

# Traktoren automatisch bremsen

## Regelstrategien zur Betätigung der Betriebsbremse

Ziel des vorgestellten Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines Bremsmanagements für landwirtschaftliche Züge, das im Schubbetrieb des Fahrzeugs dieses in kritischen Fahrsituationen automatisch abbremst. Im ersten Teil dieses Berichts [1] wurden die Problemstellung geschildert sowie die Projektziele und die Vorgehensweise erläutert. Weiterhin wurden Ansätze zum Erkennen kritischer Betriebszustände vorgestellt. Im vorliegenden zweiten Teil sollen Regelstrategien zur Betätigung der Betriebsbremse vorgestellt werden.

Dr.-Ing. Marco Wiegandt ist Mitarbeiter der Power-Hydraulik GmbH. Die vorgestellte Arbeit entstand während seiner Zeit am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der Technischen Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans-Heinrich Harms); e-mail: [m.wiegandt@t-online.de](mailto:m.wiegandt@t-online.de). Das Forschungsprojekt „Traktorbremsmanagement“ wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert.

### Schlüsselwörter

Traktoren, Fahrsicherheit, Bremsmanagement

### Keywords

Tractors, driving safety, deceleration management

Überdrehzahlen bei Dieselmotoren gefährden vor allem die Ein- und Auslassventile, da die geöffneten Ventile bei zu hohen Drehzahlen eventuell nicht rechtzeitig durch die Federn zurückgestellt werden und dadurch mit dem Kolben kollidieren können. Ist der Traktor mit einem hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigten Getriebe ausgerüstet, so sind außerdem die Axialkolbenmaschinen des hydrostatischen Getriebeteils gefährdet, da diese gegen Überdrehzahlen empfindlicher sind als mechanische Getriebe.

### Grenzdrehzahlen

Der im Folgenden dargestellte Regler zur Vermeidung von Überdrehzahlen des Dieselmotors wurde anhand einer numerischen Simulation des Systems Traktor-Anhänger-Fahrbahn entwickelt. Für die Reglerentwicklung mussten zunächst zwei Grenzdrehzahlen festgelegt werden, die den Arbeitsbereich des Reglers bestimmen (Bild 1). Die obere Grenzdrehzahl ist die Drehzahl, die der Motor nicht überschreiten soll. Sie wird durch die konstruktive Auslegung von Motor und Getriebe bestimmt und ist daher vom

Motoren- und/oder Getriebehersteller vorgegeben. Als obere Grenzdrehzahl wurde in der Simulation eine Motordrehzahl von  $2600 \text{ min}^{-1}$  angesetzt. Die untere Grenzdrehzahl bestimmt den Einschaltzeitpunkt des Reglers, ist also die Drehzahl, ab der der Betriebszustand der Überdrehzahl erreicht ist. Sie sollte so gewählt werden, dass der Arbeitsbereich des Reglers ausreichend groß ist, damit das Abbremsen so sanft erfolgen kann, dass der Fahrkomfort nicht negativ beeinflusst wird.

Der simulierte Dieselmotor besaß eine Nenndrehzahl von  $2200 \text{ min}^{-1}$ . Als untere Grenzdrehzahl des Bremsreglers wurde eine Drehzahl von  $2300 \text{ min}^{-1}$  gewählt. Bei dieser Drehzahl ist ein genügender Abstand zur Nenndrehzahl vorhanden, so dass der Regler bei geringen Drehzahlüberschreitungen noch nicht eingreift. Gleichzeitig besitzt der Regler einen Arbeitsbereich von  $300 \text{ min}^{-1}$ , so dass er bei einem Überschreiten der unteren Grenzdrehzahl nicht zu abrupt bremsen muss.

Der prinzipielle Aufbau des Bremsreglers ist im Bild 2 dargestellt. Als Regelgröße dient die Motordrehzahl, Stellgröße ist die Sollabbremmung des Fahrzeugs. Die Rege-

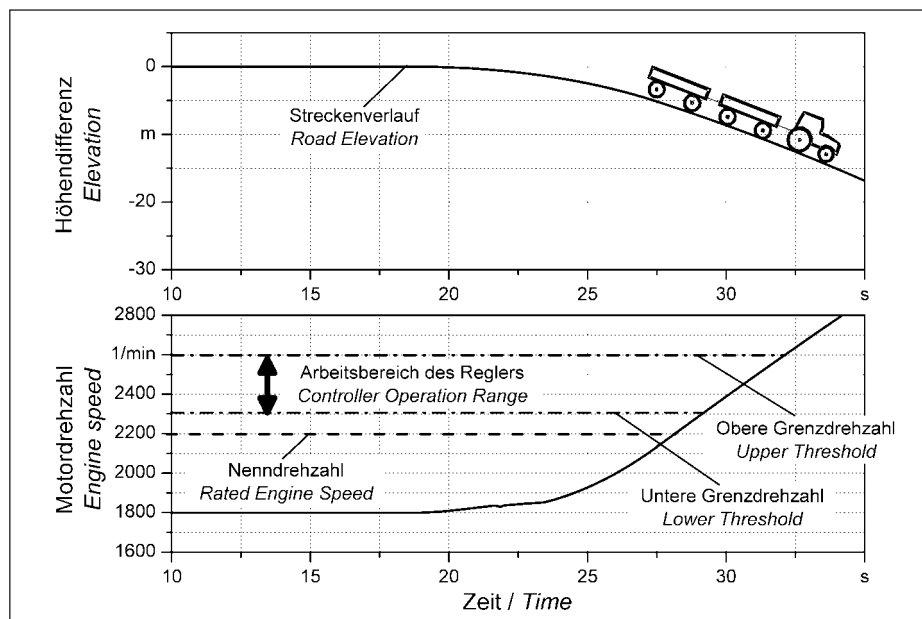


Bild 1: Definition der Grenzdrehzahlen

Fig. 1: Definition of engine speed thresholds

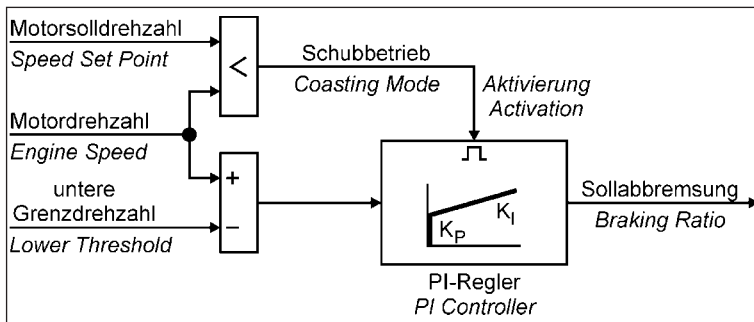


Bild 2: Prinzipieller Aufbau des Bremsreglers

Fig. 2: Functional principle of the deceleration controller

lung der Sollabbremung erfolgt unter Verwendung eines PI-Reglers. Dieser bietet durch den proportionalen Regleranteil eine ausreichende Dynamik, während der integrierende Anteil für eine geringe stationäre Sollwertabweichung sorgt. Die Regeldifferenz wird aus der aktuellen Motordrehzahl und der unteren Grenzdrehzahl berechnet. Zur Erkennung des Schubbetriebs erfolgt ein Vergleich von Motorsoll- und -ist-drehzahl. Ist die Motordrehzahl größer als die Soll-drehzahl, so befindet sich der Motor im Schubbetrieb und der Regler wird aktiviert. Bei Drehzahlen kleiner oder gleich der Soll-drehzahl ist der Regler inaktiv und es wird eine Sollabbremung von Null ausgegeben.

Der Regler zeigte in der Simulation eine gute Funktion. Nachteilig war jedoch, dass die Bremse zum Einhalten der unteren Grenzdrehzahl dauerhaft betätigt werden musste, so lange das Fahrzeug im Gefälle fuhr. Eine dauerhafte Bremsbetätigung jedoch erzeugt eine hohe thermische Belastung und Verschleiß an der Betriebsbremse. Daher ist es sinnvoll, die Bremsregelung so auszulegen, dass das Bremsen in Intervallen erfolgt, so dass der Verschleiß begrenzt wird und die Bremsen zwischen den Bremsvorgängen abkühlen können.

Der Bremsregler wurde also so modifiziert, dass das Fahrzeug in Intervallen abgebremst wird. Zwei Simulationen von Bremsvorgängen mit einem solchen Regler bei unterschiedlichen Fahrbahngefällen sind im Bild 3 dargestellt. Nach dem Überschreiten der unteren Grenzdrehzahl von  $2300 \text{ min}^{-1}$  wird diese über eine Rampenfunktion abgesenkt, so dass durch das Abbremsen die Motordrehzahl auf einen Wert unterhalb der zur Aktivierung des Reglers festgelegten unteren Grenzdrehzahl von  $2300 \text{ min}^{-1}$  verringert wird. Ist diese geringere Drehzahlschwelle erreicht, so wird die untere Grenzdrehzahl wieder sprunghaft auf  $2300 \text{ min}^{-1}$  erhöht.

Die Absenkung der unteren Grenzdrehzahl erfolgt dabei dynamisch, das heißt, je stärker das Fahrzeug schiebt, um so weiter wird die untere Grenzdrehzahl abgesenkt. Dadurch wird erreicht, dass auch bei größeren Gefällen mit schweren Fahrzeugen die Bremse zwischen den Bremszyklen eine

ausreichende Zeit zum Abkühlen hat. Die Belastung wird dabei während des Bremsvorgangs aus der maximalen Abbremsung ermittelt. Je stärker die schiebende Last des Fahrzeugs ist, um so größer ist auch die vom Regler ausgegebene Sollabbremung. In Abhängigkeit vom Maximalwert der Abbremsung wird also die untere Grenzdrehzahl mehr oder weniger weit abgesenkt.

### Bremsen bei instabilem Fahrverhalten

Auch für diesen Betriebsfall wurde eine Regelung entwickelt, deren Ziel es ist, bei zu großem Schlupf an der Antriebsachse des Fahrzeugs die Betriebsbremse automatisiert zu betätigen und damit alle Achsen des Zugs abzubremesen. Dadurch ist zur Erzeugung der gleichen Gesamtbremskraft an jeder ein-

zelnen Achse nur ein Bruchteil der vorher an der Antriebsachse auftretenden Bremskraft notwendig. Dies hält den Schlupf an allen Achsen gering und das Fahrverhalten wird stabilisiert. Einzelheiten zu diesem Regler können in [2] nachgelesen werden.

### Zusammenfassung

Ziel des Projekts war es, die Grundlagen eines Bremsmanagements für landwirtschaftliche Traktoren zu entwickeln. Die Untersuchungen ergaben, dass zur Erkennung der betrachteten kritischen Betriebsfälle im Wesentlichen auf Messgrößen zurückgegriffen werden kann, die in modernen Traktoren üblicherweise schon elektronisch erfasst werden. Es wurden Reglerstrukturen entworfen, die eine sichere Erkennung und eine zuverlässige Vermeidung kritischer Situationen ermöglichen.

### Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Wiegandt, M. und H.-H. Harms: Traktoren automatisch bremsen. Landtechnik 58 (2003), H. 4, S. 248-249
- [2] • Wiegandt, M.: Grundlagen eines Traktorbremsmanagements. Dissertation, TU Braunschweig, 2004; Shaker Verlag, Aachen, 2004, ISBN 3-8322-3126-9

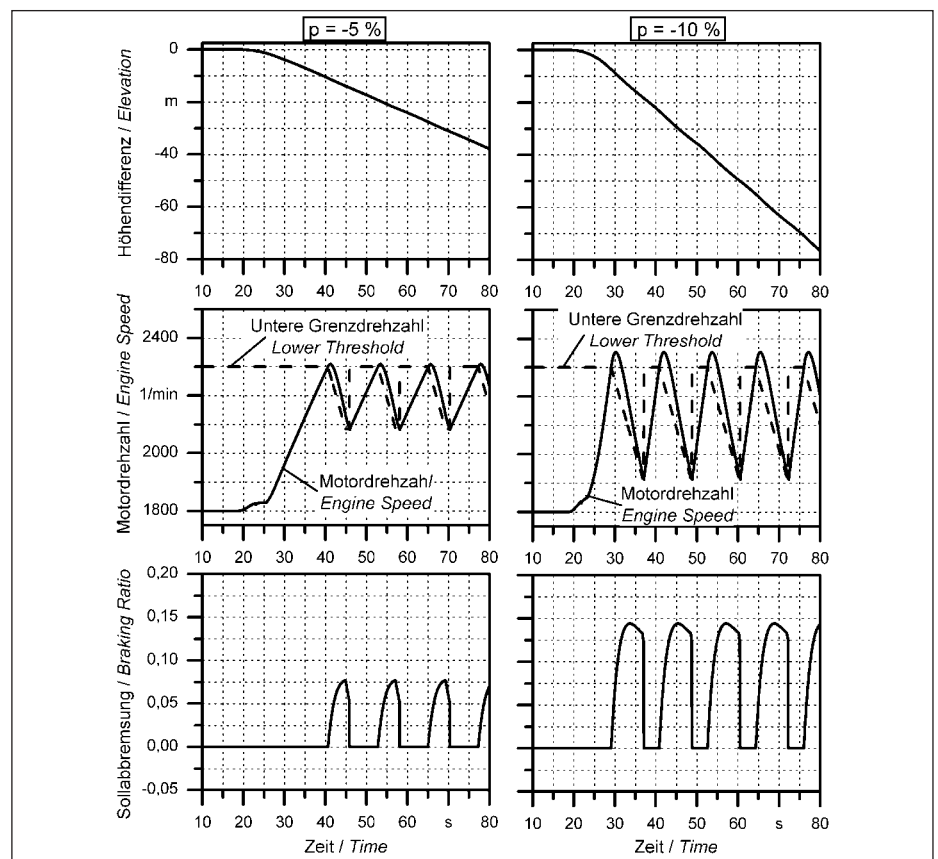


Bild 3: Intervallbremsen bei unterschiedlichen Steigungen

Fig. 3: Intervallic braking at different slopes