20. November 2014, vorgestellt und eine Kurzfassung im VDI-Bericht veröffentlicht (Bd. 2226, S. 1–6).

