

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

In der vorliegenden Arbeit wurde zunächst die Ursache der Dynamik von messbaren Sensorsignalen massensensitiver Gasensoren untersucht. Es stellte sich heraus, dass neben dem eigentlichen Zeitverhalten des Sensors auch die Apparaturen zur Gasmischung der typischen Versuchsaufbauten einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss besitzen können. Besonders die Generation eines Testgases über die Sättigungsmethode kann bei Sensoren mit schneller Dynamik zur falschen Interpretation eines Messsignals führen und muss beachtet werden.

Im Gegensatz zu diesem Einfluss der Gasmischung auf das Zeitverhalten der Messung wurde herausgefunden, dass bei geschickter Strömungsführung innerhalb der Messkammer der Transport eines Analyten zur Sensoroberfläche nahezu instantan geschieht.

Für die Abschätzung der eigentlichen Sensordynamik wurde ein gängiges Modell aus der Literatur verwendet und überprüft, inwiefern die Modellparameteridentifikation eindeutig ist. Für eine etwaige Nichteindeutigkeit wurde die Betrachtung von thermodynamischen Sekundärmerkmalen der Modellparameter vorgeschlagen.

Auch abgeschätzt wurde, ob die Aufnahme des Analyten in die Sensorschicht zu einer relevanten Temperaturveränderung führt. Es stellte sich heraus, dass dies nicht der Fall war, da entweder die Zeitdauer der Erwärmung sehr kurz ist oder die Amplitude innerhalb der ohnehin vorhandenen Temperaturschwankungen liegt.

Das Hauptaugenmerk der Arbeit lag auf der Signalverarbeitung mittels Zustandsraummodellen (siehe hierzu Abbildung 68). Betrachtet wurden zunächst das Kalman-Filter und das Wiener-Filter für lineare Systeme wobei sich herausstellte, dass mittels eines optimierten Wiener-Filters bei deterministischen Signalen sehr gute Schätzergebnisse erzielt werden können.

Aufgezeigt werden konnte, dass die modellbasierte Auswertung im Zustandsraum sehr viele Vorteile besitzt. Besonders hervorzuheben hierbei ist, dass die Dynamik der Auswertung sich von der Dynamik des Signals weitestgehend entkoppeln lässt.

Zum Abschluss der Arbeit wurden einfache Modifikationen des Wiener-Filters vorgeschlagen, mit dem auch nicht-lineare Signalmodelle behandelt werden können. Die Leistungsfähigkeit des vorgeschlagenen nicht-linearen Schätzers stellte sich als ähnlich gut wie die des ursprünglichen Wiener-Filters heraus.

Dass die Auswertung von Messsignalen mittels Zustandsraummodellen theoretisch ein hohes Potential birgt, wurde nachgewiesen. Vor allem zeigt sich, dass Sensorsysteme denen bisher aufgrund einer zu langsamen Dynamik eine praktische Nutzung verwehrt blieb,

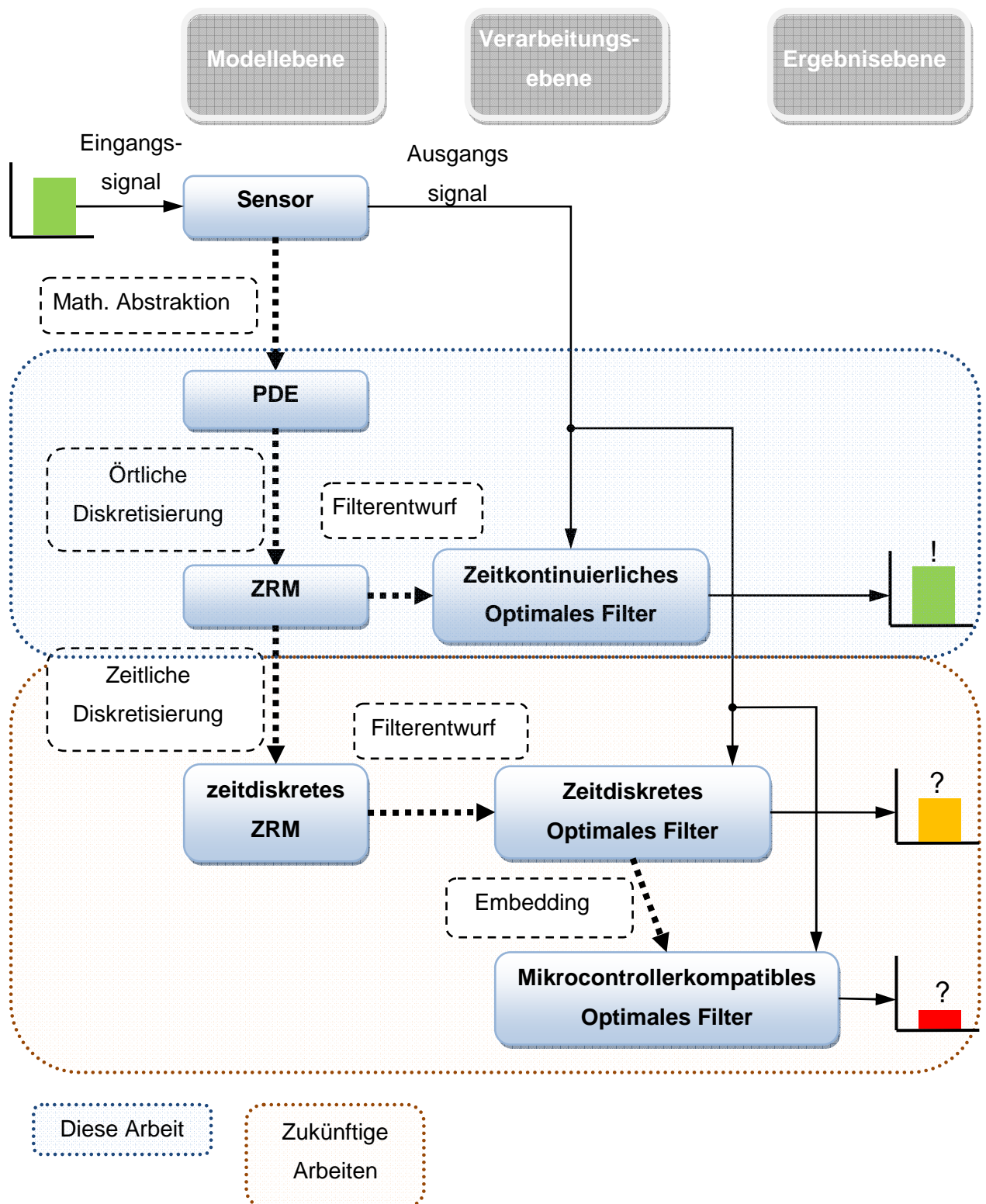
mithilfe einer beschleunigten Auswertung des Sensorsignals im Zustandsraum neu betrachtet werden können und müssen.

Die vorliegende Arbeit könnte deshalb „Stein des Anstoßes“ sein, dieses Ziel weiter und intensiv zu verfolgen. Bis zur Realisierung einer integrierten Lösung gilt es jedoch, noch sehr viel Energie aufzuwenden.

Es gilt zunächst, die an kontinuierlichen Systemen aufgezeigten Möglichkeiten in diskreten Systemen umzusetzen und zu überprüfen ob die gute Performance auch weiterhin gewährleistet werden kann. Bei der Umsetzung in diskrete Form sind Probleme wie Stabilität und Fehlerfortpflanzung zu beachten, die in der vorliegenden Arbeit übergangen wurden. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob sich eine stabile Lösung mit guter Performance überhaupt ökonomisch, also auf Basis eines kommerziellen Mikrocontrollers implementieren lässt. Auch hier ist der Nachweis erst noch zu erbringen.

Eine weitere interessante Perspektive, die sich aus den Ergebnissen der Arbeit ergibt, ist die Untersuchung der Anwendung des einfach konstruierten nicht-linearen Wiener-Filters auf andere Signalmodelle und Nichtlinearitäten. Die sehr guten Eigenschaften, welche hier nur phänomenologisch untersucht wurden, müssten noch tiefergehend mit Methoden der Analytik betrachtet werden.

Bis zur Entwicklung eines Sensorsystems, welches für beliebige gasförmige Analyten die Eigenschaften Selektivität, Sensitivität und hohe Dynamik ähnlich gut in sich vereint wie es der in der Einleitung erwähnte „menschliche Geruchssinn“ schafft, gilt es auf dem Feld der massensensitiven Gassensorik noch sehr viel Arbeit aufzuwenden. Was der Evolution Jahrmillionen abverlangt hat, vermag auch der Mensch nicht in wenigen Jahren nachzuahmen.



**Abbildung 68:** Allgemeines Schema der Entwicklung einer auf Zustandsraummodellen basierenden Sensorsignalverarbeitung