

2 Problemformulierung

Wie in der Motivation und Zielsetzung erläutert, wird die datenbasierte Zustandsüberwachung für den Einsatz im Motorsteuergerät thematisiert. Bei den hier betrachteten Fehlern handelt es sich um langsames Driften von Parametern und Eigenschaften einer Komponente, wie es häufig bei der Alterung von Komponenten durch Stress der Fall ist. Es wird dabei beachtet, dass für die Zustandsüberwachung einiger Fehler die Auswertung von bestimmten, oft auch dynamischen Betriebszuständen nötig ist. Im Anwendungsbeispiel des DWKs wird die Alterung hauptsächlich durch thermalen Stress ausgelöst. Der Zustand des DWKs kann über die Sauerstoffspeicherkapazität bestimmt werden, doch im normalen Betrieb wird der Sauerstoffspeicher kaum angeregt. Dadurch ist die Zustandsüberwachung nur in besonderen Betriebszuständen möglich, in denen der Sauerstoffspeicher stark angeregt wird.

2.1 Driftende Zustandsänderung

Bei abrupten Fehlern ändern sich alle Parameter und Eigenschaft der Komponente vor Auftreten des Fehlers nicht und entsprechen somit den Werten der Komponente am Anfang der Lebensdauer (neue Komponente). Irgendwann tritt eine inakzeptable Abweichung von mindestens einem Parameter oder einer Eigenschaft der Komponente plötzlich auf. Im Gegensatz dazu, kann bei driftenden Fehlern ein langsames Anwachsen der Abweichung (Zustandsänderung) beobachtet werden. In aller Regel gefährdet dabei die Abweichung am Anfang noch nicht die Funktionalität der Komponente und ist erst ab einer bestimmten Größe als Fehler zu bewerten. Die akzeptable Abweichung wird oftmals auch als Vorstufe des Fehlers bezeichnet. Daraus abgeleitet können der Fehler, die Vorstufe des Fehlers und die Zustandsänderung, welche den Fehler und dessen Vorstufe zusammenfasst, wie folgt definiert werden.

Definition 2.1 (Vorstufe des Fehlers). Eine Vorstufe eines Fehlers ist gegeben, wenn mindestens ein Parameter oder eine Eigenschaft des Systems oder der Komponente eine zulässige/akzeptable Abweichung von dem Zustand des neuen Systems bzw. der neuen Komponente aufweist.

Definition 2.2 (Fehler (Isermann, 2006)). Ein Fehler ist gegeben, wenn mindestens ein Parameter oder eine Eigenschaft des Systems oder der Komponente eine unzulässige/inakzeptable Abweichung von dem Zustand des neuen Systems bzw. der neuen Komponente aufweist.

Definition 2.3 (Zustandsänderung). Eine Zustandsänderung ist gegeben, wenn mindestens ein Parameter oder eine Eigenschaft des Systems oder der Komponente eine zulässige/akzeptable oder unzulässige/inakzeptable Abweichung von dem Zustand des neuen Systems bzw. der neuen Komponente aufweist.

Ausgehend von den Definitionen der Zustandsänderung und des Fehlers kann die driftende Zustandsänderung und der driftende Fehler wie folgt definiert werden.

Definition 2.4 (Driftende Zustandsänderung). Die Abweichung/Zustandsänderung der Parameter oder Eigenschaften des Systems oder der Komponente fängt klein an und wird immer größer (driftet).

Definition 2.5 (Driftender Fehler). Ein driftender Fehler ist gegeben, wenn die driftende Zustandsänderung soweit fortgeschritten ist, dass die Abweichung von mindestens einem Parameter oder einer Eigenschaft des Systems oder der Komponente eine unzulässige/inakzeptable Abweichung von dem Zustand des neuen Systems bzw. der neuen Komponente aufweist.

In einem Fahrzeug und auch in anderen Anwendungsgebieten wird eine driftende Zustandsänderung häufig durch Stress (z.B. thermaler Stress) ausgelöst, dem die Komponente in ihrem Betrieb ausgesetzt ist. Dabei wird die driftende Zustandsänderung oftmals als Alterung bezeichnet.

Zur Veranschaulichung der Begrifflichkeiten und Diskussion einiger Aspekte bei driftenden Zustandsänderungen ist in Abbildung 2.1 beispielhaft der Verlauf der Zustandsänderung von drei Komponenten des gleichen Typs dargestellt. Eine neue Komponente startet im Ursprung, da noch keine Zustandsänderung stattgefunden hat und der Zustand der Komponente noch dem neuen Zustand entspricht. Entweder sofort oder nach einiger Zeit beginnt mindestens ein Parameter oder eine Eigenschaften der Komponente zu driftet und somit wächst die Zustandsänderung. Solange die Zustandsänderung unterhalb eines

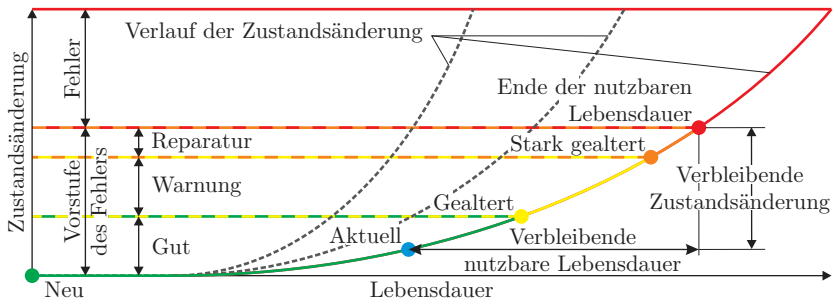


Abbildung 2.1: Vereinfachter Verlauf der Zustandsänderung durch eine driftende Zustandsänderung für drei Komponenten des gleichen Typs

Grenzwertes liegt, weist die Komponente ein akzeptables Verhalten auf. In diesem Fall liegt die Vorstufe des Fehlers vor. Erreicht oder überschreitet die Zustandsänderung den Grenzwert, liegt ein Fehler vor. Das Verhalten der Komponente ist jetzt inakzeptabel. Mit dem Ende der nutzbaren Lebensdauer (EDL) wird oftmals der Punkt bezeichnet, an dem erstmalig ein inakzeptables Verhalten der Komponente vorliegt. Daraus abgeleitet kann die EDL-Komponente wie folgt definiert werden.

Definition 2.6 (EDL-Komponente). Eine EDL-Komponente bzw. ein EDL-System ist die Komponente/das System am Ende der nutzbaren Lebensdauer. Es ist somit die Komponente/das System mit der kleinsten als Fehler einzustufenden Zustandsänderung.

Die Vorstufe des Fehlers lässt sich grob in drei Bereiche unterteilen. Im ersten Teilbereich ist die Performanz gut und die Funktionalität der Komponente ist kaum beeinflusst.

Deshalb sind auch keine Eingriffe nötig. Im zweiten Bereich führt die Zustandsänderung schon zu einer merklichen Verschlechterung der Performanz und eine Warnung wird generiert, da bald eine Reparatur oder Ähnliches ansteht. Der Blick auf die optimale Nutzung einer Komponente und damit auf eine zustandsbasierte Instandhaltung führt dazu, dass der letzte Bereich Reparatur genannt wird. Innerhalb dieses Bereiches sollte die Reparatur oder der Austausch der Komponente ausgeführt werden.

Anhand der in der Abbildung 2.1 dargestellten drei Komponenten des gleichen Typs wird offensichtlich, dass der Verlauf der Zustandsänderung für jede Komponente des gleichen Typs unterschiedlich sein kann. Es ist somit nicht ausreichend, den Verlauf für eine Komponente des Typs aufzuzeichnen und für die anderen zu hinterlegen, sondern eine online Bestimmung wird benötigt. Gründe hierfür sind Unterschiede in der Nutzung der Komponente und damit auch in dem Stress, dem die Komponente ausgesetzt ist. Aber auch bei gleichem Stress führen Fertigungstoleranzen usw. zu Variationen im Verlauf.

2.2 Aufbau einer datenbasierten Zustandsüberwachung

Die datenbasierten Verfahren beruhen auf der Annahme, dass Prozesswissen in Form von einer größeren Menge an Prozessdaten vorhanden ist. Im Allgemeinen werden datenbasierte Systeme in zwei Phasen unterteilt. Die erste Phase ist die so genannte Trainingsphase, in der die gesammelten Prozessdaten durch geeignete Methoden in eine Zustandsüberwachung transformiert werden. Die zweite Phase ist der Betrieb, in dem die aktuell gemessenen Prozessgrößen und die im Training erstellte Zustandsüberwachung genutzt werden, um die aktuelle Zustandsänderung der Komponente zu bestimmen. Ein Beispiel für die typische Struktur einer datenbasierten Zustandsüberwachung ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Dabei bestehen beide Phasen aus einer Merkmalsgenerierung und einer Merkmalsauswertung.

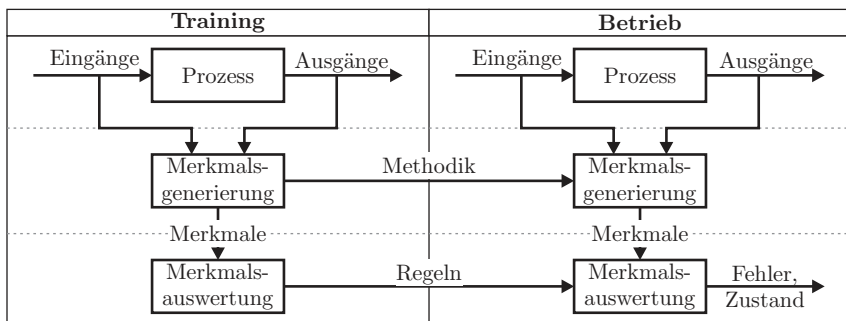


Abbildung 2.2: Typische Struktur einer datenbasierten Zustandsüberwachung

Die Merkmalsgenerierung erstellt aus den verfügbaren Prozessdaten geeignete Merkmale, die eine möglichst große Korrelation zu der Zustandsänderung der Komponente und eine geringe Korrelation mit möglichen Störungen haben. Merkmale und Muster sind hierbei wie folgt definiert.

Definition 2.7 (Merkmale (Kroll, 2013)). Merkmale sind Größen, die relevante Information für das zu lösende Problem enthalten.

Definition 2.8 (Muster (Kroll, 2013)). Muster sind Ausprägungen in Merkmalen, die für das zu lösende Problem typisch (bedeutungsvoll) sind.

Eine Merkmalsgenerierung kann daraus bestehen, dass geeignete verfügbare Prozessgrößen für die Merkmalsauswertung ausgewählt werden. Diese Form der Merkmalsgenerierung wird auch Merkmalsauswahl genannt. Die zweite Möglichkeit ist die Merkmalsextraktion. Hierbei werden durch eine Vorverarbeitung aus den verfügbaren Prozessgrößen Merkmale erzeugt, zum Beispiel durch eine Transformation in den Frequenzbereich. Für den Einsatz in realen Komponenten ist oftmals eine Kombination von beiden Möglichkeiten die beste Wahl (Güthmann, 1995). Der Merkmalsvektor \mathbf{m} eines diskreten Systems kann allgemein durch

$$\mathbf{m}(k_k) = \mathbf{g}_m(\mathbf{u}_k(k_k), \dots, \mathbf{u}_k(k_k - n), \mathbf{y}_k(k_k), \dots, \mathbf{y}_k(k_k - n)) \quad (2.1)$$

beschrieben werden, wobei \mathbf{u}_k und \mathbf{y}_k die Ein- und Ausgangswerte des diskreten Systems sind. Durch \mathbf{g}_m , k_k und $n \in \mathbb{N}$ werden eine beliebige nichtlineare Funktion zur Erzeugung der Merkmale, der aktuelle Abtastschritt und die Anzahl der berücksichtigten vergangenen Abtastschritte angegeben.

Die Zustandsüberwachung kann bei driftenden Zustandsänderungen als eine Verallgemeinerung der Fehlerdiagnose angesehen werden. Die Fehlerdiagnose ist dabei ein wichtiger Bestandteil der Zustandsüberwachung. In Ding (2014a) wird vorgeschlagen, die Fehlerdiagnose in die drei folgenden Hauptaufgaben zu unterteilen.

Fehlerdetektion: Aufgabe ist das Detektieren von Fehlern im Prozess.

Fehlerisolation: Aufgabe ist das Lokalisieren der für den Fehler verantwortlichen Komponente.

Fehleranalyse: Aufgabe ist das Bestimmen der Fehlerart und der aktuellen Fehlergröße.

Die Zustandsüberwachung beinhaltet die Lösung der drei Aufgaben nicht nur für den Fehler, sondern auch für die Vorstufe des Fehlers.

2.3 Anforderungen an eine datenbasierte Zustandsüberwachung

Unabhängig von dem Verfahren der Zustandsüberwachung können einige Ziele aufgestellt werden, die für jede Zustandsüberwachung gültig sind. Am Ende soll im Betrieb das Eintreten eines Fehlers möglichst zeitnah detektiert, lokalisiert und identifiziert werden. Dabei soll die Zahl der Fehlalarme und der ausbleibenden Alarme möglichst gering gehalten werden, welche wie folgt definiert sind.

Definition 2.9 (Fehlalarm). Ein Fehler wird detektiert, obwohl kein Fehler in der Komponente vorliegt.

Definition 2.10 (Ausbleibender Alarm). Die Detektion eines Fehlers bleibt aus, obwohl ein Fehler in der Komponente vorliegt.

Bei driftenden Zustandsänderungen gibt es immer einen Bereich, in dem je nach Randbedingungen die Zustandsänderung noch als akzeptabel oder aber schon als inakzeptabel eingeordnet wird, dieser sollte für eine gute Performanz möglichst klein sein. Eine Zustandsänderung sollte für möglichst kleine Werte schon detektiert, lokalisiert und identifiziert werden. Um eine schnelle Detektion zu ermöglichen, ist eine hohe Diagnosehäufigkeit erwünscht. Bei einer datenbasierten Zustandsüberwachung soll hierfür das in den Prozessdaten vorhandene Wissen über den Prozess durch ein Training in eine Zustandsüberwachung transformiert werden. Wichtige Eigenschaften sind in dem Zusammenhang die Detektierbarkeit, Isolierbarkeit und Identifizierbarkeit der Zustandsänderungen bzw. der Fehler.

Die Eigenschaft der Detektierbarkeit einer Zustandsänderung wird unabhängig von ihrer Größe, den Störungen und anderen Einflüssen in Anlehnung an Blanke u. a. (2006) wie folgt definiert.

Definition 2.11 (Detektierbarkeit). Eine Zustandsänderung Δz_i ist in einem Merkmalsraum \mathcal{M} detektierbar, wenn gilt $\mathcal{Z}_i \not\subseteq \mathcal{Z}_0$.

Eine Detektierbarkeit der Zustandsänderung Δz_i ist also gegeben, wenn es in der Menge \mathcal{Z}_i aller Merkmalsvektoren der Komponente mit Zustandsänderung Δz_i Merkmalsvektoren gibt, die nicht zu der Menge \mathcal{Z}_0 aller Merkmalsvektoren der Komponente ohne Zustandsänderung z_0 (neu) gehören. Für eine Zustandsüberwachung sollte aber auch schon die Vorstufe des Fehlers detektierbar sein. Gibt es keinen einzigen Merkmalsvektor, der von der Komponente ohne Zustandsänderung z_0 und der Komponente mit Zustandsänderung Δz_i erzeugt werden kann, dann besteht für die Zustandsänderung Δz_i eine vollständige Detektierbarkeit.

Definition 2.12 (Vollständige Detektierbarkeit). Eine Zustandsänderung Δz_i ist in einem Merkmalsraum \mathcal{M} vollständig detektierbar, wenn gilt $\mathcal{Z}_i \setminus \mathcal{Z}_0 = \mathcal{Z}_i$.

Die Differenz von zwei Mengen \setminus ist dabei durch

$$\mathcal{Z}_i \setminus \mathcal{Z}_0 = \{\mathbf{m} | (\mathbf{m} \in \mathcal{Z}_i) \wedge (\mathbf{m} \notin \mathcal{Z}_0)\} \quad (2.2)$$

gegeben. In realen Systemen ist eine vollständige Detektierbarkeit auf Grund von verschiedenen Einflüssen normalerweise nicht gegeben. Veranschaulicht wird die Detektierbarkeit durch die Zustandsänderung Δz_1 und die vollständige Detektierbarkeit durch die Zustandsänderung Δz_2 in Abbildung 2.3 an einem zweidimensionalen Beispiel, mit den Merkmalen m_1 und m_2 . Die Zustandsänderung Δz_1 produziert Merkmalsvektoren, die nur

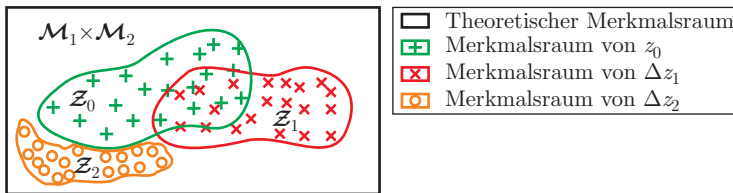


Abbildung 2.3: Beispiel für die Detektierbarkeit und vollständige Detektierbarkeit

von ihr stammen können, aber auch welche, die auch von der Komponente ohne Zustandsänderung z_0 stammen können. Deswegen ist die Zustandsänderung zwar detektierbar, aber nicht vollständig detektierbar. Die von der Zustandsänderung Δz_2 erzeugten Merkmalsvektoren können alle nur von einer Komponente mit der Zustandsänderung Δz_2 stammen und somit ist der Zustand vollständig detektierbar. Bezogen auf eine Detektierbarkeit eines Fehlers f_i werden die Merkmalskombination der Vorstufe des Fehlers der Komponente ohne Zustandsänderung z_0 zugeordnet. Die Zustandsänderung Δz_i beinhaltet dann nur noch die Merkmalsvektoren des Fehlers und ist somit mit dem Fehler f_i identisch.

Analog zur Detektierbarkeit kann die Isolierbarkeit ebenfalls als eine von der Größe der Zustandsänderung, Störungen und anderen Einflüssen unabhängige Eigenschaft der Merkmale definiert werden.

Definition 2.13 (Isolierbarkeit). Zwei detektierbare Zustandsänderungen Δz_i und Δz_j in einem Merkmalsraum \mathcal{M} sind voneinander isolierbar, wenn gilt $\mathcal{Z}_i \Delta \mathcal{Z}_j \neq \emptyset$.

Dabei ist durch Δ die symmetrische Differenz und durch \emptyset die leere Menge gekennzeichnet. Für die symmetrische Differenz von zwei Mengen gilt

$$\mathcal{Z}_i \Delta \mathcal{Z}_j = \{\mathbf{m} | ((\mathbf{m} \in \mathcal{Z}_i) \wedge (\mathbf{m} \notin \mathcal{Z}_j)) \vee ((\mathbf{m} \in \mathcal{Z}_j) \wedge (\mathbf{m} \notin \mathcal{Z}_i))\}. \quad (2.3)$$

Bei mehr als zwei Zustandsänderungen wird von einer vollständigen Isolierbarkeit der Zustandsänderung Δz_i gesprochen, wenn die Zustandsänderung Δz_i von jeder der anderen Zustandsänderungen Δz_j isolierbar ist.

Definition 2.14 (Vollständige Isolierbarkeit). Eine detektierbare Zustandsänderung Δz_i in einem Merkmalsraum \mathcal{M} ist vollständig isolierbar, wenn für jede Zustandsänderung $\Delta z_j, i \neq j$ gilt $\mathcal{Z}_i \Delta \mathcal{Z}_j \neq \emptyset$.

Die vollständige Isolierbarkeit einer Zustandsänderung ist zum Beispiel gegeben, wenn sich Merkmale finden lassen, die nur durch eine Zustandsänderung beeinflusst werden. Im weiteren Verlauf wird dieser Fall als gegeben angenommen und die Isolation der Zustandsänderung nicht weiter behandelt. Veranschaulicht ist dieser Fall für die Zustandsänderung Δz_1 in Abbildung 2.4. Die Zustandsänderung Δz_2 in Abbildung 2.4 erzeugt die gleichen

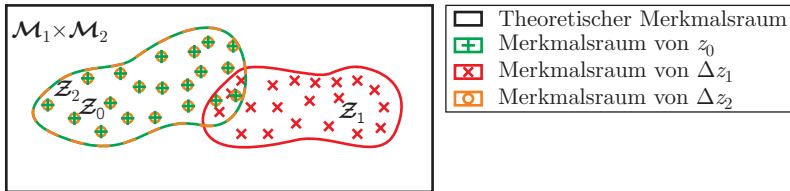


Abbildung 2.4: Beispiel für die Isolierbarkeit

Merkmalsvektoren, wie die Komponente ohne Zustandsänderung z_0 . Die gewählten Merkmale werden also nicht von der Zustandsänderung Δz_2 beeinflusst. Die Zustandsänderung Δz_1 hingegen erzeugt isolierbare Merkmalsvektoren.

Die Identifizierbarkeit ist eine weitere Steigerung der Anforderungen an die Struktur und ist gegeben, wenn die Struktur eine Rekonstruktion der Zustandsänderung Δz_i aus

den Merkmalsvektoren zulässt. Sie kann analog zur Isolierbarkeit über die stufenweise Identifizierbarkeit hergeleitet werden, wenn die Zustandsänderung Δz_i anhand der Größe in mehrere Klassen $\Delta z_{i,1}, \dots, \Delta z_{i,n}$ unterteilt wird, wobei gilt $\Delta z_{i,1} < \Delta z_{i,2} < \dots < \Delta z_{i,n}$. Bei $n = \infty$ ist eine stufenlose Rekonstruktion der Zustandsänderung Δz_i möglich.

Definition 2.15 (Identifizierbarkeit). Eine detektierbare und isolierbare Zustandsänderung Δz_i in einem Merkmalsraum \mathcal{M} ist (stufenweise) identifizierbar, wenn n Klassen mit unterschiedlich großer Zustandsänderung Δz_i vollständig isolierbar sind.

In Abbildung 2.5 ist vereinfacht eine identifizierbare Zustandsänderung Δz_1 mit drei verschiedenen Größen $\Delta z_{1,j}$ der Zustandsänderung dargestellt. Es ist gezeigt, dass es möglich ist, die unterschiedlich großen Zustandsänderungen voneinander zu unterscheiden. In einem realen System wächst die Zustandsänderung kontinuierlich und somit stellt die Aufteilung der Zustandsänderung in Stufen eine Quantisierung dar.

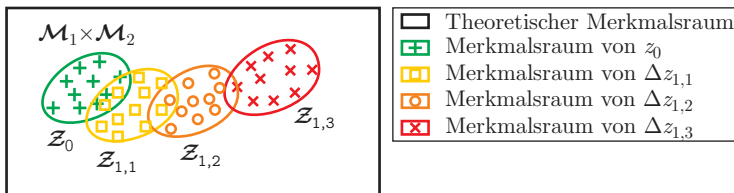


Abbildung 2.5: Beispiel für die (stufenweise) Identifizierbarkeit

Die Anforderungen an die Merkmalsgenerierung ergeben sich aus der Detektierbarkeit, Isolierbarkeit und Identifizierbarkeit. Ziel bei der Fehlerdiagnose und Zustandsbestimmung ist eine sensible Reaktion der Merkmale auf eine Zustandsänderung und möglichst keine Reaktion auf Störungen und andere nicht beachtete Einflüsse. Im Sinne der einfachen Isolierbarkeit ist es gut, wenn die Merkmale nur auf die Zustandsänderung eines Fehlers und der dazugehörigen Vorstufe reagieren. In datenbasierten Konzepten kommt typischerweise noch die Forderung nach einer festen Anzahl an Merkmalen dazu. Die feste Anzahl an Merkmalen bedeutet nicht unbedingt eine feste Anzahl an Messdaten und Abtastschritten, aus denen die Merkmale gewonnen werden.

Die Merkmalsauswertung hat die Aufgabe, die in den Merkmalen verdichtete Information über die Zustandsänderung einer Komponente möglichst verlustfrei in eine für den Anwender leicht verständliche Information zu transformieren, zum Beispiel durch Angabe der Art und Größe einer Zustandsänderung und ob ein Fehler vorliegt oder nicht.

2.4 Anforderungen an eine Zustandsüberwachung im Fahrzeug

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die datenbasierte Zustandsüberwachung für den Einsatz im Motorsteuergerät konkretisiert. Die zusätzlichen Anforderungen entstehen vor allem durch den hohen Kostendruck in dem Anwendungsgebiet. Beendet wird der Abschnitt mit den Anforderungen an eine datenbasierte Zustandsüberwachung für das Anwendungsbeispiel des DWKs.

Der Gesetzgeber fordert, wie bereits in der Einleitung erwähnt, eine funktionelle Überwachung aller emissionsrelevanten Komponenten im Rahmen der OBD. Bei einigen Komponenten wird eine minimale Haltbarkeit gefordert. Innerhalb der Haltbarkeit muss die Komponente funktionsfähig sein und von der Fehlerdetektion auch als funktionsfähig erkannt werden. Dabei bezieht sich die funktionelle Überwachung häufig nur auf die Detektion und Lokalisierung des Fehlers. Da sich Fehlalarme in realen Systemen bei driftenden Zustandsänderungen nicht verhindern lassen, sollte eine akzeptable Zustandsänderung aus Gründen der Verfügbarkeit und den Wartungskosten erst kurz vor dem Fehler zu ersten Fehlalarmen führen. Hierbei wird oftmals von einer möglichst großen Trennschärfe der Diagnose gesprochen. Seit Neuestem muss der Hersteller des Fahrzeugs nachweisen, dass die vorgeschriebenen Überwachungen auch regelmäßig im Betrieb durchgeführt werden, dafür muss die *In Use Performance Ratio* aus Gl. (1.1) einen vorgegebenen Wert überschreiten.

Neben den gesetzlichen Bestimmungen gibt es aber auch noch weitere Anforderungen, die durch den Kunden motiviert sind. Ein wichtiger Faktor dabei sind die Betriebskosten eines Fahrzeugs. Ein großes Potential hierbei hat die zustandsabhängige Instandhaltung, da die Instandhaltungskosten immerhin etwa 40 % der Gesamtkosten ausmachen. Hinzu kommt die zustandsabhängige Regelung, die dabei helfen kann, negative Effekte von driftenden Zustandsänderungen zu reduzieren und die Lebensdauer der eingesetzten Komponenten zu erhöhen. Negative Effekte können zum Beispiel ein Komfortverlust oder ein erhöhter Kraftstoffverbrauch sein. Eine Zustandsüberwachung sollte also neben der Detektion und Isolation auch eine Bestimmung der Größe des Fehlers und auch bereits der Vorstufe des Fehlers liefern. Um das Potential komplett zu nutzen, sollte eine Zustandsüberwachung auch für Komponenten durchgeführt werden, bei denen die Überwachung nicht gesetzlich vorgeschrieben ist. Damit ein Fehler zeitnah erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können, ist eine hohe Diagnosehäufigkeit der Zustandsüberwachung gefordert. Bei langen Verzögerungen zwischen der Detektion und dem Auftreten des Fehlers kann es zu Folgeschäden kommen. Deshalb können die Potentiale der zustandsabhängigen Regelung und Instandhaltung nicht richtig genutzt werden, wenn die Abstände zwischen zwei Bestimmungen des Zustands der Komponente groß sind.

Aus wirtschaftlicher Sicht werden die Anforderungen an eine datenbasierte Zustandsüberwachung auf Grund des hohen Kostendrucks nochmals erweitert. Der Kostendruck äußert sich in einer geringen Anzahl an Sensoren, der geringen Rechenleistung des Motorsteuergeräts, der geringen Anzahl an Trainingsdaten und einer geringen Verfügbarkeit von Komponenten mit dem Fehler und der Vorstufe des Fehlers. Die geringe Anzahl an Sensoren erfordert oft die Verwendung von geschätzten Prozessgrößen, die auf Grund der Rechenleistung des Motorsteuergeräts nur über ein stark vereinfachtes Modell verfügbar sind. Insbesondere in dynamischen Betriebszuständen weisen die geschätzten Prozessgrößen Abweichungen von der Realität auf. Außerdem ist wegen der geringen Anzahl an Sensoren ein Fehler nur selten durch eine direkte Überwachung der Messgrößen möglich. Eine datenbasierte Zustandsüberwachung muss deswegen im ersten Schritt Merkmale erstellen, die dann analysiert werden können. Dabei ist unter anderem der Umgang mit dynamischen Betriebszuständen nötig. Die Rechenleistung des Motorsteuergeräts erfordert auch von der Zustandsüberwachung eine Umsetzung mit minimalen Ressourcen. Die geringe Anzahl der Trainingsdaten ist ein Resultat der hohen Kosten bei der Erstellung. Die Trainingsdaten werden durch Fahrten auf der Straße oder Messungen am Prüfstand

gesammelt. Zur Reduzierung dieser Kosten sollte ein Verfahren mit wenigen Messungen auskommen und diese sollten nicht nur für das Training einer Zustandsüberwachung verwendbar sein. Die fehlerhafte Komponente und die Komponenten mit verschieden großer Vorstufe des Fehlers müssen oftmals für das Training künstlich hergestellt werden, was hohe Kosten verursacht. Zum Beispiel können diese durch eine gezielte Überhitzung der Komponente hergestellt werden. Deshalb muss ein Verfahren mit sehr wenig verschiedenen Stufen der Zustandsänderung auskommen.

Bezogen auf das Anwendungsbeispiel wird von dem Gesetzgeber eine Fehlerdetektion des DWKs, eine Dauerhaltbarkeit und die Erfüllung einer minimalen Diagnosehäufigkeit gefordert. In den neuesten europäischen Vorschriften liegt die Dauerhaltbarkeit zum Beispiel bei 160 000 km. Der Kostendruck führt dazu, dass direkt am DWK mit den Lambdasonden vor und nach dem DWK nur zwei Sensoren verbaut sind, die beide den Sauerstoffanteil im Abgas bestimmen. Durch diese ist eine Überwachung im normalen Betrieb nicht möglich, da das Signal der Lambdasonde nach dem DWK weitestgehend konstant ist. Es wird also eine Merkmalsgenerierung für besondere Betriebszustände gebraucht. Verfügbar im Training sind meistens der neue DWK und der EDL-DWK. Zu einem späteren Zeitpunkt ist oftmals auch der DWK am Ende der Dauerhaltbarkeit vorhanden, aber dann muss die Zustandsüberwachung bereits funktionieren. Negative Auswirkungen der driftenden Zustandsänderung eines DWKs sind vor allem die erhöhten Emissionen, die durch eine zustandsabhängige Regelung verringert werden können. Bei der Instandhaltung ist momentan eine reaktive Strategie eingesetzt, sodass hier erstmal kein Kostenvorteil entsteht. Da der DWK eine sehr wichtige Komponente in der Abgasnachbehandlung ist, kann es in der Zukunft zu einer Änderung der gesetzlichen Anforderungen kommen. Eine Übertragung der Fehlermeldung des DWKs über Funk an die zuständige Behörde wird in Kalifornien im Rahmen der OBD III bereits diskutiert (Borgeest, 2014).

Bemerkung 2.1 (Grenzkatalysator). Der EDL-DWK wird in der Praxis oft auch als Grenzkatalysator bezeichnet. Da das Grenzsystem in einem Fahrzeug mal das schlechteste fehlerfreie System (z.B. Lambdasonde) und mal das beste fehlerhafte System (z.B. DWK) darstellt, wird der Begriff im weiteren Verlauf nicht verwendet.

Datenbasierte Zustandsüberwachung in
Personenkraftfahrzeugen mit Anwendung an einem
Drei-Wege-Katalysator

Louen, C.J.

2016, XIII, 122 S. 67 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-14444-9