

Motorradspezifische Anforderungen an Motorsteuerungen

Specific Requirements to Electronic Control Units for Motorcycle Engines

Wolfgang Kremer, Jörg Reissing

1. Einleitung

Die ständig steigenden Entwicklungsziele bezüglich Fahrbarkeit, Umweltverträglichkeit und Komfortansprüchen fordern eine intelligente Vernetzung und Koordination der elektronischen Systeme, wie sie exemplarisch in Bild 1 dargestellt ist. Die Motorsteuerung selbst stellt dabei eine zentrale Komponente in einer Fahrzeug Vernetzung dar [1].

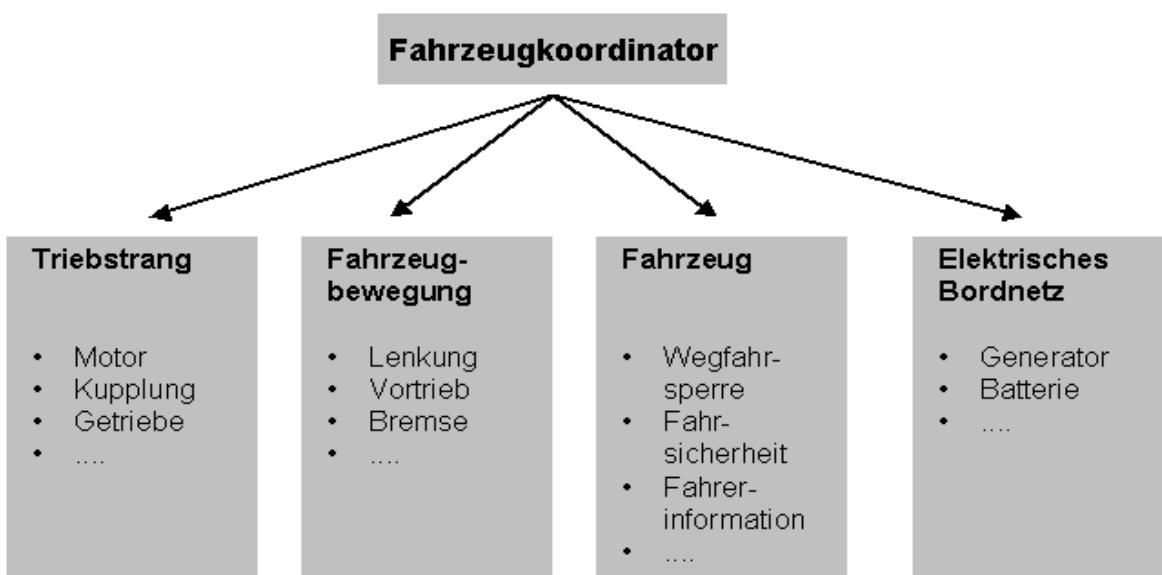


Bild 1: Strukturierung von Systemen in Fahrzeugen

Das Motorrad stellt unter dem Focus der motor- und fahrzeugspezifischen Randbedingungen an Motorsteuerungen in vielerlei Hinsicht sehr hohe Ansprüche. Der direkte Vergleich mit Einsatzbedingungen, wie sie heute in modernen PKW-Fahrzeugen üblich sind, zeigt, dass eine Motorsteuerung in einem Zweirad in vielen Funktionen deutlich höhere Anforderungen erfüllen muss.

Der vorliegende Artikel beschreibt im ersten Kapitel die allgemeinen Anforderungen und Aufgaben von Motorsteuerungen. Die motorradspezifischen Anforderungen sind im zweiten Kapitel zu folgenden Themen zusammengefasst:

- Funktionale Anforderungen der BMW Motorradmotoren
- Anforderungen an Package, Gewicht und Schwingbeschleunigung
- Anforderungen an Umweltbedingungen und Lebensdauer
- Anforderungen an elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) und Sicherheit
- Anforderungen an Fahrbarkeit, Verbrauch und Schadstoffemission

2. Allgemeine Anforderungen und Aufgaben

2.1 Allgemeine Anforderungen an Motorsteuerungen

Moderne Motorsteuerungen unterstützen die Entwicklungsziele von Motorrad-Motoren hinsichtlich:

- Motorstart-Verhalten
- Motorleistung
- Motordrehmoment
- Verbrauch
- Abgas
- Funktionssicherheit
- Fahrbarkeit

Um diese oftmals konträren Zielvorgaben zu erreichen, sind für die Steuerung und Regelung moderner Verbrennungsmotoren entsprechend komplexe Systeme notwendig. Bild 2 zeigt hierzu exemplarisch eine Übersicht über Sensorik und Aktuatorik, die typischerweise an einem Motorradmotor verbaut ist.

Da die Motorsteuerung zentraler Bestandteil der Antriebsstrang-Steuengeräte ist, werden neben den Motorfunktionen zusätzlich Bordnetzanforderungen integriert. Eine Auswahl von wichtigen Anforderungen sind dazu im folgenden zusammengefasst:

- Ansteuerung von Motor-Nebenaggregaten wie elektrische Kraftstoffpumpe (EKP) oder E-Lüfter
- Freigabe Motorstart, Ansteuerung Anlasser
- Motorstop
- Stabilisierung der Batterieladebilanz beispielsweise über Anhebung der Leerlaufdrehzahl
- Kommunikation zu Werkprogrammierstationen zum Flashen von Programm- und Datenständen

- Kommunikation zu Bandendediagnosetestern zur Aktivierung von Motorsteuerungs-Testfunktionen und Auslesen bzw. Löschen von Fehlerspeicherinformationen
- Kommunikation zu BMW Diagnosetest-Systemen, die in den Handelsorganisationen eingesetzt werden
- Kommunikation zur Kombi-Anzeigeeinheit für die Motordrehzahlanzeige und verschiedenen Warnlampen für beispielsweise Kühlmitteltemperatur und Diebstahl-Warnanlage

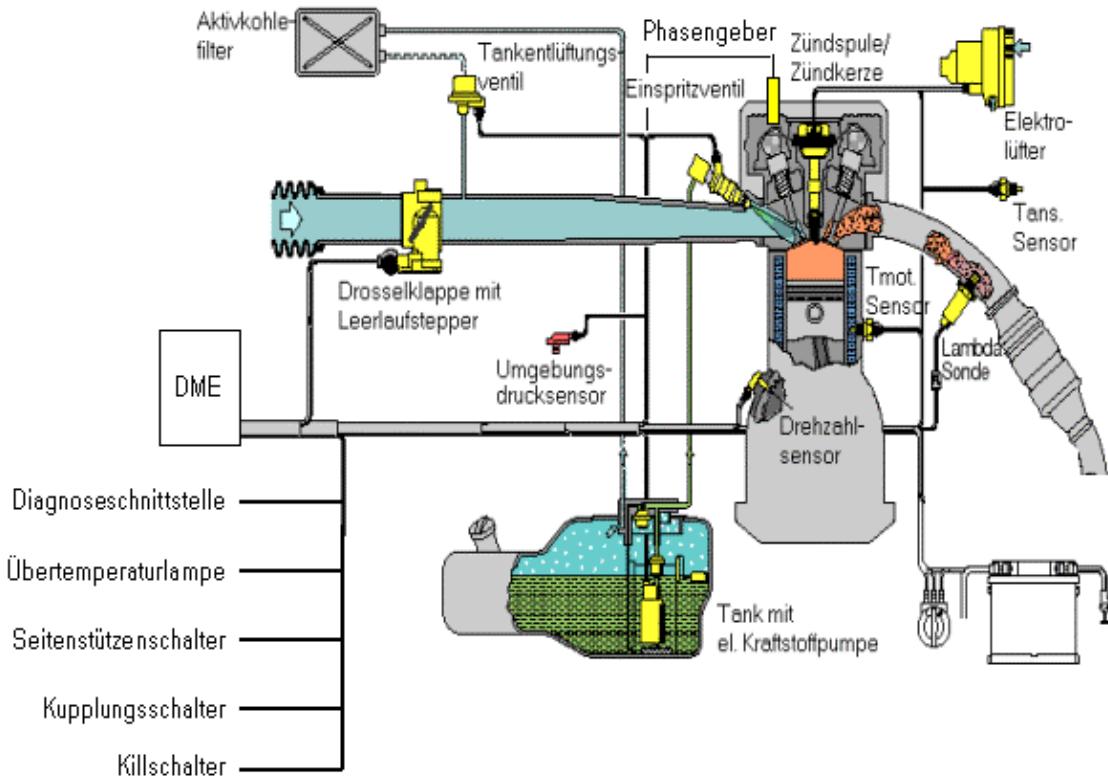


Bild 2: Übersicht über Sensorik und Aktuatorik an einem Motorradmotor

Die Übersicht zeigt, dass aufgrund des hohen Kostendrucks in der Zweiradindustrie die Forderung vorliegt, in den Motorsteuerungen mehr Fahrzeug-Systemfunktionen, als dies bei PKW-Fahrzeugherstellern üblich ist, zu integrieren. Allerdings sollte bei der Entwicklung angestrebt werden, die Systemkosten der Motorsteuerung durch die Verwendung von bestehenden Systemkomponenten aus der Automobilindustrie zu optimieren.

2.2 Aufgaben der Motorsteuerung

Die Aufgabe der Motorsteuerung ist es, Motordrehzahl und tatsächliche Zylinderfüllung möglichst exakt zu bestimmen und die zur optimalen Verbrennung notwendige Kraftstoffmasse und den zugehörigen Zündwinkel zu berechnen und winkelgerecht auszugeben. Die Motorsteuerung berechnet zur aktuellen Motordrehzahl die notwendige Kraftstoffmasse, den Vorlagerungswinkel des Kraftstoffs und übernimmt das für den Betriebspunkt passende Einspritztiming. Zur Bereitstellung ausreichender Zünd-

energie, die abhängig von der Bordnetzspannung ist, berechnet die Motorsteuerung den Schließwinkel und die Schließzeit für die eingesetzten Zündspulen.

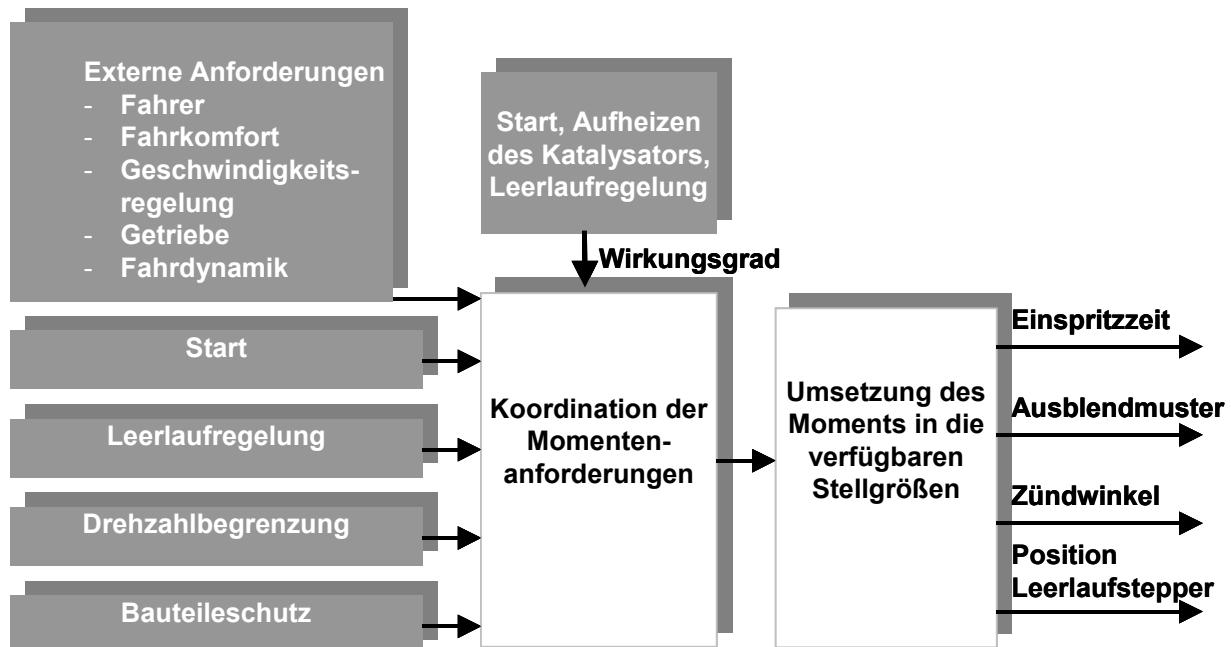


Bild 3: Drehmomentbasierte Funktionsstruktur einer Motorsteuerung

Um die umgesetzte innere Arbeit des Motors parallel zum Fahrerwunsch zeitlich optimal zu beeinflussen und hinsichtlich der unterschiedlichen Anforderungen zu koordinieren, werden in der Motorsteuerung alle Parameter, die sich als Drehmoment oder Wirkungsgrad beschreiben lassen, auf Basis physikalischer Größen berechnet. Die Drehmomentenstruktur ermöglicht somit eine klare, überschaubare Funktionsarchitektur des Füllungs- und Zündungspfades [2]. Bild 3 zeigt hierzu eine systematische Darstellung dieser Funktionsstruktur mit den entsprechenden Randbedingungen.

Der kurbelwellensynchrone Zündungspfad übernimmt alle Eingriffe, die direkt den thermodynamischen Wirkungsgrad beeinflussen. Das Zündung- und Einspritztiming, die das Motormoment in gewissen Grenzen unabhängig von der Füllung steuern können, werden segmentsynchron berechnet.

Durch die Koordination beider Pfade können schnelle Drehmomenterhöhungen durch Zündwinkelverstellung erzielt werden. Dies ist vor allem wichtig für die Leerlaufregelung und den Motorstart. Eine Reduzierung des inneren Wirkungsgrades durch Zündungseingriffe ist mit der drehmomentbasierten Funktionsstruktur ebenfalls darstellbar. Dies wird beispielsweise für eine Erhöhung der Abgastemperatur zur schnellen Aufheizung des Katalysators zur Verbesserung der Schadstoffemissionen angewendet. Zusätzlich kann durch gleichzeitiges Verstellen des Füllungs- und Zündwinkelpfades ein Vorhalt für zu erwartende schnell durchzuführende Drehmomentänderungen eingestellt werden.

Für die Reduzierung der Emissionen, des Verbrauchs und der Systemkosten sind weitere Steuer- und Regelfunktionen notwendig:

- Lambdaregelung zur exakten Einstellung des Luft/Kraftstoffgemisches
- Leerlaufregelung zur Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl für verschiedene Fahrzeughbetriebszustände
- Steuerung der Sekundärlufteinblasung und Katalysatorheizung
- Steuerung des Tankentlüftungsventils
- Modellbasierte Funktionen wie beispielsweise ein Abgastemperaturmodell zum Bauteilschutz

Zur Erfassung der Betriebszustände des Motors werden eine Vielzahl von Sensoren eingesetzt (Bild 2). Der Nockenwellengeber dient beispielsweise zur eindeutigen Zuordnung des Verdichtungstaktes zur Kurbelstellung und damit zur schnellen Synchronisation beim Motorstart. Die Motorsteuerung übernimmt weiterhin die Ansteuerung diverser Relais zum Ein- und Ausschalten von elektrischen Stellgliedern wie Hauptrelais, E-Lüfterrelais, Starterrelais, Zündentlastungsrelais und der elektrischen Kraftstoffpumpe.

3. Motorradspezifische Anforderungen

3.1 Funktionale Anforderungen von BMW Motorradmotoren

Die BMW Motorradmotoren sind eigenständige Entwicklungen, die aufgrund ihrer motorradspezifischen Produkteigenschaften wie beispielsweise die Maximaldrehzahl nicht von den PKW Motoren abgeleitet werden können.

BMW Motorradmotoren sind für Drehzahlbereiche ausgelegt, die zur Realisierung hoher spezifischer Literleistungen bis hin zu fünfstelligen Werten erreichen können. Bild 4 zeigt hierzu einen Vergleich der Drehmoment- und Leistungsverläufe zwischen einer BMW K1200RS und einem BMW 318i.

Die Minimaldrehzahl der Motoren ergibt sich aus der Motorkaltstartdrehzahl. Die hohe Viskosität des Motoröls bei kalten Umgebungstemperaturen, die geringe Startleistung von Motoradbatterien und die hohe Zylinder-Kompression können das Abfallen der Motordrehzahl im Motorstart zu sehr geringen Startdrehzahlen verursachen. Das Drehzahlniveau liegt bei den oben genannten Extrembedingungen im zweistelligen Bereich.

Entflammt das Gemisch erstmalig im oberen Totpunkt (Zünd-OT) bei Motorstart und unbelastetem Antriebsstrang, steigt die Motordrehzahl mit Gradienten von bis zu 150 min^{-1} pro ms an. Die Gradienten von BMW 4-Zylinder PKW Motoren sind ca. um einen Faktor 10 geringer.

Grundsätzlich lassen sich diese Unterschiede auf die unterschiedlichen Zielvorgaben und Randbedingungen bei der Auslegung des Motorenkonzeptes zurückführen. Im Gegensatz zur komfortablen, auf Laufruhe optimierten Auslegung von PKW-Antrieben werden die Motorradantriebe auf hohe fahrdynamische Zielwerte entwickelt.

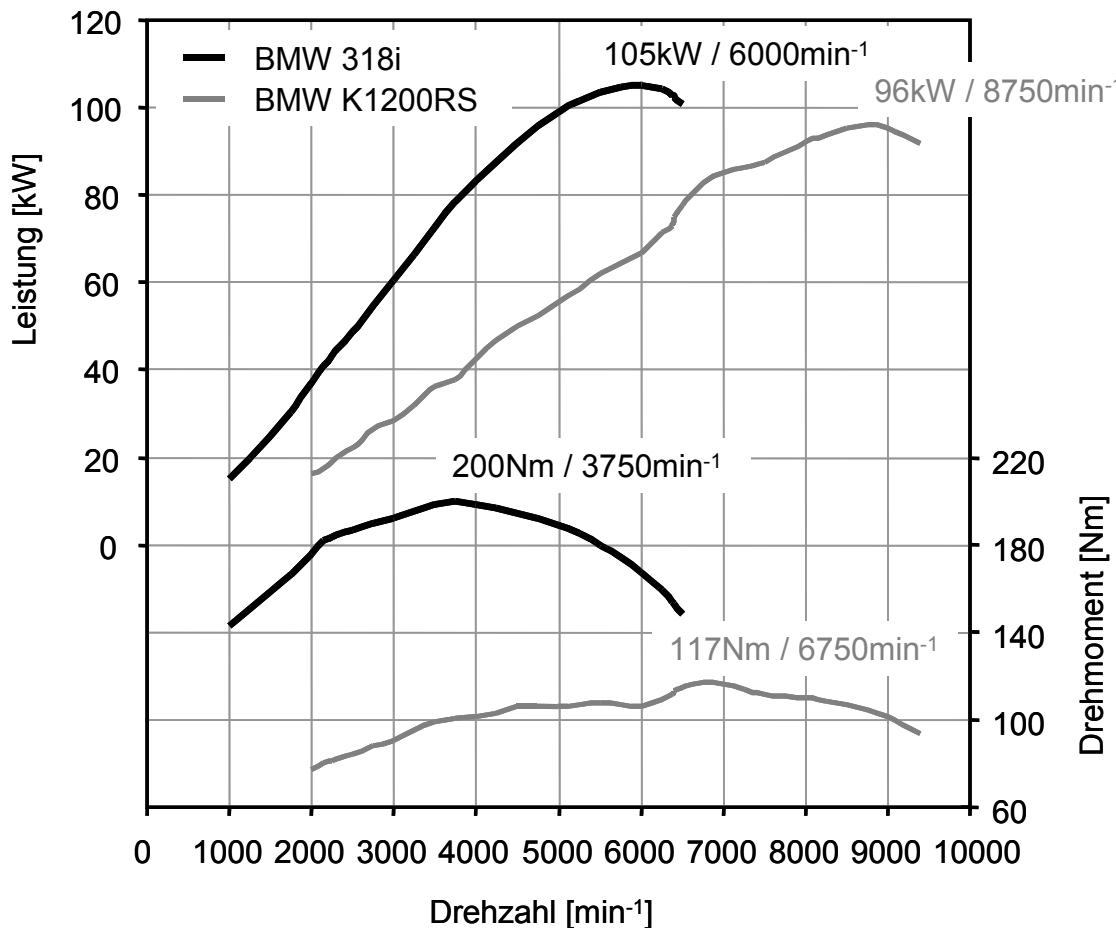


Bild 4: Leistungskurve BMW K1200RS im Vergleich zu BMW 318i

Werden die Massenträgheitsmomente von BMW 4-Zylinder PKW Motoren den Trägheitsmomenten der Motorradmotoren gegenüber gestellt, fällt auf, dass diese bei Motorradmotoren um Größenordnungen von bis zu einem Faktor 4 geringer sind (Tabelle 1).

Fahrzeug	Massenträgheitsmoment
BMW K1200RS	0.054 kgm²
BMW 318i	0.2468 kgm²

Tabelle 1: Massenträgheitsmoment K1200RS zu 318i

Zweimassenschwungräder, wie sie bei PKW-Antrieben verbaut werden, dämpfen mit ihrer zusätzlichen Massenträgheit die Torsionsschwingungen des Antriebsstrangs.

Ein weiterer Unterschied, der für die hohe Drehzahldynamik verantwortlich ist, sind nah am Motor angebrachte Einzeldrosselklappen, die bei Motorradmotoren jeweils nur einem Zylinder zugeordnet sind. Durch die kleinen Volumina zwischen Drosselklappe und Brennraum kann erreicht werden, dass bei einem sehr schnellen Öffnen der Drosselklappen eine maximale Zylinderfüllung ohne Zeitverzögerung ermöglicht

wird. Folge davon ist neben der hohen Drehzahldynamik eine sehr spontane Reaktion des Motors auf eine Änderung der Drosselklappenstellung.

Die Airbox, die vor den Drosselklappenstutzen angeordnet ist, reduziert die Ansauggeräusche auf die gesetzlich vorgeschriebenen Zielwerte und wird für optimale Zylinderfüllung ausgelegt. Lange Ansaugwege, die in PKW Motoren durch Luftsammler entstehen und für hohe Füllungen bei niederen Drehzahlen erforderlich sind, entfallen oftmals bei der Auslegung des Ladungswechsels bei Motorradmotoren [3], [4].

Die Beherrschung von Lastsprüngen zwischen geschlossener auf voll geöffneter Drosselklappe in weniger als 30 ms stellt für konventionelle Motorsteuerungen eine große Herausforderung dar. Die Filterstrukturen zur Erfassung des Drosselklappenswinkels müssen zum einen einkoppelte elektrische Störungen wegfiltern, zum anderen aber die Lastsprünge in Echtzeit an die Berechnung der Lasterfassung der Motorsteuerung weitergeben. Da die Berechnung der Ausgabe der Einspritzzeit fest an das Segmentraster (2-Zylinder: 360 Grad Zündabstand, 4-Zylinder: 180 Grad Zündabstand) gekoppelt ist, müssen dynamisch wirksame Ausgabealgorithmen in der Motorsteuerung bereitgestellt werden.

Die Drosselklappenstutzen der Einzeldrosselklappen werden vom Lieferanten in der Fertigung auf Leckluft geprüft. Die Dichtigkeit der Drosselklappenstutzen sowie die Elastizitäten der Seilzüge zur Ansteuerung der Drosselklappen können sich über die Laufzeit des Motorrads ändern. Dadurch kann eine ungleich verteilte Zylinderfüllung entstehen, was sich vor allem im unteren Last- und Drehzahlbereich durch einen unrunden Motorlauf bemerkbar macht. Zum Abgleich der ungleich verteilten Zylinderfüllungen müssen Adoptionsalgorithmen, die beispielsweise über die Grundeinstellung von Leerlaufstellern wirken können, in der Motorsteuerung vorhanden sein.

Ein Wiederholstart bei PKW-Motoren erfolgt zwangsweise über ein Aus- und Einschalten der Spannungsversorgung (Klemme 15) durch den Zündschlüssel. Bei Wiedereinschalten der Spannungsversorgung wird die Motorsteuerung neu initialisiert. BMW Motorräder können nach einem Motorstop über Betätigung des Not-Ausschalters oder Abwürgen im Fahrbetrieb mit dem Startschalter neu gestartet werden. Ein Statuswechsel der Klemme 15 ist hierfür nicht erforderlich. Um den Wiederholstart ohne eine Neuinitialisierung der Motorsteuerung zu ermöglichen, müssen die Motorstartroutinen der Motorsteuerung angepasst sein.

Die oben genannten Anforderungen müssen durch eine geeignete Hardware (HW)- und Software (SW)-Architektur des Motorsteuergerätes erfüllbar sein. Bei der Auslegung des Prozessorkonzepts sind bei Motorradmotoren die hohen Motordrehzahlen und die Zähnezahl des Kurbelwellengeberrades zu berücksichtigen. Ein taskorientiertes Echtzeitbetriebssystem unterstützt die Effizienz des SW-Designs und ermöglicht mit der statischen Konfiguration die zeit- bzw. winkelgerechte Abarbeitung der Motorsteuerungsfunktionen. Jeder Task des Betriebssystems wird eine Abarbeitungspriorität und eine Aufrufwiederholzeit zugeordnet. Tasks mit einmaligem Aufruf sind ebenfalls einstellbar. Mit Hilfe unterschiedlicher Aufrufwiederholzeiten ist es möglich, verschiedene Rechenraster für die Motorsteuerungsfunktionen festzulegen. Kurbelwellensynchrone Berechnungen werden in der Synchrotask, die abhängig vom Kurbelwellenwinkel gestartet wird, durchgeführt. Es hat sich bewährt, zeitintensive Berechnungen in Tasks mit niederer Priorität laufen zu lassen.

3.3 Anforderungen an Package, Gewicht und Schwingbeschleunigungen

Die Minimierung der Fahrzeuggewichte und die Optimierung vom Package von Motorrädern stellen an das Motorsteuerungssystem eigene Anforderungen. Hinsichtlich der Verkabelung helfen kurze Kabelbaumlängen und optimierte Kabelquerschnitte. Eine Vernetzung zu weiteren Antriebssteuergeräten und Karosseriemodulen über Datenbusse verringert den Verkabelungsaufwand zusätzlich.

In PKW Motoren ist es üblich, zur Erfassung der Kurbelwellenposition und Nockenwellenposition separate Geberräder zu entwickeln, die entsprechenden Bauraum beanspruchen. Antriebsräder treiben in Motoren Nebenaggregate wie beispielsweise Ölpumpe oder Ausgleichswellen an. Durch funktionale Integration von Antriebs- und Geberrädern entfällt der Zusatzaufwand für separate Geberräder. Dafür ist es jedoch erforderlich, dass die Zahnform, der Abstand des Drehzahlgeber zum Geberrad und die Bearbeitung der Zahnlücke gemeinsam mit der Antriebsfunktion des Geberrades abgestimmt werden. Im Bereich der Geberraderfassung darf das Antriebsrad zur Vermeidung von Abnutzungserscheinungen nicht im verzahnten Eingriff sein.

Die Integrationsdichte von Motorsteuerungsfunktionen zeigt sich sowohl in den realisierten Konzepten der Steuergerätegehäuse als auch in der umgesetzten Hardware der Steuergeräte. Geringes Außenmaß, geringes Bauvolumen und eine kompakte Leiterplattentechnologie durch Multilayer-Aufbau der Motorsteuerungen sind gängige Lösungskonzepte. Der Einsatz von ASICs (**A**pplication **S**pecific **I**ntegrated **Circuits) ermöglicht die Integration vieler standardisierter HW-Funktionen auf minimaler Leiterplattenfläche.**

Am Motorblock von Motorradmotoren können Schwingbeschleunigungen von bis zu 15 g auftreten. Je nach Anbindungsart und Position am Motor können an den Sensoren und Aktuatoren als auch am Steuergerät selbst noch deutlich höhere Werte der Schwingbeschleunigung erreicht werden. Typische Schadensbilder dabei sind Rissbildung an Lötstellen und Klebe- oder Schweißverbindungen. Weitere Versagensursachen von Bauelementen können durch Bruch der elektrischen Anschlüsse auftreten.

Sämtliche Sensoren und Aktuatoren müssen für diese hohen und von der Motordrehzahl abhängigen Beschleunigungswerten entwickelt werden. Zudem muss bei dieser Auslegung beachtet werden, dass der Schwingbeschleunigung im realen Motorbetrieb zusätzlich thermische Belastungen überlagert sind, die bei einem Funktionsnachweis durch geeignete Temperaturwechselzyklen berücksichtigt werden.

Die Beschleunigungswerte gelten selbstverständlich auch für die Steckverbindungen an den Motorsteuerungen. Die Materialpaarungen des Steckers am Kabelsatz und am Steuergerät, Kabelschuh und Steckstift, sind auch hinsichtlich Steckzyklenanzahl und der Lebensdauer der Steuergeräte auszulegen. Die Stromtragfähigkeit der Kontaktstelle ist unter anderem abhängig vom Übergangswiderstand und kann sich mit den mechanischen Belastungen im Fahrzeugbetrieb verändern.

3.4 Anforderungen an Umweltbedingungen und Lebensdauer

Der Bauraum, der für die Unterbringung und Befestigung von Motorsteuerungen zur Verfügung steht, ist aus Package- und Designgründen sehr eingeschränkt. Der Einbauort unterhalb der Sitzbank am Heckrahmen erfordert längere Kabellängen als die Befestigung des Steuergerätes am Fahrzeugrahmen in der Nähe des Motorblocks. Erhöhte Temperaturanforderungen in der Nachheizphase bei Abstellen eines heiß gefahrenen Fahrzeugs sowie erschwerte Zugänglichkeit des Motorsteuergerätes für die Werkstätten im Reparaturfall müssen dafür in Kauf genommen werden.

Das Steuergerät muss für den Fahrbetrieb bei Umgebungstemperaturen von -10°C bis über 80°C die elektrische Verlustleistung, die unter anderem durch die Ansteuerung der Zündspulen und Einspritzventile entsteht, abführen können. Die Verlustleistung der Leistungsstufen und des Prozessors wird über Wärmebrücken an das Steuergerätegehäuse abgeführt. Zur Erhöhung der Abstrahlleistung des Steuergerätegehäuses werden Kühlrippen eingesetzt. Bild 5 zeigt dazu ein mögliches Gehäusekonzept einer Motorsteuerung.



Bild 5: Gehäusekonzept Motorsteuerung bei BMW Motorrad

Die hohen Brennraumtemperaturen werden bei den BMW-Boxermotoren über eine kombinierte Luft- bzw. Ölkühlung abgeführt. Im Vergleich zu wassergekühlten Motoren können bei diesem Motorkonzept die Zylinderkopftemperaturen deutlich höhere Werte annehmen. Die Motoröltemperatur wird im Ölbad im Motorsumpf erfasst. Zwischen der Motoröltemperatur und der Brennraumtemperatur, die für die Füllungserfassung physikalisch relevant ist, besteht keine Korrelation. Daher ist es sinnvoll, zur Berechnung der exakten Füllung zusätzliche Temperatursensoren einzusetzen. Sensoren, die direkt am Zylinderkopf oder in der Nähe angebracht sind, müssen für einen Umgebungstemperaturbereich von bis zu 170°C ausgelegt werden. Der hohe Temperaturbereich schränkt die Auswahl gängiger Temperatur- und Drehzahlensensoren ein. Sowohl der Kunststofffragekörper, in den der Auswerte-IC eingegossen ist, als auch der Kabelabgang werden von den Großserienlieferanten in den gängigen Ausführungsformen von Sensoren nur mit maximal 150°C spezifiziert.

Beim Einsatz im Motorrad muss die Wasserdichtigkeit des Motorsteuergeräts gewährleistet werden. Die Wasser- und Feuchtigkeitsdichtigkeiten sind in IP-Schutzklassen definiert, die in den Normen DIN 40050 bzw. IEC 529 beschrieben

sind und erfüllt werden müssen. Der Steuergerätelieferant muss im Rahmen seiner Freigabeuntersuchungen die Einhaltung dieser Produkteigenschaft nachweisen.

Motorräder haben lange Lebensdauerziele. Der Ersatz von ausgefallenen Komponenten des Motorsteuerungssystems in Zeiträumen von über zehn Jahren nach Ende der Serienfertigung stellt vor allem die Steuergerätelieferanten vor große logistische Herausforderungen. Die Prozessorhersteller und anderer hochintegrierter IC des Steuergeräts ändern auf Grund des großen Kostendrucks in der Halbleiterindustrie ihre Herstellprozesse in Produktzykluszeiten üblicherweise von drei bis vier Jahren. Diese Zykluszeiten werden zukünftig jedoch tendenziell fallen. Zur Lösung des Zielkonflikts gibt es keine Patentlösungen. Der Druck, Nachentwicklungen von Motorsteuergeräten, sogenannte Redesigns, zu starten, wird damit größer.

3.5 Anforderungen an elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) und Diagnose und Sicherheit

Die Störsicherheit definiert die Robustheit der Motorsteuerung gegen eingekoppelte Störungen oder leitungsgebundene Störungen des Fahrzeugbordnetzes. Die Einkopplung dieser Störungen erfolgt über die am Steuergerät angeschlossenen Leitungen, die in den interessierenden Frequenzbereichen als Hochfrequenz (HF)-Antennen wirken. Geeignete Schutzmaßnahmen im Steuergerät müssen vor diesen Störungen schützen. Leitungsgebundene Störungen treten beispielsweise als Generatorwelligkeit oder bei dynamischen Spannungseinbrüchen des Bordnetzes während des Motorstarts auf. Die Versorgungsspannung kann im Start kurzzeitig auf Werte unter 6V einbrechen. Die Betriebssicherheit des Motorsteuergerätes muss zwischen 6V und 16V gewährleistet sein.

Die Motorsteuerung darf den Betrieb und die Funktion anderer elektronischer Systeme über ausgekoppelte Störungen nicht beeinträchtigen. Ursache für die Abstrahlungsleistung der Motorsteuerung sind unter anderem die sehr steilen Flanken des Prozessorstaktes, die über unterschiedliche, hochfrequenz-spezifische Auskoppelmechanismen der Leiterplatte vorwiegend über die Verkabelung der Steuergeräte abstrahlt werden. Die Eingangsstufen von Radioempfängern wie auch Gegensprech-anlagen und Behörden-Funkgeräten dürfen durch die Abstrahlung nicht gestört werden.

Für die Störsicherheit der Motorsteuerung in Motorrädern gelten entsprechende EMV-Vorschriften und Richtlinien der BMW PKW-Fahrzeuge, die in einem BMW Group Standard zusammengefasst sind und sich an den Standards im europäischen Automobilbau und Behördenvorschriften orientieren. Die Erreichung der EMV-Grenzwerte wird bei Motorrädern erschwert, da ein Karosserieblech mit seiner schirmenden Eigenschaft oftmals fehlt.

Die Motorsteuerung muss anhand der Eingangssignale und Leistungsausgänge die klassischen elektrischen Fehlerfälle des Fahrzeugbordnetzes

- Kurzschluss nach Kl. 31 (Masse)
- Kurzschluss nach Kl. 30 (Plus)
- Leitungsunterbrechung

identifizieren, als Fehler ablegen und bei Kurzschluss an einem Leistungsausgang die elektronische Endstufe abschalten. Der Fehler wird üblicherweise mit einstellbaren Filterwerten entprellt, bevor der Fehler im Fehlerspeicher abgelegt wird. Liegt ein Fehler beispielsweise an einem defekten Temperaturgeber vor, muss das Diagnosekonzept als Ersatzwert einen anderen Temperatureingang bereitstellen können. Der Fehlerspeichereintrag kann in der BMW Werkstatt über einen Werkstatt-Tester ausgelesen werden. Liegt der Fehler nach Austausch des Temperaturgebers nicht mehr an, kann die Werkstatt den Fehlerspeichereintrag löschen.

Der Motorradmotor muss durch Betätigen des Seitenstützenschalters bei eingelegtem Gang abgestellt werden können. Die Funktion wird durch das Motorsteuerungssystem dargestellt. Eine fehlerhafte Auswertung des Seitenstützenschalters in der Motorsteuerung darf nicht zum Abstellen des Motors führen. Hieraus ergibt sich für Motorsteuerungen die Anforderung nach der Eigensicherheit des Steuergerätes. Das Mehrebenen-Sicherheitskonzept wurde bei PKW Motorsteuerungen mit elektronischer Drosselklappe eingeführt. Über mehrere HW- und SW-Überwachungsebenen wird die Eigensicherheit der Motorsteuerung zur Laufzeit des Steuergerätes geprüft.

3.6 Anforderungen an Fahrbarkeit, Verbrauch und Schadstoffemission

Neben den oben beschriebenen funktionellen Anforderungen, die für einen sicheren Betrieb des Fahrzeugs an die Motorsteuerung gestellt werden, müssen durch intelligente Regel- und Steuerungsstrategien die Zielvorgaben sowohl von Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen als auch die Optimierung der Fahrbarkeit erfüllt werden.

Besonders die Einhaltung der gesetzlichen Abgasgrenzwerte, deren zukünftige Entwicklung in Tabelle 2 dargestellt ist, bedeutet für die Gemischregelung und Gemischkontrolle eine sehr große Herausforderung [5]. So müssen beispielsweise Strategien erarbeitet werden, bei der zwischen saugsynchroner und vorgelagerter Einspritzung betriebspunktabhängig sinnvoll variiert werden kann. Weiterhin sind Funktionen notwendig, die ein schnelles „Light off“ des Katalysators ermöglichen, um so die Emissionen während des Warmlaufes zu minimieren.

	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]
EU2 (ab 2003)	1.00	5.50	0.30
EU3 (ab 2006)	0.30	2.00	0.15

Tabelle 2: Schadstoffgrenzwerte für Europa [5]

Gleichzeitig darf aber durch diese Maßnahmen die Dynamik des Fahrzeugs nicht nachteilig beeinflusst werden. Das bedeutet, dass die bei Beschleunigungsvorgängen oftmals eingesetzte Beschleunigungsanreicherung sehr sorgfältig angepasst werden muss. Die Berechnung der Einspritzzeit muss kennfeldabhängig durch entsprechende physikalische Modelle unterstützt werden.

4. Zusammenfassung

Die Beherrschung der hohen und weiter wachsenden Systemkomplexität und Verflechtung der Steuerungssysteme im Zweirad erfordern eine intelligente Koordination der externen und internen Schnittstellen in den Steuergeräten.

In diesem Beitrag sind dazu unter den motorradspezifischen Randbedingungen die Anforderungen, die heute an ein modernes Motorsteuerungssystem gestellt werden, beschrieben und diskutiert. Als möglicher Weg, dem Kompromiss der oftmals konträren Zielvorgaben näher zu kommen, wird weiterhin die Funktionsweise und die Systemarchitektur einer momentenkoordinierten Motorsteuerung diskutiert.

Diese momentenbasierte Struktur erlaubt neben einer deutlich vereinfachten Integration neuer Systeme und einer erhöhten Flexibilität weiterhin eine Verbesserung der Stabilität des gesamten Software-Systems. Durch die effizientere Nutzung der Stellpfade ist somit neben der Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen eine Erhöhung der Fahrdynamik und der Freude am Fahren möglich.

5. Literatur

- [1] Jessen, H.; Kaiser, L.; Mencher, B.; Gerhardt, J.: Schnittstellen und Strategien zur Momentenkoordination und Umsetzung in Motorsteuerungssysteme für Ottomotoren, Steuerung und Regelung von Fahrzeugen und Motoren - AUTOREG 2002, VDI-Berichte 1672, Mannheim, 2002.
- [2] Robert Bosch GmbH, Ottomotor-Management, Vieweg-Verlag, 1. Auflage, 1998.
- [3] Stoffregen, J.: Motorradtechnik, Vieweg-Verlag, 4. Auflage, 2001.
- [4] van Basshuysen/Schäfer: Handbuch Verbrennungsmotor, Vieweg-Verlag, 2. Auflage, 2002.
- [5] Directive 2002/51/EC of the European Parliament and of the Council, 2002.

Autor/ Author:

Dipl.-Ing. Wolfgang Kremer

BMW Group

München

Co-Autor/ Co-Author:

Dr.-Ing. Jörg Reissing

BMW Motorrad

München