

Abschlussbericht zum Entwicklungsprojekt
**„Reduzierung von Frischwasserverbrauch und
Abwasseraufkommen durch Spülwasser- und
Prozessmedienüberwachung in Haushalt und Industrie“**
(Kurztitel „Kombisensor für intelligente Spülmaschinen“)

gefördert unter dem Az: 17324 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



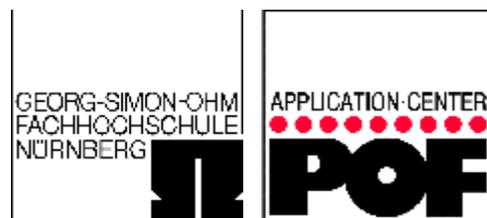
Laufzeit: 01.10.2001 – 31.08.2005

durchgeführt von: emz-Hanauer GmbH & Co. KGaA
Siemensstrasse 1
92507 Nabburg



emz-Projektleiter: Johann Schenkl, Hans Fleischer

durchgeführt in Kooperation mit:



Nabburg im Oktober 2005

Projektkennblatt hier einfügen!

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	5
1. Zusammenfassung	7
2. Einleitung	8
3. Zielstellung	10
4. durchgeführte Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse	12
4.1. konzeptionelle Arbeiten zum Projektstart	12
4.2 Entwicklung einer neuen Sensoroptik zur Trübungsmessung	12
4.3 Erforschung der Signalerfassung zur Bestimmung des Spülwassers	16
4.4 Entwicklung des Kombisensors	24
4.4.1 Sensorkonzept	24
4.4.2 mechanischer Aufbau	24
4.4.3 Temperaturmessung	26
4.4.4 Trübungsmessung	26
4.4.5 Druckmessung	26
4.4.6 Leitwertmessung	27
4.4.7 Elektronikentwicklung	31
4.4.8 Softwareentwicklung zur Datenauswertung	31
4.4.9 Prototyp des Kombisensors	33
4.5 anwendungsbezogene interne Versuchsreihen	33
4.5.1 Zusammenhang zwischen Trübungssignalen und Waschmittelkonzentrationen	33
4.5.2 Versuchsreihen zur Ermittlung freier Tenside im Spülwasser	34
4.5.3 Versuchsreihen zur Ermittlung der in der Praxis erzielbaren Effekte	34
4.6 Vorbereitung von Versuchsreihen bei Spülmaschinenherstellern	41
5. Fazit	42
Anhang	45

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

<u>Abb. 1:</u> Abnahme von Energie- und Wasserverbrauch von Spülmaschinen (Quelle: HEA, AEG)	8
<u>Abb. 2:</u> Funktionsweise des neuartigen Sensors	10
<u>Abb. 3:</u> Lösungsansatz zur Entwicklung eines Kombisensors	10
<u>Abb. 4:</u> grundsätzlicher Aufbau des ausgewählten Konzeptes für den Sensorkopf	13
<u>Abb. 5:</u> Muster des neu entwickelten Sensorkopfes mit zwei Messstrecken	14
<u>Abb. 6:</u> Trübungsmessung mit neuem Sensor (Signalverlauf kurze und lange Messstrecke sowie Quotientenbildung)	15
<u>Abb. 7:</u> Berechnung und Simulation der Strahlengänge beim optimierten Sensorkopf	15
<u>Abb. 8:</u> In den Pumpensumpf der Spülmaschine integrierte Sensoren zur Machbarkeitsstudie Multisensor (Laboraufbau mit Trübungssensor (2 Lichtstrecken), Temperatursensor, pH-Wert-Sensor (Glaskolben), unterschiedliche Leitwertsensoren, Drucksensor (angeschlossen über einen Schlauch))	16
<u>Abb. 9:</u> Beispiel der Signalerfassung und -auswertung mit der im Projekt entwickelten Messsoftware (Verlauf der Trübungs- und Drucksignale)	17
<u>Abb. 10:</u> Unterscheidung von Zuständen des Spülprozesses durch Auswertung aller Sensorsignale	19
<u>Abb. 11:</u> Erkennung der Verschmutzung (Vorspülgang) aus einer Zeitreihenanalyse	19
<u>Abb. 12:</u> Auswertung: Welche Signale tragen zur Berechnung der Verschmutzung bei?	20
<u>Abb. 13:</u> Berechnung der Verschmutzung im Vorspülgang anhand eines reduzierten Datensatzes (Trübung und Leitwert) und nach Glättung der Messwerte	20
<u>Abb. 14:</u> Berechnung unterschiedlicher Verschmutzungsgrade aus den Messwerten	22
<u>Abb. 15:</u> abweichende Spülmittelkonzentrationen, erkennbar aus den Messergebnissen	22
<u>Abb. 16:</u> Art des Reinigers (Tabs, Flüssig-, Pulver-), erkennbar aus den Messergebnissen	23
<u>Abb. 17:</u> Konzept für den modularen Sensoraufbau mit Datenbus	24
<u>Abb. 18:</u> Konzept zum serientauglichen Aufbau des Kombisensors	25
<u>Abb. 19:</u> Kombisensor (links: mit größerer Leiterplatte für Versuche, rechts: Endausbaustufe)	25
<u>Abb. 20:</u> entwickelte Schaltung mit Druckelement für den Drucksensor	27

<u>Abb. 21</u> : Laboraufbau zum Vermessen verschiedener Elektrodenkonfigurationen, Versuchsmuster und korrodierte Elektrode in Mikroskopaufnahme	29
<u>Abb. 22</u> : Messaufbau für Grundlagenversuche zur Leitwertbestimmung in Waschmedien	30
<u>Abb. 23</u> : Bildschirmoberfläche der entwickelten Software zur Signalkommunikation	32
<u>Abb. 24</u> : ermittelter Zusammenhang zwischen Trübung und Waschmittelkonzentration	33
<u>Abb. 25</u> : Beispiele für vorbereitetes Geschirr zur Versuchsdurchführung (Dessertteller Spinat: oben halbe, unten volle Anschmutzung, links angeschmutzt, Mitte vorgespült, rechts komplett gespült)	35
<u>Abb. 26</u> : Beispiele für vorbereitetes Geschirr zur Versuchsdurchführung (Kaffeeteller: oben halbe, unten volle Anschmutzung, links angeschmutzt, Mitte vorgespült, rechts komplett gespült)	35
<u>Abb. 27</u> : Auswertung der Messsignale anwendungsnahe Versuchsreihen	38
<u>Abb. 28</u> : Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: 1,5-fache Verschmutzung gemäß Norm)	39
<u>Abb. 29</u> : Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: ¼-Verschmutzung gemäß Norm)	39
<u>Abb. 30</u> : Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: halbe Verschmutzung gemäß Norm)	40
<u>Abb. 31</u> : Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: volle Verschmutzung gemäß Norm)	40
<u>Abb. 32</u> : mögliche Anwendung des Kombisensors zur Steuerung des Spülprozesses	42

1. Zusammenfassung

Etwa 59 % der deutschen Haushalte besitzen eine Geschirrspülmaschine, d.h. mehr als 20 Mio. Geräte sind im Einsatz. Zwar verbrauchen moderne Geschirrspüler weniger Wasser als beim Abwaschen per Hand benötigt wird, es fällt jedoch weiterhin ein hoher Anteil des Wasser- und Energieverbrauchs im Haushalt auf das Geschirrspülen (bei Antragstellung wurde für Deutschland von ca. 42 Mio. m³ Wasserverbrauch ausgegangen).

Innerhalb des vorliegenden Projektes entwickelte emz einen neuartigen, modularen Kombisensor für Geschirrspülmaschinen, mit dem bereits innerhalb der ersten 5 Minuten des Vorspülganges die Prozessparameter erfasst und mittels speziellem „Vorhersagemodul“ so ausgewertet werden, dass Aussagen zum Verschmutzungsgrad des Geschirrs möglich sind. Hierzu wird einerseits auf eine völlig neuartige Weise die Trübung in Spülmedien gemessen, andererseits werden weitere Signale, wie Temperatur, Leitwert und Druck, direkt im Spülprozess erfasst und mit einem neuen, zum Patent angemeldeten Verfahren ausgewertet.

Umfangreiche Laborversuche mit speziell umgerüsteten Spülmaschinen unterschiedlicher Hersteller zeigen, dass aus den Sensorsignalen neben genauen Aussagen zum realen Verschmutzungsgrad des Geschirrs und Reinigungserfolg auch weitere Aussagen zum Spülprozess abgeleitet werden können, wie Art und Menge des Reinigungsmittels, tatsächliche Beladung der Maschine, eine eventuelle Filterverschmutzung, eine genaue Wasserleveldosierung, das Auflöseverhalten des Reinigers, Fehldosierungen des Reinigers usw..

Auf Basis dieser Projektergebnisse soll nun in einer weiteren Projektphase die Integration der Kombisensoren und „Vorhersagemodule“ in Serien-Geschirrspülmaschinen untersucht werden, wozu die Signale in der Maschinensteuerung umgesetzt werden müssen.

Es können somit erhebliche Einsparpotenziale beim Wasser- und Energieverbrauch erschlossen werden. Denkbar ist beispielsweise ein vorzeitiger Abbruch des Spülens, die Einsparung von Zwischenspülprozessen, eine erneute Verwendung von Spülwasser (ggf. teilweise Mehrfachnutzung von Spülwasser) usw.. Hochrechnungen ergeben ein Einsparpotential zwischen 5 und 10 Mio. m³ Wasser und Abwasser sowie ca. 360 MWh Energie pro Jahr für Deutschland.

Von einer wirtschaftlichen Umsetzung der Ergebnisse wird ausgegangen, da die Sensortechnik bei einer Serienproduktion in entsprechender Stückzahl zu einem Verkaufspreis von max. 10 EUR pro Sensor vermarktet werden könnte.

2. Einleitung

Geschirrspülmaschinen tragen in Deutschland zu einem erheblichen Anteil zum hohen Frischwasserverbrauch im Haushalt bei. Berechnungen auf Basis von Verbrauchsdaten marktverfügbarer Geräte gingen bei der Projektplanung (ca. 20 Mio. Haushalte mit Geschirrspülmaschinen, ca. 150 Spülvorgänge, mind. je 14 Liter) von einem Wasserverbrauch von 42 Mio. m³ aus.

Strom- und Wasserverbrauch von Spülmaschinen gingen in den letzten Jahren kontinuierlich zurück. Moderne Geräte verbrauchen mittlerweile oft weniger Energie und Wasser als das manuelle Spülen im Spülbecken. So hat sich der Wasserverbrauch von Spülmaschinen pro Waschvorgang von 65 Liter in 1976 auf ca. 14 Liter in 1999 deutlich reduziert. Ebenso wurde der Energieverbrauch von 2,6 kWh in 1976 auf nur noch 1,05 kWh in 1999 gesenkt. Seit 1999 sind nur noch geringfügige Änderungen feststellbar, so dass das Reduzierungspotenzial scheinbar ausgeschöpft ist.

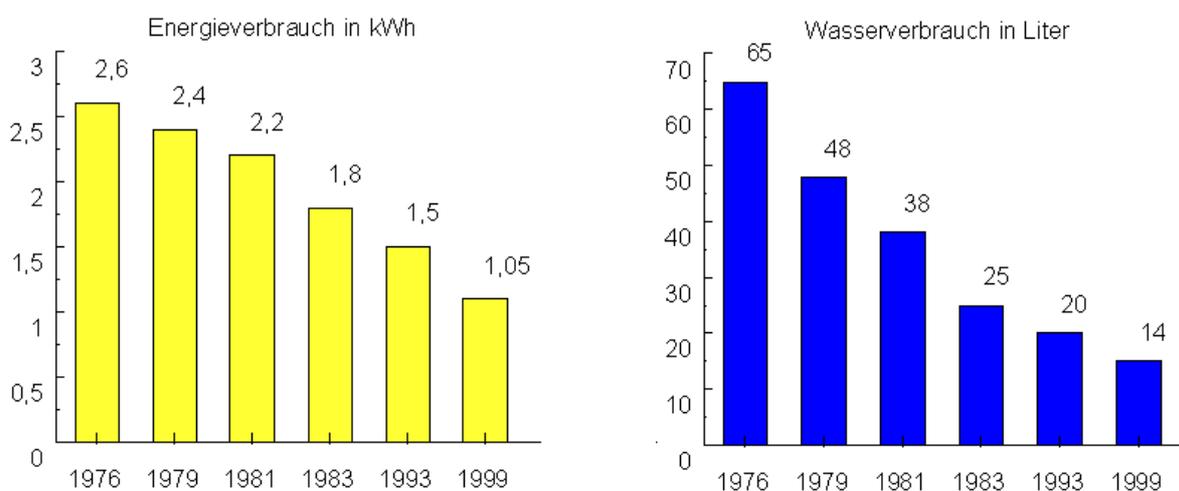


Abb. 1: Abnahme von Energie- und Wasserverbrauch von Spülmaschinen (Quelle: HEA, AEG)

Deutlich erkennbar sind die Anstrengungen der Hersteller zur Minimierung des Energie- und Wasserverbrauchs. Auch ist die Kaufentscheidung des Kunden wesentlich von den Betriebskosten und Umweltdaten der Geräte abhängig. Auskunft über Energie-Effizienz, Reinigungswirkung und Trocknungswirkung der Geräte geben sog. „Euro-Label-Werte“ (A bis G).

Standardmaschinen arbeiten je nach eingestelltem Reinigungsprogramm eine fest vorgegebene Anzahl von Wasch- und Spülvorgängen ab. Im Spülprozess kann somit nicht auf den tatsächlich noch gegebenen Verschmutzungszustand des Geschirrs reagiert

werden. Bei der Auslegung der Programme wird darauf geachtet, dass das Geschirr möglichst sicher sauber ist. Um auch starke Verschmutzungen zu beseitigen, wird deshalb häufig noch gewaschen bzw. gespült, wenn das Geschirr längst sauber ist.

Untersuchungen namhafter Gerätehersteller hatten vor Projektbeginn gezeigt, dass bei ca. 60 % aller Spülvorgänge ein vorzeitiger Abbruch möglich wäre, da das Geschirr bereits sauber ist. Hieraus errechnete sich bei Antragstellung ein erhebliches Einsparpotential an Frischwasser (8,1 Mio. m³) und somit auch Abwasser sowie Energie (ca. 360 MWh) pro Jahr.

Um auf den tatsächlichen, aktuellen Reinigungserfolg mit einem vorzeitigen Abbruch des Prozesses reagieren zu können, ist es erforderlich, den Zustand des Geschirrs beispielsweise über die Qualität des Spülwassers kontinuierlich im Prozess zu überwachen. Hierzu wurden bereits vor Projektbeginn in einigen Maschinentypen Trübungssensoren eingesetzt, die eine Bewertung der Trübung des Spülwassers gestatten. Die vor Projektbeginn am Markt vorhandenen Trübungssensoren (emz ist im relevanten Bereich Marktführer) wiesen jedoch diverse technische und wirtschaftliche Nachteile auf, so dass das vorgesehene Einsparpotenzial nur teilweise genutzt werden kann. Dies bestätigt ein aktueller Test der Stiftung Warentest (10/2004): Hier wurden Geschirrspülmaschinen mit Sensorsteuerung geprüft – Fazit: *„Enttäuschendes Ergebnis... Die Automatik schläft. Zwar immer sauberes Geschirr. Doch auch der Energie- und Wasserverbrauch ist immer gleich ... Erst als wir im letzten Durchgang dreimal ganz sauberes Geschirr spülen, wacht die Automatik auf und regelt den Strom- und Wasserverbrauch herab.“*. Resümee von Stiftung Warentest war, dass derzeit gut eingestellte Standardprogramme bei geringeren Kosten der Spülmaschinen wirtschaftlicher sind als Maschinen mit Sensorsteuerung.

Diese negativen Testergebnisse bestätigen zwar nicht die Erfahrungen der Hersteller (dort wird eine Einsparung von Wasser, Abwasser und Energie nachgewiesen), zeigen jedoch deutlich die Probleme des Standes der Technik: Die derzeit verfügbaren Trübungssensoren haben erhebliche Einschränkungen: So führt eine zu schnelle Alterung, Temperaturdrift sowie ein möglicher Beschlag des Sensors (der hierdurch „blind“ wird) dazu, dass die Messwerte nicht dauerhaft zuverlässig sind, so dass die Maschinenprogramme mit Sicherheitsfaktoren eingestellt werden. Technisch und kostenseitig aufwendige Messsysteme sind hingegen für einen breiten wirtschaftlichen Einsatz in Spülmaschinen nicht geeignet. **Das umwelt- und kostenseitig mögliche Einsparpotential kann deshalb beim derzeitigen Stand der Technik nicht optimal und weit verbreitet in allen Serien-Spülmaschinen erschlossen werden.**

3. Zielstellung

Die vorstehend beschriebenen Mängel des Standes der Technik einerseits sowie das Potenzial zum Erschließen von Umweltvorteilen andererseits waren die Basis zur Planung des vorliegenden Projektes. Hierbei wurden zwei Schwerpunkte definiert:

1. Entwicklung eines neuartigen Trübungssensors: Ein zum Patent angemeldeter neuer Aufbau des Sensorkopfes (siehe Abb. 2) mit zwei unterschiedlich langen Messstrecken im Wasser sollte die systematische Eliminierung von Messfehlern durch ein Referenzsignal ermöglichen (z. B. Störungen aufgrund dauernder Verschmutzungen der Oberfläche des Sensors, Änderungen der Sendeleistung bzw. durch die Temperatur des Wassers oder Alterung).

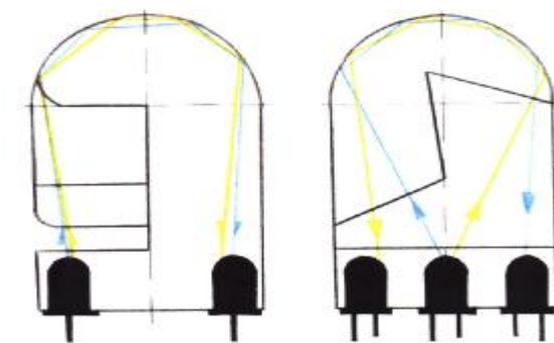


Abb. 2: Funktionsweise des neuartigen Sensors

2. Entwicklung neuartiger Kombisensoren für Spülmaschinen, mit denen zusätzliche Messsignale erfasst werden, um das Spülergebnis besser beurteilen zu können.

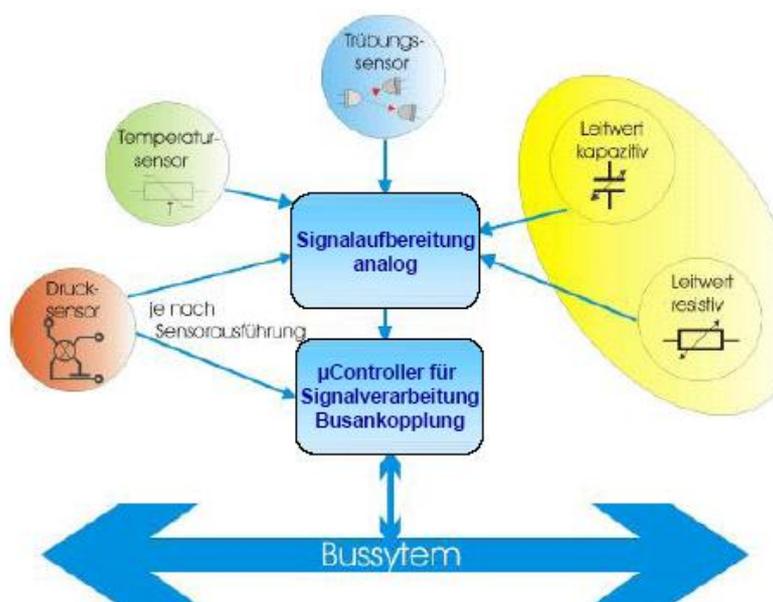


Abb. 3: Lösungsansatz zur Entwicklung eines Kombisensors

Die Durchführung des F&E-Projektes wurde gemäß den genannten Schwerpunkten in **zwei Phasen** unterteilt:

Phase I: Entwicklung eines Trübungssensors nach dem neuen, patentierten Lösungsansatz sowie Ermittlung der Grundlagen zur Einbeziehung weiterer Messgrößen und Erzielung technischer/umweltseitiger Vorteile

Phase II: Entwicklung des Kombisensors durch Integration weiterer Sensorelemente in das System und Nachweis der hierdurch erzielbaren technischen / umweltseitigen Vorteile (z.B. zusätzlich Einsparung von Waschmittel)

Folgende Projektergebnisse waren geplant:

- è Vorstellung eines Prototyps des neuen Trübungs- und Kombisensors zum Einsatz in „intelligenten“ Spülmaschinen
- è Nachweis des Potenzials dieses Kombisensors zur Erzielung deutlicher Einsparungen von Frischwasser- und Energiebedarf sowie Abwasseraufkommen und Waschmittelverbrauch gegenüber dem bisherigen Stand der Technik in Versuchsreihen
- è Wirtschaftlichkeitsnachweis des Kombisensors durch Ermittlung der im Praxiseinsatz erzielbaren Einsparungen und Gegenüberstellung zu den notwendigen Mehrkosten

4. durchgeführte Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

4.1. konzeptionelle Arbeiten zum Projektstart

Nach dem Projektstart wurden zunächst die Anforderungen an den Trübungs- und Kombisensor definiert, wozu auch aktuelle Recherchen zum Stand der Technik sowie Patentrecherchen durchgeführt wurden, die Messausstattung abgeklärt und Konzepte zur Automatisierung der Probenentnahme und/oder -vermessung im Spülprozess erstellt wurden. Ferner fanden erste Gespräche mit einem Waschmittelhersteller statt, um die chemischen Randbedingungen der Spülmittel zu berücksichtigen.

Die Anforderungen an den zu entwickelnden Kombisensor wurden im Kontakt mit diversen nationalen und internationalen Spülmaschinen- und Waschmaschinenherstellern definiert. Weiterhin bestätigte sich in Umfragen der Trend zum Multisensor. Insbesondere war der Wunsch der Kunden nach einer Kombination mindestens von Trübungs- und Temperaturmessung klar erkennbar. Die nächste Priorität wurde einer Leitwertmessung zugewiesen.

Zu den konzeptionellen Arbeiten der ersten Projektphase zählten weiterhin Vorversuche mit diversen marktverfügbaren Sensoren, beispielsweise Vorstudien zur Temperaturmessung und zur Auswahl geeigneter Druckmesssensoren.

4.2 Entwicklung einer neuen Sensoroptik zur Trübungsmessung

Entwicklungsschwerpunkt der ersten Projektphase war die Umsetzung des von emz vor Projektbeginn patentierten Konzeptes eines neuen Messkopfes (siehe Abb. 2).

Zunächst wurden Vorversuche und Messungen mit Musterteilen des Sensorkopfes durchgeführt. Die optische Konstruktion entsprach hierbei zunächst dem im Patent geplanten neuen Aufbau. Erste Messungen zeigten, dass mit dem neuen Prinzip des Messkopfes deutliche Verbesserungen der Signalgüte im Vergleich zu bisher marktüblichen Trübungssensoren erreicht werden können. Andererseits wurden aber auch weiterhin (wenn auch deutlich geringere) Stör- und Quereffekte festgestellt, die zu Beeinträchtigungen der Signalaufnahme des Trübungswertes führten (z.B. durch eventuelle Beläge auf dem Sensorkopf und Luftblasen im Messraum).

Anschließend wurde mit Unterstützung der Fachhochschule Nürnberg der optische Aufbau des Sensorkopfes wesentlich weiter entwickelt, um die Signalaufnahme zu optimieren. Hierzu wurden diverse Simulationsrechnungen erstellt und mehrere Lösungswege

untersucht. Beispielsweise wurde die Integration von Lichtwellenleitern in den Messkopf, die Einarbeitung spezieller „Messfenster“ und spezielle eingearbeitete Linsensysteme untersucht.

Aus den Simulationsrechnungen der FH Nürnberg folgten Konturberechnungen, die Ermittlung der Positionen der Bauelemente und diverse neue Konstruktionen des Sensorkopfes. Ebenso wurden optische Einflüsse, die sich aus den Materialien und durch die Fertigungstechnik ergeben, sowie Wasserkanal- und Verlustfaktoren einbezogen. Intensiv analysiert wurden weiterhin am Markt verfügbare Sende- und Empfangsbauelemente (z.B. Abstrahlverhalten, Ausgangsleistung und Preis der LEDs, Empfangsprofile, Störimpfindlichkeit und aktive Sensorfläche der Sendedioden), um geeignete Bauteile auszuwählen. Durchgeführt wurden ferner Referenzmessungen in Standardlösungen.

Der prinzipielle Aufbau des Sensorkopfes ist in Abb. 4 dargestellt:

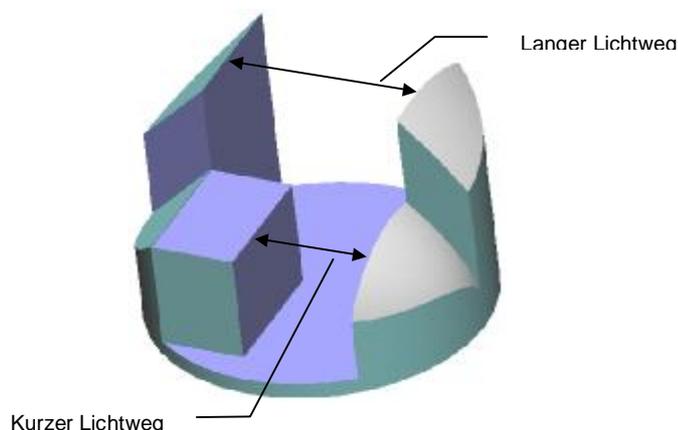


Abb. 4: grundsätzlicher Aufbau des ausgewählten Konzeptes für den Sensorkopf

Zur Herstellung von Versuchsmustern der neuen Sensorköpfe wurden Versuchswerkzeuge konstruiert und hergestellt.

Versuche mit ersten Mustern verdeutlichten Probleme, beispielsweise im Übersprechen der zwei Messkanäle, so dass weitere Optimierungen des Sensoraufbaus notwendig waren. So wurde beispielsweise die Strahlentrennung der beiden Messkanäle verbessert und der konstruktive Aufbau des Sensors mehrfach optimiert (z.B. Verlängerung des Sensorkopfes, zur Reduzierung der Wärmeableitung und Reduzierung der Verluste bei der Temperaturmessung, die zu Signalverfälschungen führten). Diese Optimierungen erforderten selbstverständlich auch entsprechende Anpassungen des Werkzeuges.

Zum Abschlusstermin der 1. Projektphase konnten mehrere Versuchsmuster für den neuen Trübungssensor vorgestellt werden, bestehend aus Hülle, Lichtleiter, Sender, Empfänger und Blende, bei dem die Quereffekte Streuung durch Material und Messmedium (Rückkopplung) in Versuchsreihen qualifiziert und quantifiziert wurden (siehe Abb. 5). Ebenso wurden die fertigungstechnischen Einflüsse erfasst, wie Spritzfließrichtung, Oberflächenbeschaffenheiten und Auswerferpositionen. Es gelang, die Störstrahlungen konstruktiv zu minimieren und Regeln für die Fertigung des Teils zu definieren. Auch wurden geeignete Bauelemente für Sender und Empfänger ausgewählt.



Abb. 5: Muster des neu entwickelten Sensorkopfes mit zwei Messstrecken

Messreihen mit Sensormustern verdeutlichten insbesondere folgende Vorteile der Trübungsmessung mit zwei Messstrecken gegenüber dem bisherigen Stand der Technik:

- § Bei Quotientenbildung wird ein Faktor erfasst – eine wiederholte Kalibrierung entfällt.
- § Durch Quotientenbildung ist das Trübungssignal temperaturunabhängig.
- § Anschmutzung und Schmutzablösung werden zu Beginn der Spülphase erkannt.
- § Restanschmutzung und Ablösung werden im Reinigungsprozess in Echtzeit bewertet.

In der 2. Projektphase wurden weitere Versuche zum optischen / konstruktiven Sensoraufbau durchgeführt und Optimierungen der Strahlführung durch Strahlaufspaltung per „Linsenbruch“ und Aufspaltung durch „Flächeneigung“ untersucht. Eine deutliche Optimierung der Messergebnisse ergab sich durch Integration einer neuen Linse (genannt „Popo-Linse“) und von Parabolloiden (siehe optimierte Strahlführung in Abb. 7).

Als Abschlussergebnis dieses Projektschwerpunktes wurde ein völlig neuer optischer Aufbau des Sensorkopfes erreicht. Das wesentliche Merkmal ist die Quotientenmessung mittels Zwei-Wege-Verfahren: Die mittels IR-Leuchtdiode erzeugte Strahlung wird geteilt und durch zwei unterschiedlich lange, vom Medium durchströmte, Wege geführt. Die übrig gebliebene Strahlung wird von zwei Phototransistoren empfangen. Aus dem Quotienten beider Signale

kann dann auf die Trübung geschlossen werden. **Durch diese Quotientenbildung werden Fehlereinflüsse durch Alterung, Temperaturabhängigkeit, Beschlag und Materialveränderung kompensiert.** Weiterhin konnte die übertragene Lichtleistung gegenüber bisherigen Trübungssensoren gesteigert werden. Die zwei Messstrecken führen neben den o.g. Vorteilen auch zu einer größeren Auflösung des Anschmutzungsgrades bei gleichzeitig erweitertem Messbereich.

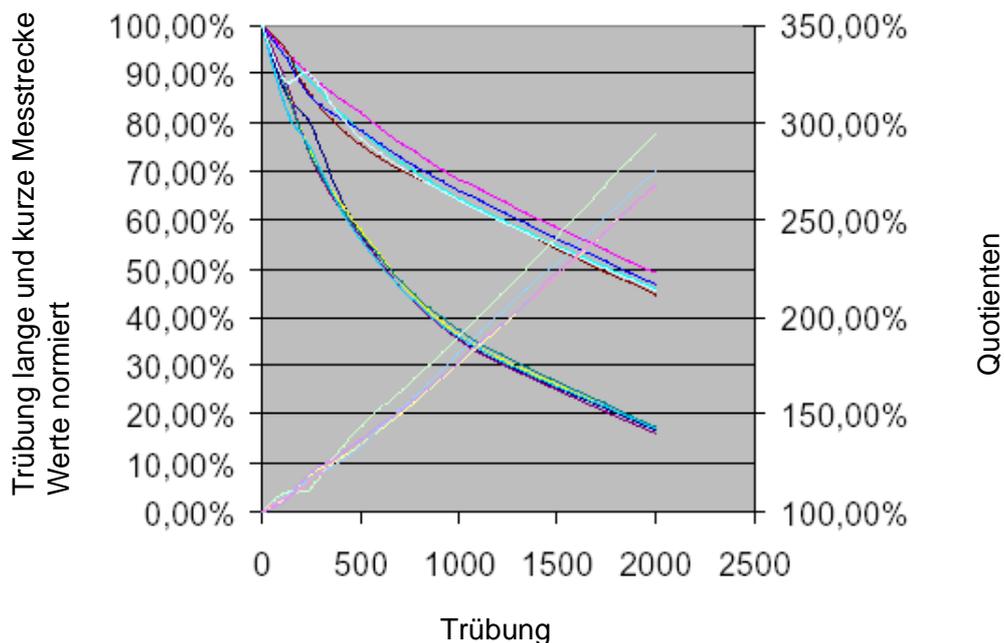


Abb. 6: Trübungsmessung mit neuem Sensor
(Signalverlauf kurze und lange Messstrecke sowie Quotientenbildung)

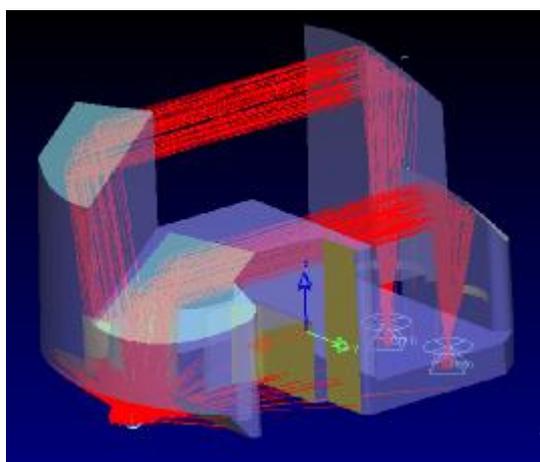


Abb. 7: Berechnung und Simulation der Strahlengänge beim optimierten Sensorkopf

4.3 Erforschung der Signalerfassung zur Bestimmung des Spülwassers

Wesentliches Ziel des Entwicklungsvorhabens war es, im Spülwasser neben der Trübung weitere Messsignale (z.B. Druck, Temperatur, Leitwert) zu erfassen, um die Qualität des Spülprozesses besser beurteilen zu können und somit einen Abbruch bzw. eine Korrektur der Spülprogramme zu ermöglichen. Hierzu sollten in einem sog. Kombi- bzw. Multisensor verschiedene Sensorelemente zur Erfassung der relevanten Signale integriert werden.

In Grundlagenuntersuchungen wurde mit Unterstützung durch das Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) zunächst ermittelt, welche Signale eine Aussage über das Ergebnis des Spülprozesses erlauben bzw. wie die unterschiedlichen Signale zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen. Hierbei kamen Methoden der Multivariaten Verarbeitung von Sensorsignalen zum Einsatz.

Im Labor bei emz wurde ein Versuchsaufbau errichtet, bei dem eine vorhandene Geschirrspülmaschine mit diversen, zunächst handelsüblichen Sensoren und Messgeräten ausgestattet wurde (siehe Abb. 8). Die Messungen der Spülflotte erfolgten mit Ausnahme des optischen Spektrometers im Pumpensumpf. Für das optische Spektrometer wurde zusätzlich eine Probe entnommen und extern vermessen. Sämtliche Daten (z.B. pH-Wert, Leitwert, Temperatur, Trübung, Druck) wurden parallel aufgenommen, mittels eines speziell entwickelten PC-Programms erfasst und anschließend mit Methoden der multivariaten Statistik ausgewertet.

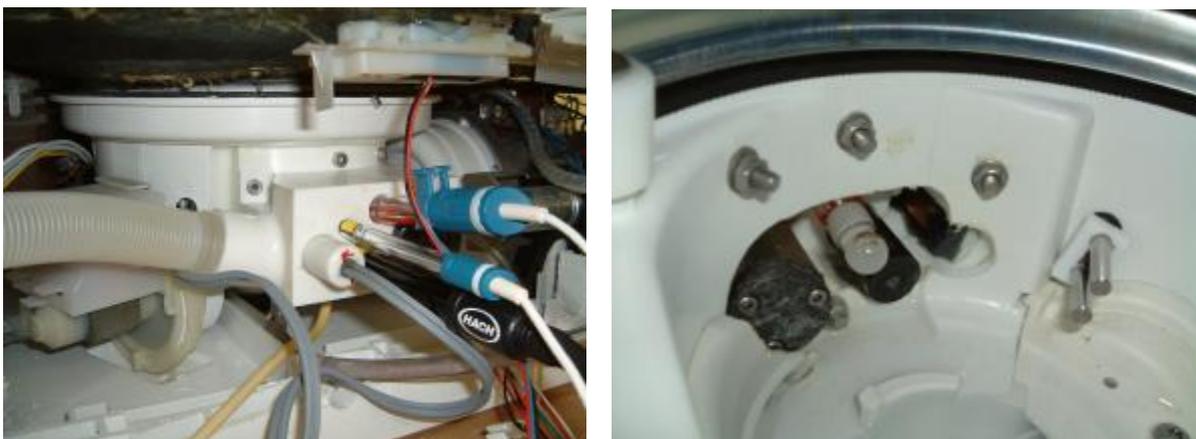


Abb. 8: In den Pumpensumpf der Spülmaschine integrierte Sensoren zur Machbarkeitsstudie Multisensor (Laboraufbau mit Trübungssensor (2 Lichtstrecken), Temperatursensor, pH-Wert-Sensor (Glaskolben), unterschiedliche Leitwertsensoren, Drucksensor (angeschlossen über einen Schlauch))

Für das Messprogramm wurden verschiedene Szenarien erstellt und 4 Messkampagnen geplant (Ablauf von Referenzspülgängen ohne Anschmutzung sowie Messungen mit angeschmutztem Geschirr). Diese Messkampagnen unterteilen sich wie folgt:

- Orientierende Messung mit genügender Statistik.
um festzustellen, ob der Endpunkt eines Spülschrittes festgelegt werden kann.
- Messung bei Änderung der Anschmutzung (halbe Beladung).
um festzustellen, ob die Ergebnisse aus den vorstehenden Messungen auch auf eine geringere Verschmutzung übertragen werden können.
- Messung mit zwei Spülmittelkonzentrationen (50 und 100 %).
um zu erkennen, mit welcher minimalen Spülmittelkonzentration noch eine gute Reinigungswirkung zu erzielen ist und welchen Einfluss die Konzentrationsänderung auf die Sensorik hat.

Die Versuchsreihen waren sehr aufwändig vorzubereiten und durchzuführen. Die Reinigungs- und Spülprozesse wurden nach Normvorgaben und Versuchsplan durchgeführt, die Daten mit der entwickelten Software erfasst und anschließend mit Softwareinstrumenten der multivariaten Statistik am Fraunhofer IZM ausgewertet.



Abb. 9: Beispiel der Signalerfassung und -auswertung mit der im Projekt entwickelten Messsoftware (Verlauf der Trübungs- und Drucksignale)

Die Auswertung der ersten Versuchsreihen ergab zunächst keine durchgängigen Zusammenhänge der Signale.

Es wurden deshalb eine FMEA zur Ermittlung möglicher Fehler im Messaufbau und deren Einfluss auf das Messergebnis durchgeführt sowie die Planung der Versuchsreihen und der Versuchsaufbau nochmals überarbeitet. Hierbei ergaben sich beispielsweise Umstellungen bei der Temperaturerfassung und eine Entfernung der Ansteuerelektronik des Trübungssensors aus der Nähe des Pumpensumpfs, da der Temperatureinfluss der heißen Lauge auf die elektronischen Bauelemente zu groß war. So reduzierte eine externe Ansteuerung des Trübungssensors die Temperaturabhängigkeit um den Faktor 1,5.

Nach Umsetzung dieser Änderungen im Versuchsaufbau und Erstellung einer präzisierten Arbeitsanweisung zur Durchführung der Messungen (Vorbereitung der Messgeräte, Sensoren und des Geschirrspülers, Ablauf der Messungen) wurden die Versuche wiederholt.

Die Auswertung der Messreihen verdeutlichte sehr komplexe Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Messsignalen sowie den Auswirkungen des Prozesses auf die Messergebnisse. Beispielsweise hatte die Aktivierung des Sprüharms (oben oder unten) und dessen Geschwindigkeit einen Einfluss auf die Messergebnisse.

Um diese Zusammenhänge aufzuklären, wurden im Projektverlauf zahlreiche Spülversuche durchgeführt und Messwerte ausgewertet. Während des Vorspülens fielen pro Versuch jeweils ca. 740 Messwerte und beim Hauptspülen ca. 2.850 Messwerte an. Bereits in der ersten Projektphase wurden über 200 Spülversuche und bis zum Projektabschluss 456 Spülversuche mit europäischen und 141 Spülversuche mit amerikanischen Spülmaschinen durchgeführt (untersucht wurde v.a. das Vorspülen, da hier der weitere Prozess am weitesten und günstigsten beeinflusst werden kann). Insgesamt wurden somit mehrere Hunderttausend Messwerte mit Hilfe der multivariaten Statistik am Fraunhofer IZM ausgewertet.

Hierbei zeigte sich bereits als Ergebnis der 1. Projektphase, dass eine Berechnung der Verschmutzung anhand der Sensorsignale nach einer kurzen Zeit des Spülprozesses möglich ist. So lieferte das Trübungssignal neben Aussagen zum Lösen des Schmutzes und zum Reinigungsergebnis auch Informationen zur Spülmittelkonzentration und dem Anteil Klarwasser im Prozess. Diese Parameter können nicht mit einer Signalgröße diskret in Einzelwerte aufgelöst werden. Auch zeigte sich ein Zusammenhang des Reinigungserfolges mit anderen Messsignalen, wie Temperatur und Leitwert. Diese Ergebnisse werden nachfolgend an beispielhaften Auszügen der sehr umfangreichen Auswertungen des Fraunhofer IZM verdeutlicht. **Zusammenfassend wurde der Nachweis erbracht, dass der Reinigungsfortschritt durch Auswertung weiterer Sensorsignale** (neben der Trübung ist

dies v.a. die Temperatur und der Leitwert) während der Spülvorgänge ermittelt werden kann.

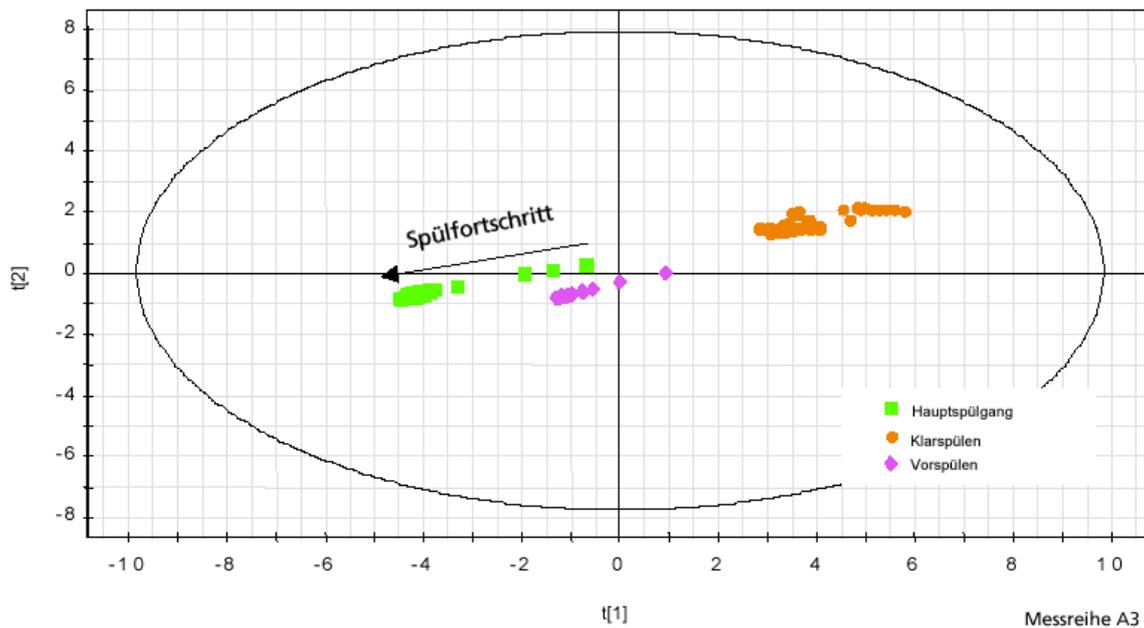


Abb. 10: Unterscheidung von Zuständen des Spülprozesses durch Auswertung aller Sensorsignale

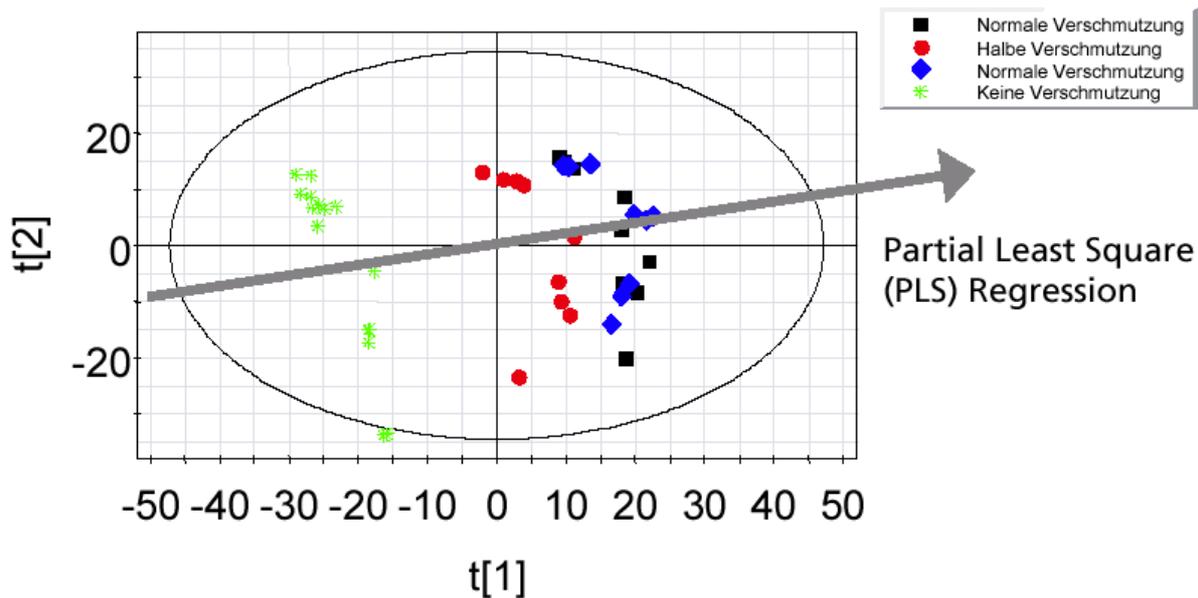


Abb. 11: Erkennung der Verschmutzung (Vorspülgang) aus einer Zeitreihenanalyse

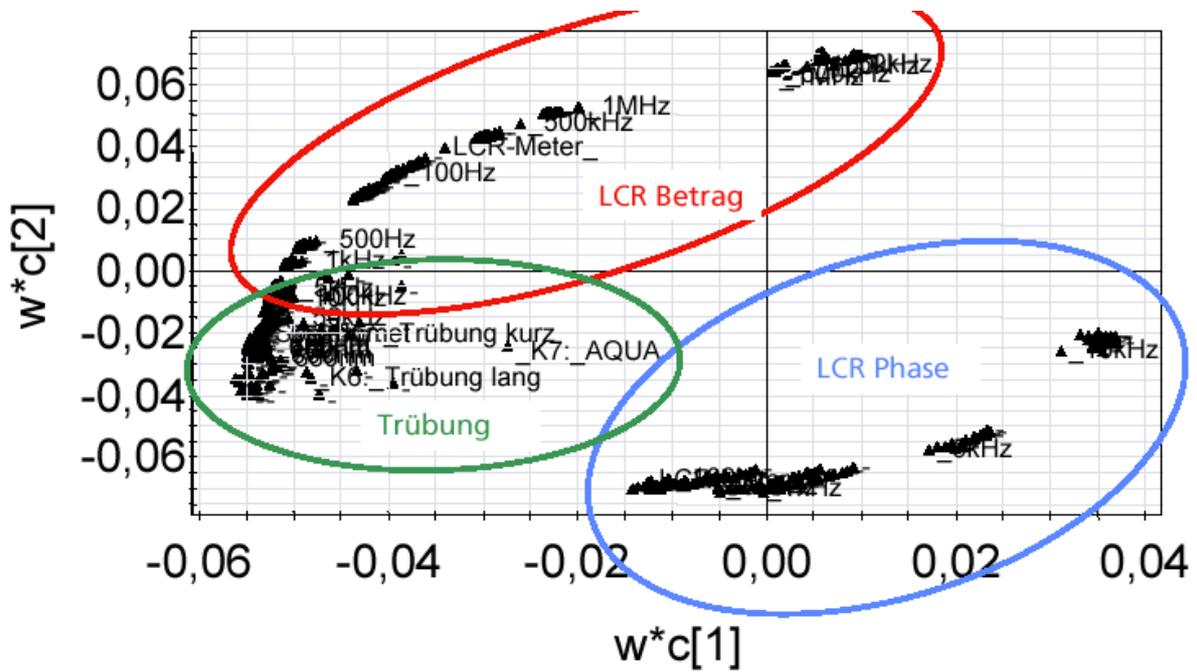


Abb. 12: Auswertung: Welche Signale tragen zur Berechnung der Verschmutzung bei?

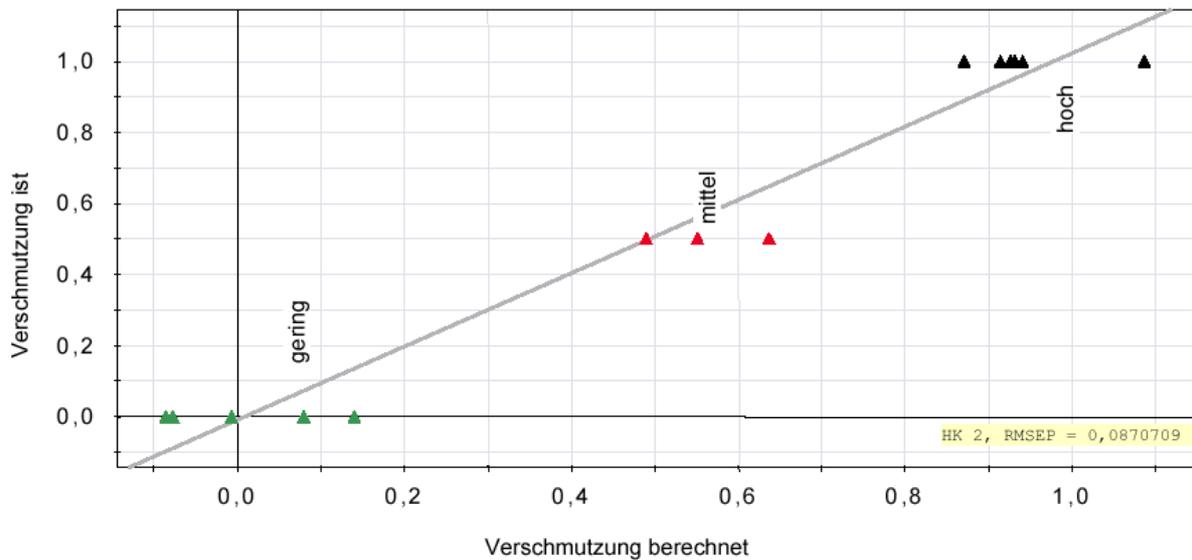


Abb. 13: Berechnung der Verschmutzung im Vorspülgang anhand eines reduzierten Datensatzes (Trübung und Leitwert) und nach Glättung der Messwerte

In der 2. Projektphase wurden weitere gemeinsame F&E-Arbeiten von emz mit dem Fraunhofer IZM zur multivariaten Signalverarbeitung durchgeführt, um eine für den Serieneinsatz geeignete Signalauswertung zu entwickeln und Störsignale zu eliminieren, beispielsweise durch die Kompensierung der Spülarmbewegung bzw. -umschaltung, Glättung der Signale und Reduzierung des Datensatzes für die Signalauswertung.

Schwerpunkt der Untersuchungen war der Vorspülgang. **Als primäres Ergebnis der Arbeiten am Fraunhofer IZM zeigte sich, dass der Anschmutzungsgrad des Geschirrs aus den Messdaten des Vorspülganges errechnet werden kann.** Allerdings konnte für die Normanschmutzung und die reale Anschmutzung kein einheitliches multivariates Modell erstellt werden. Es gelang jedoch, zwei Modelle mit ausreichender bis guter Genauigkeit abzubilden. Da das Modell für reale Anschmutzung deutlich besser als das Modell für die Normanschmutzung ist, liegt nahe, dass die Unterschiede mit großer Wahrscheinlichkeit auf das unterschiedliche Ablöseverhalten beider Anschmutzungsarten zurückzuführen sind. Neben dem Anschmutzungsgrad auch andere Parameter, wie Beladung und Trocknung, aus den Messdaten zu ermitteln, gelang am Fraunhofer IZM nicht, konnte aber mit anderen Methoden erfolgen.

Beim Hauptspülgang zeigten die Analysen des Fraunhofer IZM, dass eine deutliche Änderung der Leitfähigkeit mit entsprechender Temperaturdrift zu erkennen ist. Diese ist letztlich auf Salze als Inhaltsstoffe der Spülmittel zurückzuführen. Damit dürfte die Spülmittelkonzentration über die Leitfähigkeit zu messen sein.

Auf Basis dieser Grundlagenuntersuchungen entwickelte emz ein neues Verfahren zur Auswertung der mit dem Kombisensor in Spülmaschinen erfassten Messwerte, für das zwischenzeitlich ein Patent angemeldet wurde. Mit diesem Verfahren lassen sich die im Abstand von 5 Sekunden erfassten Messwerte bei unterschiedlichen Messfrequenzen und -spannungen so auswerten, dass **bereits nach 5 min Dauer des Vorspülprozesses qualifizierte Daten vorliegen, die eine entsprechende Steuerung des anschließenden Spülprozesses ermöglichen.** Es kann somit ein „Vorhersagemodul“ entwickelt werden, mit dem nach einer zeitlich begrenzten Messung beim Vorspülen, der gesamte anschließende Reinigungsprozess gezielt beeinflusst werden kann.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen, dass die Auswertung der Messwerte zu deutlichen Unterschieden je nach Verschmutzung, Wasch- und Spülmittelart und -konzentration führt.

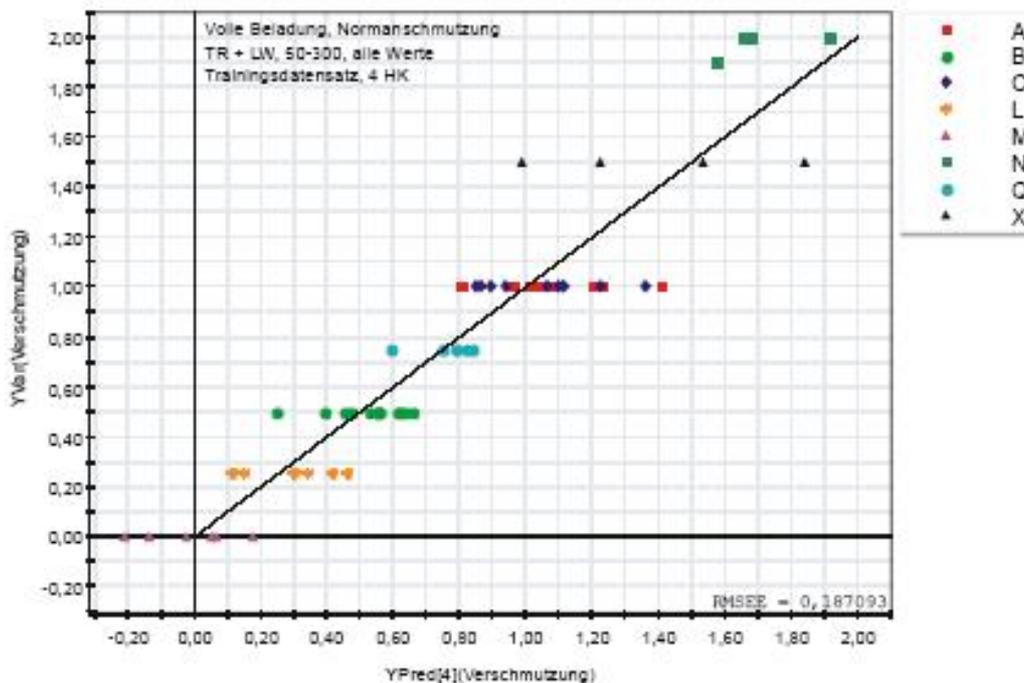


Abb. 14: Berechnung unterschiedlicher Verschmutzungsgrade aus den Messwerten

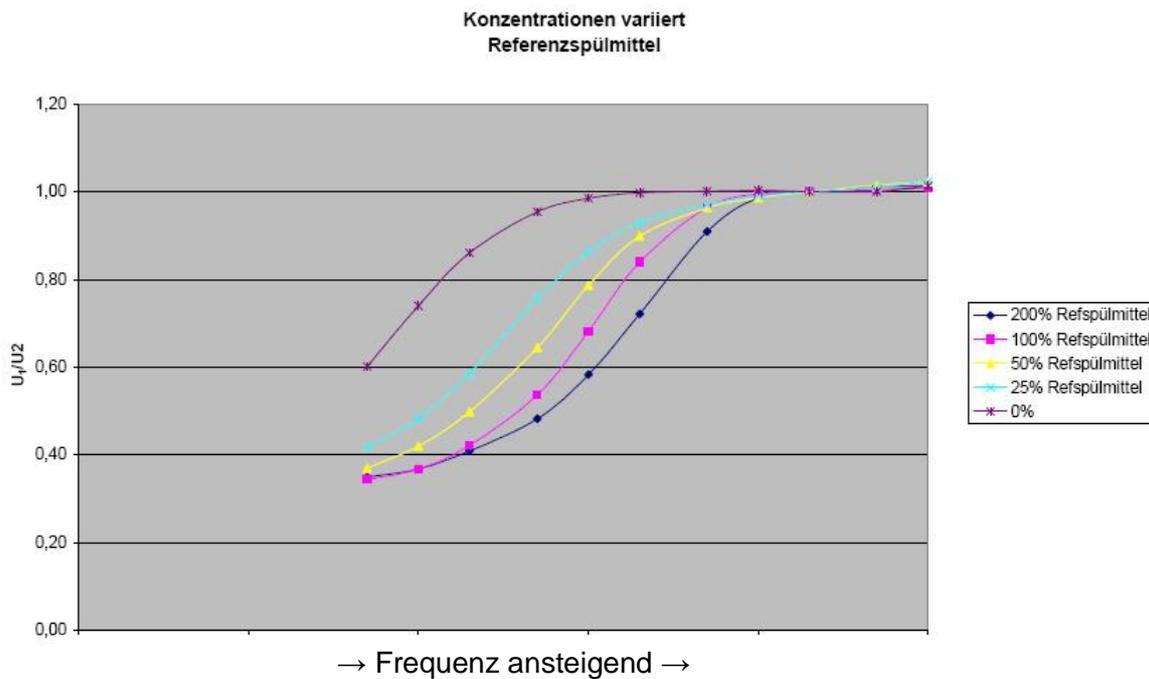


Abb. 15: abweichende Spülmittelkonzentrationen, erkennbar aus den Messergebnissen

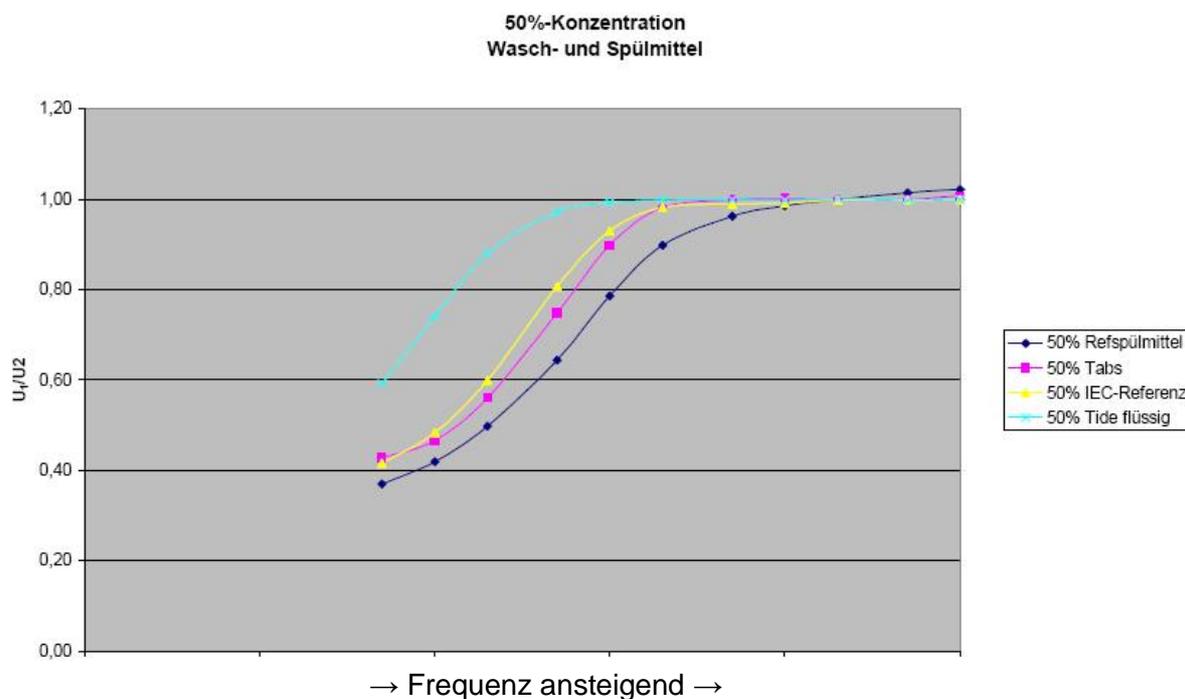


Abb. 16: Art des Reinigers (Tabs, Flüssig-, Pulver-), erkennbar aus den Messergebnissen

Zusammengefasst konnte nachgewiesen werden, dass sich durch eine geeignete Signalauswertung folgende Aussagen aus den Messergebnissen ableiten lassen:

- **Erkennung der Beladung der Maschine** aus den Temperaturwerten (außerdem präzisere Temperatureinstellung des Waschprozesses)
- **Erkennung der Filterverschmutzung** (Durchflusserkennung über Temperaturgradient)
- Aus den Drucksignalen lassen sich die **Wasserleveledosierung**, eine genaue Nachdosierung von Wasser (z.B. falls Wasser durch Behältnisse in der Spülmaschine verloren geht), die **Bewegung des Sprüharms** (inkl. Unterscheidung zwischen Sprüharm oben und unten), eine Kenngröße für den Reiniger zur Schmutzdosierung (**Schaumerkennung**), **Klassifizierung von Schmutz** usw. ableiten.
- Aus dem Leitwert kann sowohl das **Auflöseverhalten des Reinigers**, als auch die **Art der Reinigerzugabe** (über Fach oder Innenraum), die **Art des Reinigers** (Tabs, Pulver-, Flüssig-), die **Menge/Dosierung des Reinigers** und weitere Einflüsse (z.B. in Verbindung mit dem Trübungssignal) erkannt werden.
- Aus dem Trübungssignal lassen sich ein Gradient für die **Lösbarkeit der Verschmutzung**, die erreichte Vorreinigung, eine dynamische Bewertung (z.B. die Bildung von Schaum zeigt Unter- oder Überdosierungen von Reiniger) sowie das **Reinigungsergebnis** (in Verbindung mit anderen Signalen) ableiten.

4.4 Entwicklung des Kombisensors

4.4.1 Sensorkonzept

In der 2. Projektphase wurde ein Prototyp für den Kombisensor entwickelt. Das hierzu zunächst festgelegte Konzept sah einen modularen Aufbau vor, um die vom jeweiligen Anwender gewünschten Sensoren flexibel integrieren zu können. Weiterhin wurde eine Schnittstelle über einen Datenbus vorgesehen, um das System an die übergeordnete Maschinensteuerung bzw. ein spezielles „Vorhersagemodul“ anzuschließen, in dem die Signalauswertung erfolgt.

Modularer Sensoraufbau

Von Low Range bis High End

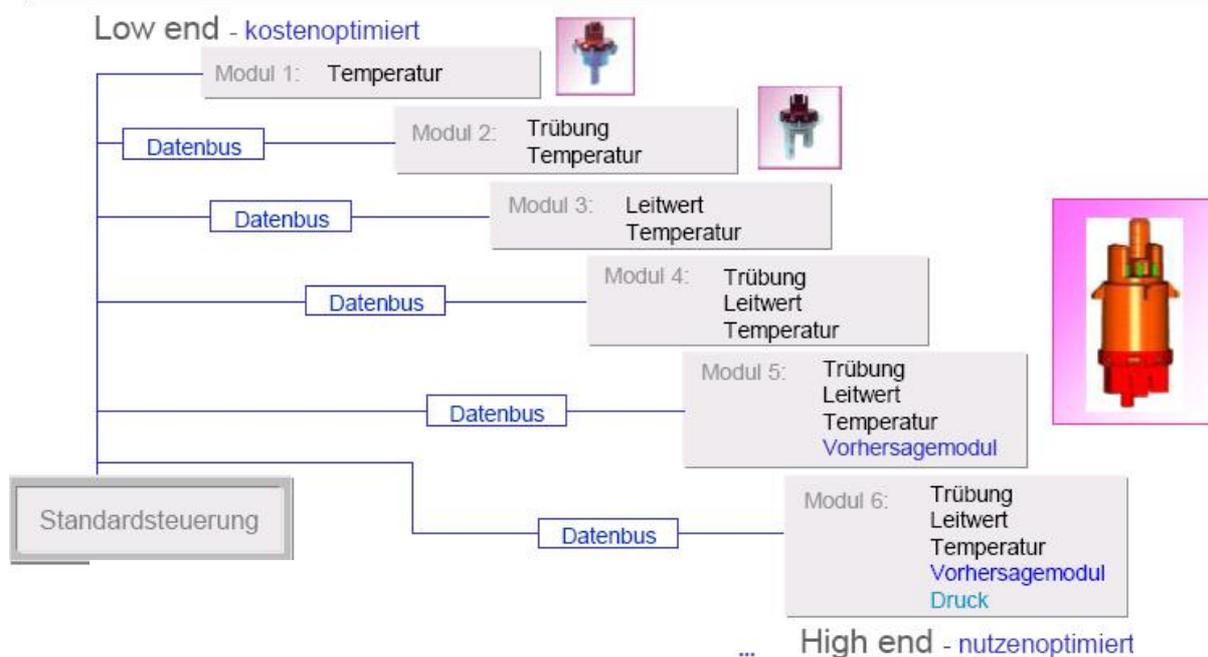


Abb. 17: Konzept für den modularen Sensoraufbau mit Datenbus

4.4.2 mechanischer Aufbau

Der Gesamtaufbau des modularen Sensorsystems wurde von einer FMEA flankierend entwickelt. Das konstruktive Konzept sowie die Anordnung der einzelnen Sensoren wurde funktional und kostenmäßig mehrfach optimiert. In den nachfolgenden Abbildungen ist das endgültige Konzept dargestellt:

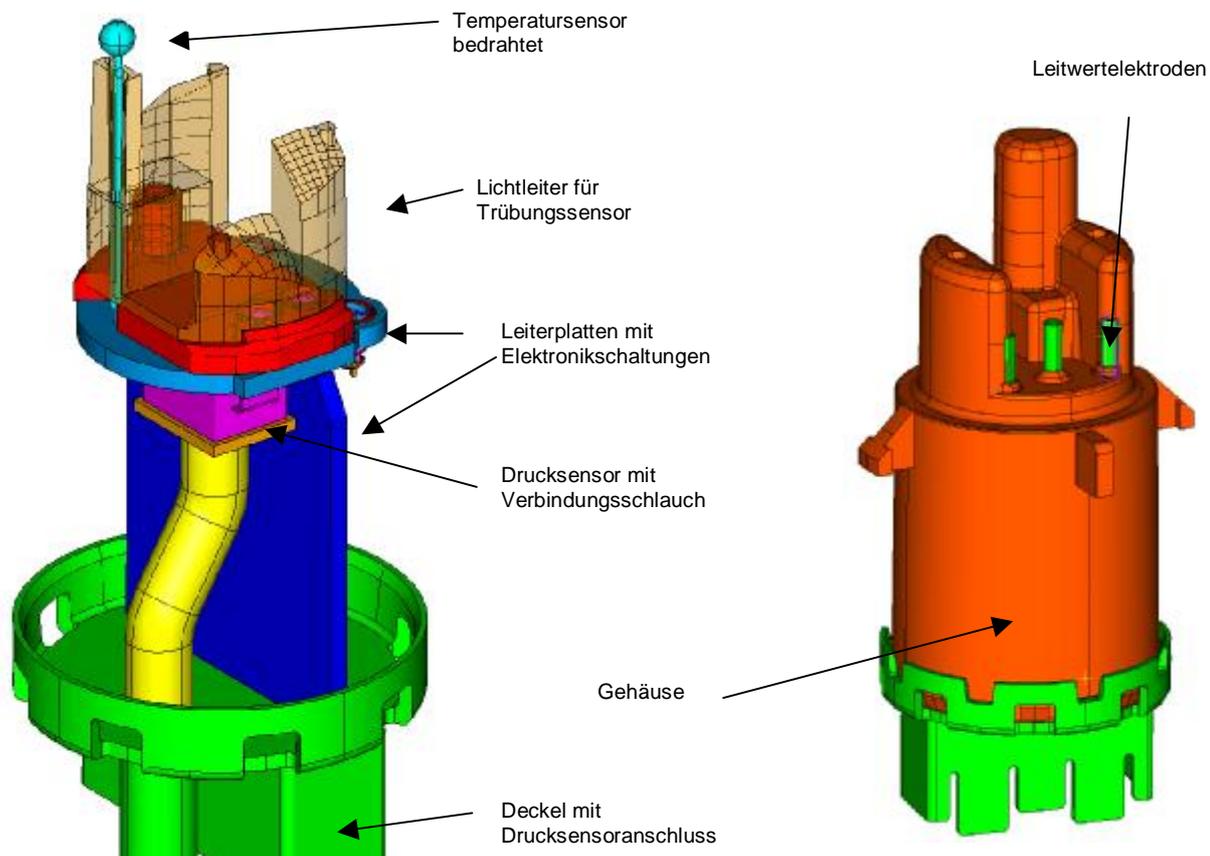


Abb. 18: Konzept zum serientauglichen Aufbau des Kombisensors

Über mehrere Optimierungsstufen wurden diverse Muster der Kombisensoren hergestellt und getestet. Die Optimierungen erfolgten sowohl aus funktionellen Gründen als auch hinsichtlich der geeigneten Bauelemente, Anzahl der Bauteile, Kontaktierung, Fertigungstechnologie, Toleranzen, Miniaturisierung sowie Kosten. Zum Abschluss des Projektes liegt ein hinsichtlich dieser Parameter optimierter Entwurf vor, der nach noch ausstehenden anwendungsseitigen Versuchen und Optimierungen in die Serienherstellung geführt werden soll.

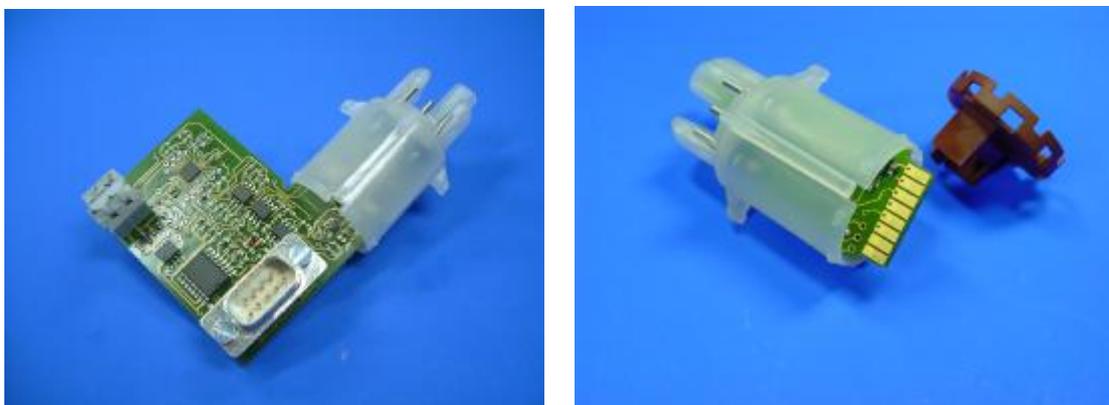
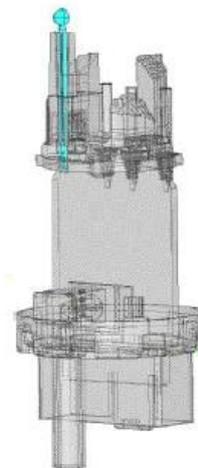


Abb. 19: Kombisensor (links: mit größerer Leiterplatte für Versuche, rechts: Endausbaustufe)

4.4.3 Temperaturmessung

In den Kombisensor wurden zunächst Temperatursensoren integriert (blaues Element in nebenstehender Skizze). Hierzu wurden Temperatursensoren mit einer geeigneten Ansprechzeit ermittelt, da sich zeigte, dass die Ansprechzeit sehr kritisch ist, da diese für die Wärmekapazitätsermittlung und damit für die Beladungserkennung verwendet wird.

Im weiteren Projektverlauf wurden dann Temperatursensoren im SMD-Aufbau ausgewählt, die möglichst schnelle Ansprechzeiten aufweisen. Mittels einer speziellen Elektronik wurden Messfehler eliminiert.

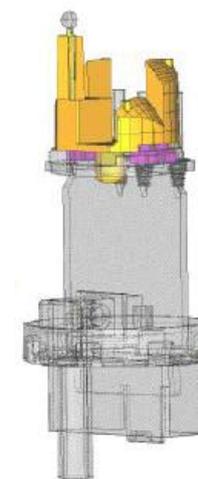


4.4.4 Trübungsmessung

Der Trübungssensor wurde gemäß dem im Abschnitt 4.2 entwickelten optischen Aufbau realisiert. Er besteht aus einer Sendeelektrode und zwei Empfangselektroden sowie einem Lichtleitkörper mit geeigneter optischer Konstruktion (gelbes Element in nebenstehender Skizze).

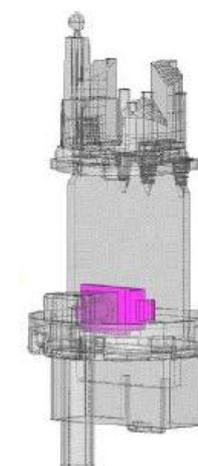
Der Entwicklungsablauf erforderte auch hier mehrere Entwürfe und Musteraufbauten, die bereits unter Abschnitt 4.2 beschrieben sind.

Die Herstellung der Lichtleiter erfolgte zunächst in Einzelfertigung mittels Fräsen später nach Entwicklung eines Werkzeuges im Spritzguss. Abschließende Optimierungen im F&E-Projekt betrafen die Verbesserung des Temperaturkoeffizienten und der Messkurven der Trübungsmessung, wozu erneut Versuchsreihen durchgeführt wurden.



4.4.5 Druckmessung

Die unter 4.3 ausführlich beschriebenen Grundlagenversuche verdeutlichten bereits früh im Projektverlauf die Bedeutung des Drucksignals für den Kombisensor. Es wurden deshalb zunächst Versuche zur Ermittlung geeigneter Druckmesssysteme durchgeführt. Hierbei kamen zunächst piezoresistive Systeme mit integrierter Elektronik sowie Systeme mit unabgeglicherer Brücke zum Einsatz. Ermittelt wurden Druckbereiche, Versorgungs- und Ausgangsspannungsbereiche sowie die Wirtschaftlichkeit verschiedener am Markt verfügbarer Systeme.



Anschließend wurde ein spezieller, in die Spülmaschine einbaubarer Drucksensor entwickelt, der sowohl separat in die Spülmaschine als auch in den Multisensor integriert werden kann.

Hierzu wurde zunächst ein Druckelement, das aus dem Automobilbereich stammt und auf dem piezoelektrischen Messprinzip basiert (Halbleiteraufbau), ausgewählt. Um hiermit Messungen an Spülmaschinen durchführen zu können, wurde eine Versuchsschaltung und Leiterplatte schaltungstechnisch komplett entwickelt und mehrere Muster hergestellt. Ebenso wurde ein spezielles Gehäuse für den Drucksensor entwickelt.



Abb. 20: entwickelte Schaltung mit Druckelement für den Drucksensor

Erste provisorische Versuche mit dem Sensor im Labor zeigten, dass das Element für Druckmessungen geeignet ist und die Signale eine ausreichende Auflösung aufweisen.

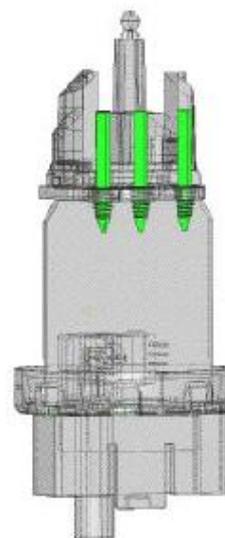
Die entwickelten Drucksensoren wurden für die Versuchsreihen eingesetzt und zusätzlich ein Vergleichssensor genutzt. Die Erprobungsergebnisse waren durchweg positiv.

In der 2. Projektphase erfolgte zunächst eine externe Ankopplung dieser Drucksensoren über einen Schlauch an den Kombisensor. Hierdurch war es möglich, unterschiedliche Sensorsysteme anzuschließen. Später wurde der Sensor gemäß Abschnitt 4.4.2 in den Prototypen des Kombisensors integriert.

4.4.6 Leitwertmessung

Die Bedeutung der Messung von Leitfähigkeiten und Kapazitäten der Spülmedien wurde ebenfalls früh erkannt, da diese einen Hinweis auf die im Waschwasser enthaltenen Konzentrationen an Verschmutzungen und waschaktiven Substanzen geben.

In der 1. Projektphase wurde in Kooperation mit dem IMSAS Bremen versucht, einen geeigneten Leitwertsensor zu entwickeln. Hierzu wurden zunächst Grundlagenuntersuchungen und Vorversuche durchgeführt.



Die Vorversuche betrafen beispielsweise Leitfähigkeitswertmessungen in einem Flüssigkeitsgemisch aus Wasser und Reinigungsmittel bzw. nur in Wasser. Weitere Leitfähigkeiten wurden während eines Geschirrspüldurchganges an Flüssigkeiten gemessen, die bereits mit Normanschmutzung des in der Geschirrspülmaschine enthaltenen Geschirrs „verunreinigt“ waren. Es zeigte sich eine nahezu lineare Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Temperatur im Bereich von 25 C bis 90 °C. Außerdem wurden sehr unterschiedliche Leitfähigkeitswerte der einzelnen Referenzreiniger zueinander durch abweichende chemische Zusammensetzung festgestellt.

Nach diesen Messungen im Labor des IMSAS wurden Messungen am Versuchsaufbau bei emz bei verschiedenen Verschmutzungsgraden des Geschirrs durchgeführt. Die Probenentnahme aus den Spülmaschinen erfolgte über einen Schlauch der aus der Waschkammer herausführte. Diese Versuche bestätigten die Abhängigkeit der Messwerte vom Reinigungsmittel und der Verschmutzung.

Anschließend sollte vom IMSAS ein geeigneter Leitwertsensor entwickelt werden. Hierzu wurden Berechnungen erstellt, Designentwürfe erarbeitet, Materialien ausgewählt, Platinen entworfen, auf die die gehäusten Sensoren aufgelötet wurden. Des weiteren wurde ein Versuchsaufbau zur Erprobung der Sensorelemente am IMSAS erstellt und Stabilitätstests sowie Funktionstests mit Mustersensoren durchgeführt.

Die Lieferung der ersten Sensormuster an emz verzögerte sich erheblich, so dass erst Ende März 2003 erste Prototyp-Sensoren für Versuche vorlagen. Diese waren teilweise nicht brauchbar bzw. fielen nach wenigen Versuchen aus und waren somit ungeeignet (z.B. durch Ablösung der Passivierungsschicht nach wenigen Spülgängen, Abriss der Bonddrähte bei Prozesstemperatur). Ein stabiler Messaufbau war mit den vom IMSAS entwickelten Leitwertensoren nicht möglich. Zwar gelang es, die Ursache für einige Fehler, wie das Ablösen der Passivierungsschicht zu finden und abzustellen. Auch konnten einzelne Chips in einem Dauerspülttest mit positivem Ergebnis getestet werden. Einige Versuche lieferten jedoch weiterhin unklare Messergebnisse.

Aus diesen Gründen wurde die Zusammenarbeit mit dem IMSAS beendet und in der 2. Projektphase andere Lösungswege für einen geeigneten Leitwertsensor untersucht: Ein Ansatz bestand in der Nutzung spezieller Foliensensoren (auf Basis eines Lösungsansatzes eines Fraunhofer-Instituts), ein anderer im Einsatz rein kapazitiver Leitwertensoren in Verbindung mit zwei Edelstahlelektroden. Zu diesen Lösungsansätzen wurden umfangreiche Versuche durch emz, Fraunhofer IZM sowie eine externe Expertengruppe durchgeführt. Die Messdaten wurden jeweils für die multivariate Datenauswertung am Fraunhofer IZM aufbereitet.

Es zeigte sich, dass der Foliensensor für die Leitwertmessungen grundsätzlich geeignet ist, so dass Basiskonzepte für einen geeigneten Folienaufbau des Sensors zur Integration in den Kombisensor erarbeitet wurden. Hierzu wurden geeignete Aufbauten und Materialien sowie Herstellungstechniken bewertet. Die Analyse ergab, dass messtechnisch ein Foliensensor zu bevorzugen wäre. Ein Einsatz birgt jedoch wegen mangelnder Materialienverfügbarkeit und Erfahrung zu hohe Risiken für eine aktuelle Serienanwendung.

Statt dessen versprach ein 3-Elektrodensystem im Vergleich zu Foliensensoren einen einfacheren, robusten und damit weniger fehleranfälligen Aufbau. Es wurden deshalb mit Elektrodensystemen aus Edelstahl Vorversuche zur Leitwertmessung durchgeführt, in denen optimale Messfrequenzen ermittelt und eine geeignete Messschaltung entwickelt wurden. Anschließende Versuche mit Temperaturzyklen an entsprechenden Sensormustern bestätigten positiv den sicheren, dauerhaft dichten Aufbau.

Für den Multisensor wurden weiterhin verschiedene Elektrodenmaterialien auf ihre Eignung für die elektrochemische Impedanzmessung untersucht (vernickelte bzw. verchromte Stahlstifte, Edelstahl), um möglichst dauerhaft haltbare und kostengünstige Materialien zu finden. Aus elektrochemischer Sicht sind schwer korrodierbare (Edel-) Metalle als Elektroden in jedem Fall vorzuziehen, da eventuelle Korrosionsschichten an der Oberfläche die elektrochemischen Messungen beeinflussen.



Abb. 21: Laboraufbau zum Vermessen verschiedener Elektrodenkonfigurationen, Versuchsmuster und korrodierte Elektrode in Mikroskopaufnahme

Die Elektroden wurden mit elektrochemischer Impedanzspektroskopie („Leitwertmessung mit verschiedenen Frequenzen“) vermessen, wobei als Messmedium Proben aus Spülgängen verwendet wurden. Abschließend wurde das bestgeeignete Material bzw. Beschichtung, das am wenigstens zur Korrosion neigt ausgewählt.

Gemeinsam mit einer externen Spezialistengruppe wurden in der 2. Projektphase weitere umfangreiche Grundlagenversuche zur Leitwertmessung in Wasch- und Spülwasser durchgeführt. Hierzu wurde zunächst ein Versuchsaufbau im Labor errichtet und die Zusammensetzung der chemischen Hilfsstoffe zum Geschirrspülen analysiert, geclustert, die einzelnen Inhaltsstoffe chemisch von der Theorie her betrachtet sowie messtechnisch überprüft.

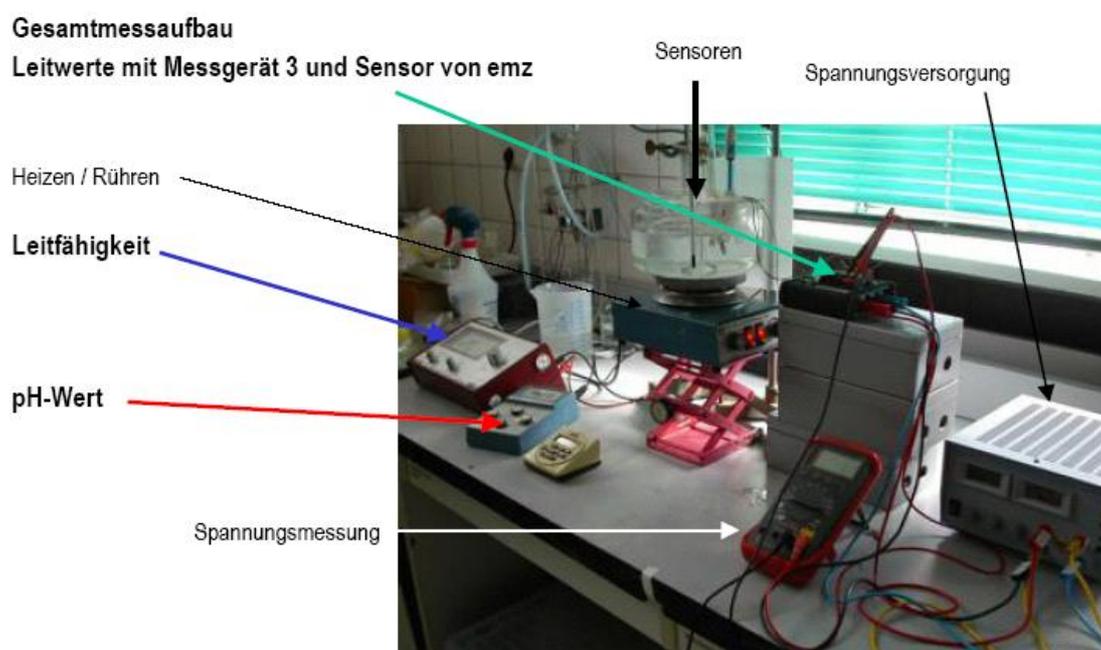


Abb. 22: Messaufbau für Grundlagenversuche zur Leitwertbestimmung in Waschmedien

Als wichtige Ergebnisse dieser Grundlagenversuche wurden die Inhaltsstoffe der Medien ermittelt, diese mittels Leitwertmessung bewertet und ihr Beitrag zum Gesamtleitwert untersucht. Eine rein ohmsche Leitwertmessung lieferte keine brauchbaren Ergebnisse. Statt dessen erwies sich eine Messung mit mehreren Frequenzen und Spannungen als geeignet.

Die Messreihen zu den chemischen Substanzen in den Waschmitteln zeigten, dass die Tensidgehalte durch die Salzgehalte „überdeckt“ werden, die Leitwertmessungen somit stark von anderen Stoffen als den waschaktiven Substanzen beeinflusst wird. Diese Ergebnisse waren wichtig für die Entwicklung einer geeigneten Datenauswertung.

Abschließend wurde die Platzierung der Leitwertelektroden und -durchführungen am Kombisensor optimiert. Als Ergebnis wurde eine Leiterplatte mit den optischen Bauteilen

hergestellt, bei der die optische Elemente parallel zur Leiterplatte abstrahlen und auf einer Leiterplatte angeordnet sind. Die Simulation ergab verbesserte optische Werte. Entsprechend hergestellte Musterteile bestätigten diese Verbesserungen im Versuch.

4.4.7 Elektronikentwicklung

Der neuartige Kombisensor erforderte zur Ansteuerung und Signalvorverarbeitung der Sensoren entsprechende elektronische Schaltungen. Hierzu wurden zunächst die Schnittstellen für eine Bus-basierte Schaltungstechnik definiert und ein Prozessor ausgewählt.

Die Elektronikentwicklung erfolgte anschließend über mehrere Entwicklungsstufen. So wurden zu Beginn 3 Platinen entwickelt und in den Sensor integriert. Die Schaltungs- und Layoutentwicklung für Funktionsmuster betrafen somit zunächst größere Leiterplatten für die maximale Ausbaustufe des Sensors (Temperatur, 2 Trübungsstrecken, 2 Leitwertstrecken, Drucksensor, Busschnittstelle). Zum Projektabschluss wurde die Schaltung für den Prototypaufbau auf einer noch größeren Versuchsplatine untergebracht (siehe Abb. 19).

Die entwickelte Schaltung stellt die vorverarbeiteten Signale über den Datenbus einer übergeordneten Steuerung zur Verfügung. Hier erfolgt dann die Auswertung und Umsetzung in die Steuerung der Spülprozesse. Denkbar ist auch die Entwicklung eines ergänzenden „Vorhersagemoduls“.

4.4.8 Softwareentwicklung zur Datenauswertung

Wie weiter oben bereits dargestellt gelang es, auf Basis der umfangreichen Versuchsreihen mit Hilfe von Methoden der multivariaten Statistik spezielle Auswerterroutinen zu entwickeln, mit denen zahlreiche zusätzliche Informationen zum Spülprozess aus den Daten abgeleitet werden können. Aufbauend auf diesen Grundlagen wurde in der 2. Projektphase eine geeignete Software für den Kombisensor entwickelt.

Hierzu wurde einleitend eine Softwarestruktur definiert, aus der die Funktionalitäten des Sensors ersichtlich sind. Die Hauptfunktionen sind:

- § Sensorkonfiguration und System-Routinen
- § Erfassen der Sensorsignale (Leitwert, Trübung, Temperatur, Druck)
- § Plausibilitätsprüfung der erfassten Sensorgrößen
- § Signalaufbereitung
- § Buskommunikation
- § Datenspeicherung

Die multivariate Signalverarbeitung ist nicht direkt im Sensor vorgesehen, da aufgrund begrenzter Ressourcen eine Umsetzung des Algorithmus in der Steuerung sinnvoller erscheint.

Die Auswahl eines geeigneten Controllers für den Kombisensor erfolgte auch auf Basis der definierten Softwarestruktur.

Gemäß der definierten Softwarestruktur wurde anschließend ein Softwaredesign entwickelt. Ferner wurden Messalgorithmen diskutiert und in einem Pflichtenheft beschrieben. Nach Inbetriebnahme des EVA-Boards wurde mit der Implementierung der Software begonnen. Der Softwareaufbau wurde modular gestaltet. Damit ist es möglich, Sensorkomponenten je nach Bestückungsvariante individuell zu integrieren. Im Bereich der Leitwertschaltung wurden Modifizierungen der Hardware vorgenommen, was zu Änderungen von Teilen des Softwaredesigns führte.

Als schwierig erwies sich die Umsetzung der Buskommunikation. Da zur Zeit der Softwareentwicklung noch kein Lead-Kunde vorhanden war (die Kunden setzen jeweils ihren spezifischen Bus ein), blieb unklar, welcher Bustyp für eine Anbindung an eine Steuerung in Frage kommt. Um dennoch den Sensor betreiben zu können, wurde ein Terminalprogramm entwickelt, das die Kommunikation mit dem Sensor ermöglicht und Messdaten aufzeichnet.

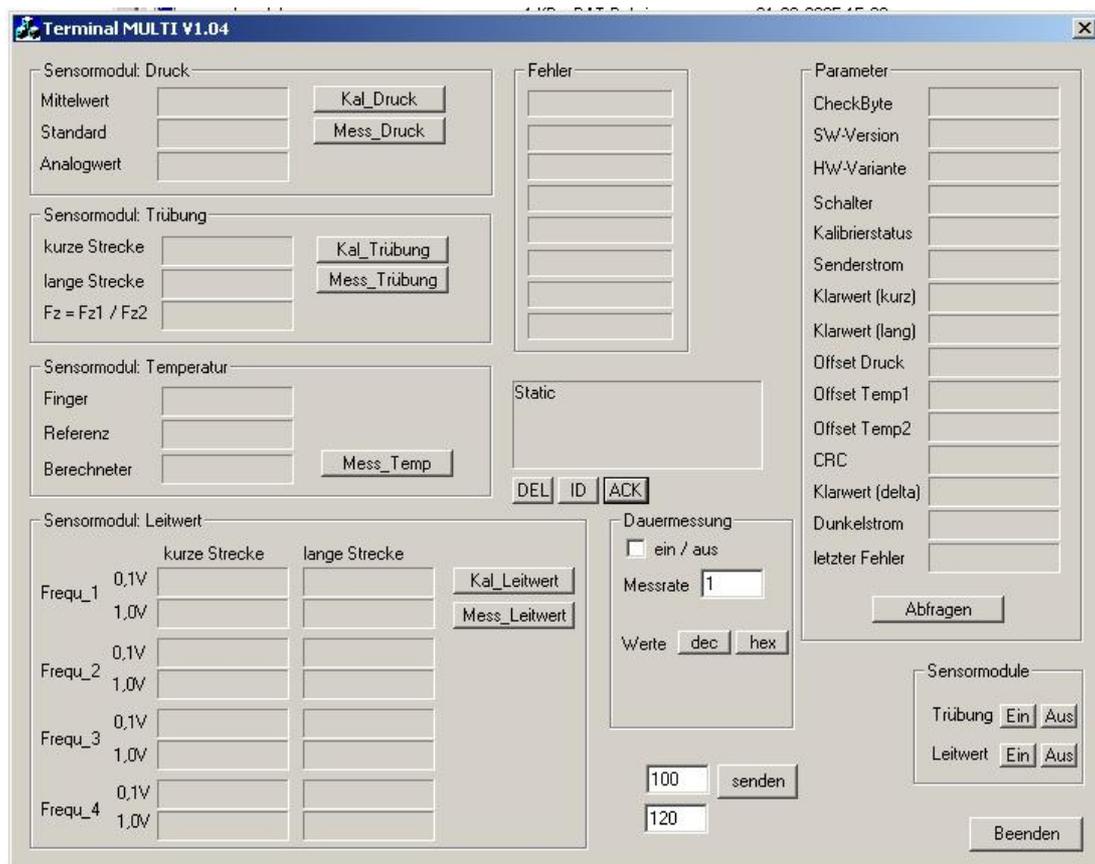


Abb. 23: Bildschirmoberfläche der entwickelten Software zur Signalkommunikation

4.4.9 Prototyp des Kombisensors

Als Ergebnis der Entwicklungsarbeiten zum Kombisensor entstand zum Projektabschluss ein Prototypaufbau, der Grundlage für die im Anschluss gemeinsam mit einem namhaften Spülmaschinenhersteller geplante Umsetzung in eine neuartige Serien-Spülmaschine ist.

4.5 anwendungsbezogene interne Versuchsreihen

4.5.1 Zusammenhang zwischen Trübungssignalen und Waschmittelkonzentrationen

Bereits sehr früh im Projektverlauf wurde bei emz ein Versuchsaufbau mit einem herkömmlichen, von emz bereits produzierten, Trübungssensor aufgebaut. Ziel der Untersuchungen war es, aus dem Trübungssignal Aussagen zur Konzentration von Waschmittel im Prozess abzuleiten.

Das Diagramm in Abb. 24 zeigt als Auszug aus den durchgeführten Messreihen, dass eindeutig ein Zusammenhang zwischen Konzentration des Waschmittels und den Trübungssignalen besteht. Durch zusätzliche Auswertung des Leitwertsignals könnte somit beispielsweise die Dosierung von unterschiedlichen Waschmittel aus einem Waschmittelreservoir sicher eingestellt werden.

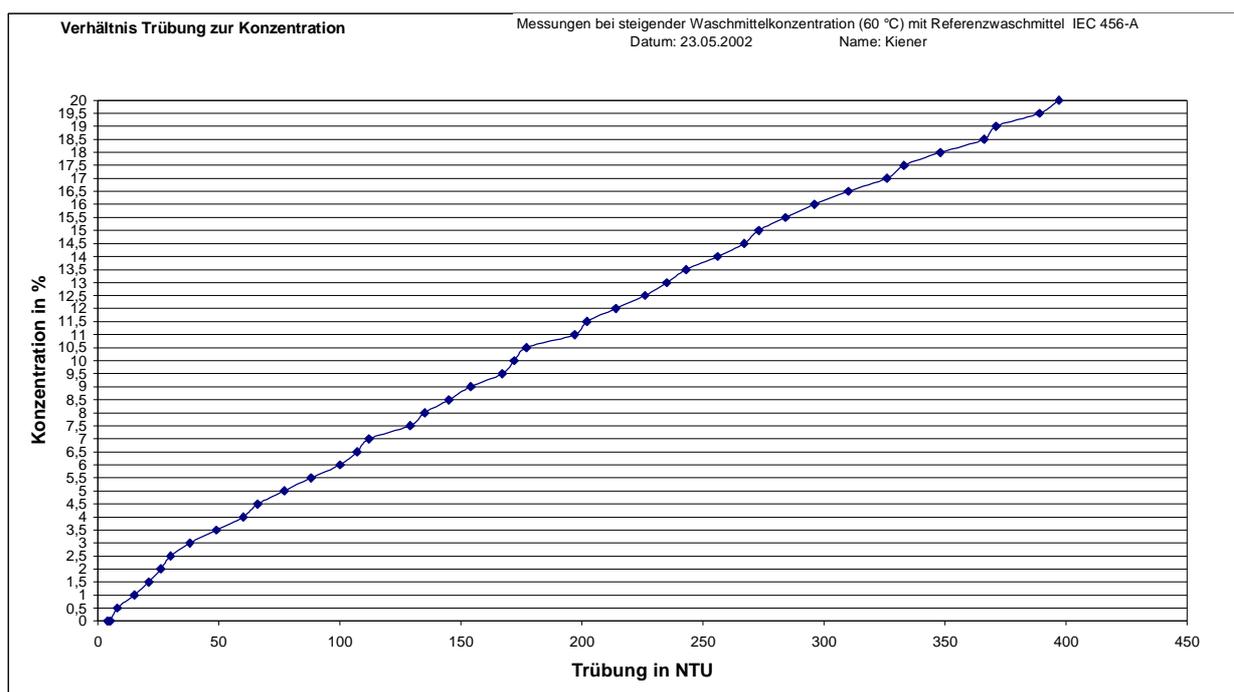


Abb. 24: ermittelter Zusammenhang zwischen Trübung und Waschmittelkonzentration

4.5.2 Versuchsreihen zur Ermittlung freier Tenside im Spülwasser

Bereits in der 1. Projektphase wurden Machbarkeitsuntersuchungen zur Messung von Oberflächenspannungen durchgeführt, um beispielsweise den Anteil freier Waschmittel bzw. Tenside im Waschprozess zu bestimmen.

Hierzu wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Recherchen zu geeigneten Messprinzipien durchgeführt, wobei 8 prinzipielle Methoden ermittelt und bewertet wurden. Zwei dieser Lösungsansätze, die Steighöhenmethode und die Oberflächenwellenmethode, wurden anschließend näher untersucht, Messaufbauten hierzu errichtet und Machbarkeitsuntersuchungen durchgeführt. Hierbei wurde ein dritter Lösungsansatz („Blasenmethode“) zusätzlich als Vergleichsmethode verwendet.

Die Messergebnisse zeigten, dass ein sensibler Oberflächenspannungssensor realisierbar scheint. Insbesondere die Benetzungswinkel, Kapillarkräfte und die Mizellen sind offensichtlich wichtige Größen für den Waschprozess.

Zur Entwicklung eines analogen Oberflächenspannungssensors waren jedoch vertiefende theoretische Betrachtungen notwendig, um beispielsweise Kurvenverläufe vollständig zu erklären und die zu große Empfindlichkeit des untersuchten Messaufbaus zu reduzieren. Da sich diese Aufgabenstellung für den gesteckten Zeitrahmen als zu komplex erwiesen, wurde die Oberflächenspannung in der 2. Projektphase nicht weiter verfolgt. Die erforderlichen Grundlagenuntersuchungen hätten den Rahmen des Projektes gesprengt.

4.5.3 Versuchsreihen zur Ermittlung der in der Praxis erzielbaren Effekte

Innerhalb beider Phasen des Forschungsprojektes wurden umfangreiche Versuchsreihen an Geschirrspülmaschinen im Labor von emz durchgeführt, um die Grundlagen der Signalerfassung im Spülprozess und den Einfluss der einzelnen Messwerte auf eine Bewertung diverser Prozesszustände zu ermitteln (456 Spülversuche mit europäischen und 141 Spülversuche mit amerikanischen Spülmaschinen). Hierzu wurde Geschirr jeweils gemäß entsprechender Normen verschmutzt, der Schmutz im Ofen angetrocknet und Maschinen mit „Normgeschirr“ in definierter Vorgabe bestückt (siehe Beispiele in Abb. 25 und Abb. 26).



Abb. 25: Beispiele für vorbereitetes Geschirr zur Versuchsdurchführung
(Dessertteller Spinat: oben halbe, unten volle Anschmutzung,
links angeschmutzt, Mitte vorgespült, rechts komplett gespült)



Abb. 26: Beispiele für vorbereitetes Geschirr zur Versuchsdurchführung
(Kaffeeteller: oben halbe, unten volle Anschmutzung,
links angeschmutzt, Mitte vorgespült, rechts komplett gespült)

In der 2. Projektphase wurden diese Versuche an Spülmaschinen europäischer und amerikanischer Hersteller intensiviert. Im Spülprozess wurden die Sensor-, Referenz- und Steuersignale mit einem Muster-Kombisensor erfasst.

- § Sensorsignale waren: Trübung (kurze und lange Strecke), Temperatur (im „Sensorfinger und auf der Elektronik), Druck und Leitwert
- § Referenzsignale waren: Leitwert und Temperatur der Lauge

§ Steuersignale waren: Wassereinlass, Aktivität der Laugenpumpe, Zugabe von Reiniger und Klarspüler, Sprüharmaktivität und Messbereichsumschaltung der Leitwertschaltung.

Die Sensorsignale wurden über eine Messkarte an den PC geführt. Der Aufbau der Leitwertschaltung erforderte eine digitale Ansteuerung über den PC, um die Variation von Messstrecke und Messfrequenz zu ermöglichen. Außerdem wurde die Leitwertschaltung mit einer automatischen Messbereichsumschaltung versehen, um eine optimalere Auflösung im Vorspülen (ohne Reiniger – niedrige Leitwertsignale) und Hauptspülen (mit Reiniger – hohe Leitwertsignale) zu erreichen. Leitwert und Temperatur wurden zusätzlich nochmals mittels Referenzmessgerät erfasst, um Plausibilitätsbetrachtungen durchführen zu können.

Die Signalgrößen wurden mit unterschiedlicher Abtastfrequenz erfasst:

- § Trübung, Temperatur, Druck: ~25 Hz
- § Leitwert: ~25/6 Hz
- § Referenzleitwert und -temperatur: ~1/10 Hz
- § Steuersignale ~25 Hz

Das Starten einer Messung erfolgte automatisch durch Triggerung auf Wassereinlass.

Aufgrund der hohen Abtastung und der Messbereichsumschaltung der Leitwertschaltung war eine Konvertierung der Messdaten notwendig, um die Messdaten zu reduzieren und die Messbereichsumschaltung zu korrigieren. Die Konvertierung erfolgte über eine eigens programmierte Software. Nach der Konvertierung hatten die Messdaten eine Messrate von einer Sekunde.

Die Messungen erfolgten nach folgenden Kriterien:

- Variation der Spülmittelmenge
- Variation der Anschmutzungsmenge
- Variation der Anschmutzungsart
- Variation der Beladungsmenge
- Variation der Antrocknungszeiten
- Variation des Spülmitteltyps
- Variation des Spülprogramms
- Dokumentation des Reinigungsergebnisses
- Dokumentation der Beladungsmenge
- Dokumentation der Antrocknungszeiten

In den Versuchen wurden außerdem die Anschmutzungsarten variiert. Neben Anschmutzungen nach der europäischen Norm EN 50456 und Anschmutzungen nach dem amerikanischen Standard AHAM DW-1-1992 wurden auch „reale“ Anschmutzungen erstellt.

Die Bewertung der Reinigungsergebnisse erfolgte gemäß dem in der EN 50456 beschriebenen Verfahren. Zusätzliche Kriterien waren die Beladungsmenge, die Anschmutzungsmenge und die Antrocknungszeit. Die Kriterien wurden für jede Messung im Logbuch dokumentiert. Neben der multivariaten Auswertung der Messsignale wurde anhand der Referenzmessungen (Konditionierung) auch der Einfluss vorheriger Spülgänge auf die Sensorsignale untersucht. Die Anwendung der multivariaten Signalverarbeitung beschränkte sich auf die Messdaten aus dem Vorspülgang, im besonderen auf die Sensorgrößen Trübung und Leitwert.

Das Fraunhofer IZM stellte anhand der übermittelten Daten nach entsprechender Auswertung mehrere Koeffizientensätze, spezifisch für eine europäische und eine amerikanische Maschine, zur Verfügung, die sich durch den Startzeitpunkt der Berechnung und der Anzahl der verwendeten Messdaten unterscheiden. Im Anschluss daran wurde die Güte der aus den Messdaten extrahierten Koeffizienten anhand eines mathematischen Berechnungsprogramms von emz überprüft.

Auf Basis dieser Grundlagen wurde dann ein Berechnungsalgorithmus entwickelt, der aus folgenden Schritten besteht:

- Einlesen des gewünschten Koeffizientensatzes
- Einlesen der Messdaten und deren Transformation in einen Messvektor
- Glätten der Zeitsignale
- Datenreduktion durch Verwenden jedes x-ten Messwertes
- Darstellung als Diagramm und
- Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Verschmutzungsgrades.

Nach Optimierung der Berechnungsalgorithmen, beispielsweise durch Glättung der Koeffizienten, Trennung der Messdaten in Norm- und „reale“ Anschmutzung und Datenreduktion durch Verwenden nur jedes 5. Messwertes und Verschiebung des Startzeitpunktes, **konnten schließlich gezielte Informationen zum Spülprozess aus den Messergebnissen extrahiert werden.** Weiterhin konnten im Hauptspülprozess Erkenntnisse zur unterschiedlichen Chemie und Konzentration der verwendeten Reinigungsmittel gewonnen werden (siehe Abb. 15 und Abb. 16).

Um die erreichten Ergebnisse zu verifizieren, wurden schließlich die entwickelten Sensoren und Messdaten nochmals in praxisnahen Versuchsreihen in Geschirrspülmaschinen untersucht und die Software des Sensors im Bereich der Leitwertmessung modifiziert, damit eine schnellere Erfassung der notwendigen Leitwertsignale möglich ist.

Anschließende anwendungsnahe Messreihen mit dem Multisensor betrafen Spülzyklen mit unterschiedlichen Mengen von Normanschmutzung. Die Messdaten des Terminals, des

Leitwertmessgeräts und die Steuersignale wurden ebenfalls aufgezeichnet. Ausgewertet wurde der Vorspülgang innerhalb des Zeitraums von 1:30 – 5:40 Minuten. Zur Optimierung der Auswertung wurde eine Glättung der Daten eingeführt. Die in der nachfolgenden Abbildung zusammengefassten Ergebnisse bestätigen, dass die Datenauswertung je nach tatsächlicher Ist-Verschmutzung des Geschirrs unterschiedliche Verschmutzungsgrade der Signalauswertung erkennen lässt. Gleichzeitig zeigen einige „Ausreißer“ der Messergebnisse jedoch auch, dass noch Optimierungsbedarf nach Projektabschluss besteht.

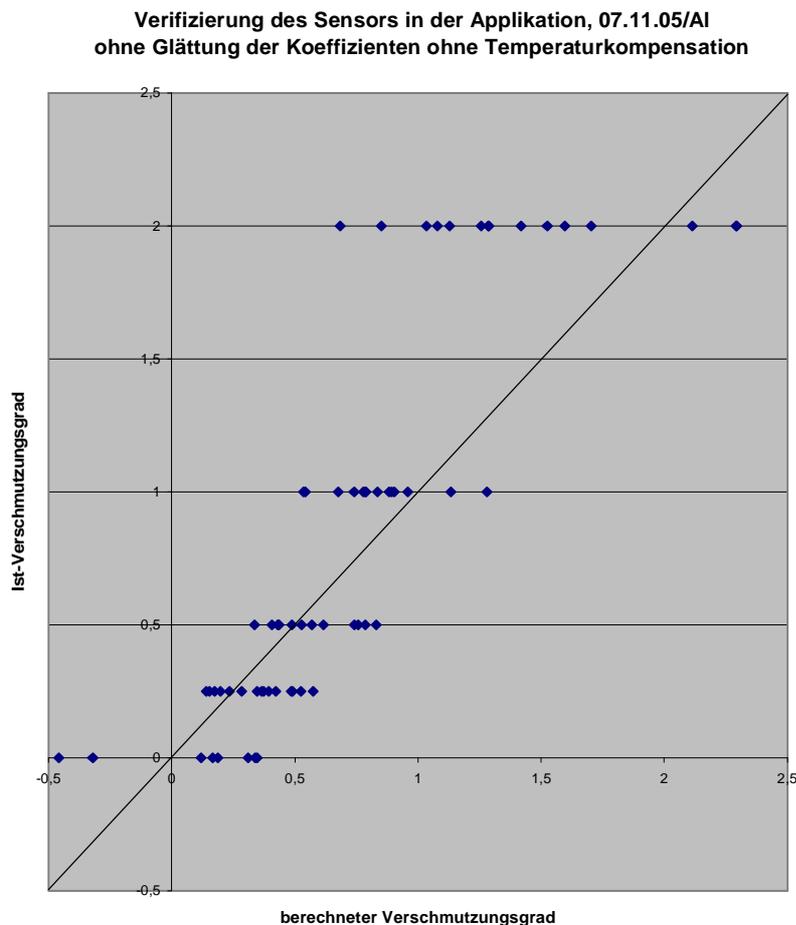


Abb. 27: Auswertung der Messsignale anwendungsnaher Versuchsreihen

Die nachfolgenden Auszüge aus den Messergebnissen und Auswertungen zeigen weiterhin beispielhaft, wie aus den aufgezeichneten Daten der ersten Minuten des Vorspülganges schrittweise der Verschmutzungsgrad bestimmt werden kann.

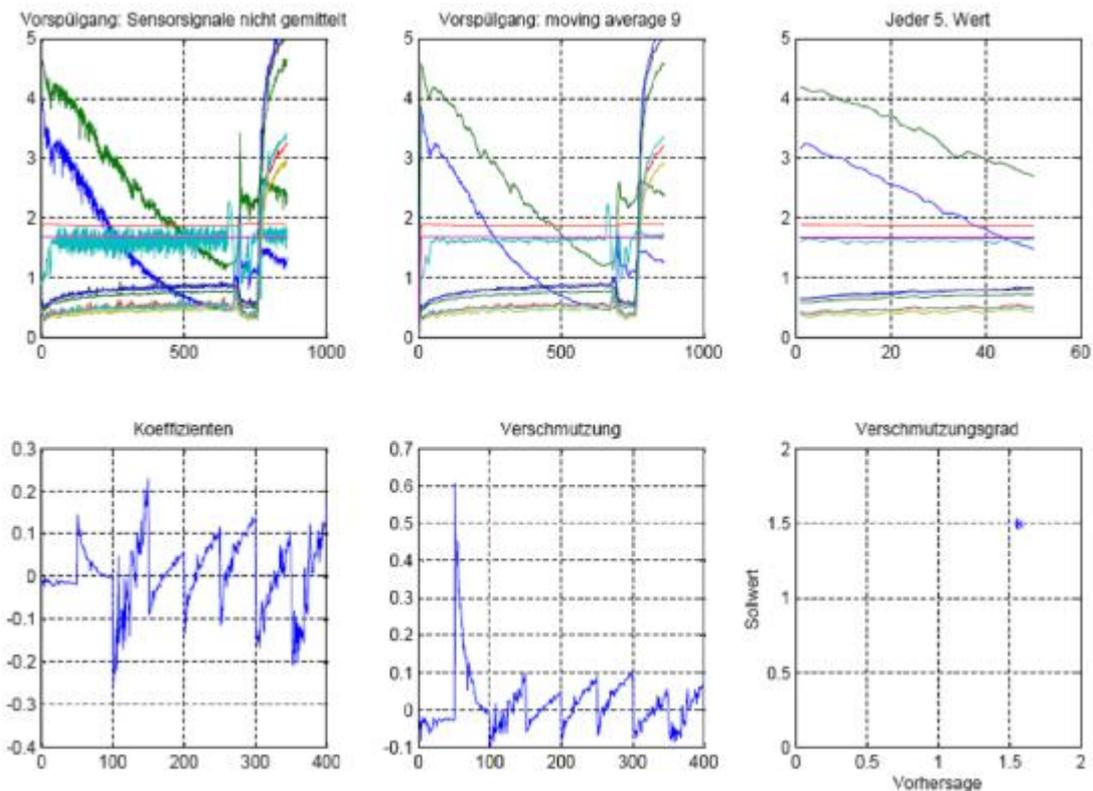


Abb. 28: Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: 1,5-fache Verschmutzung gemäß Norm)

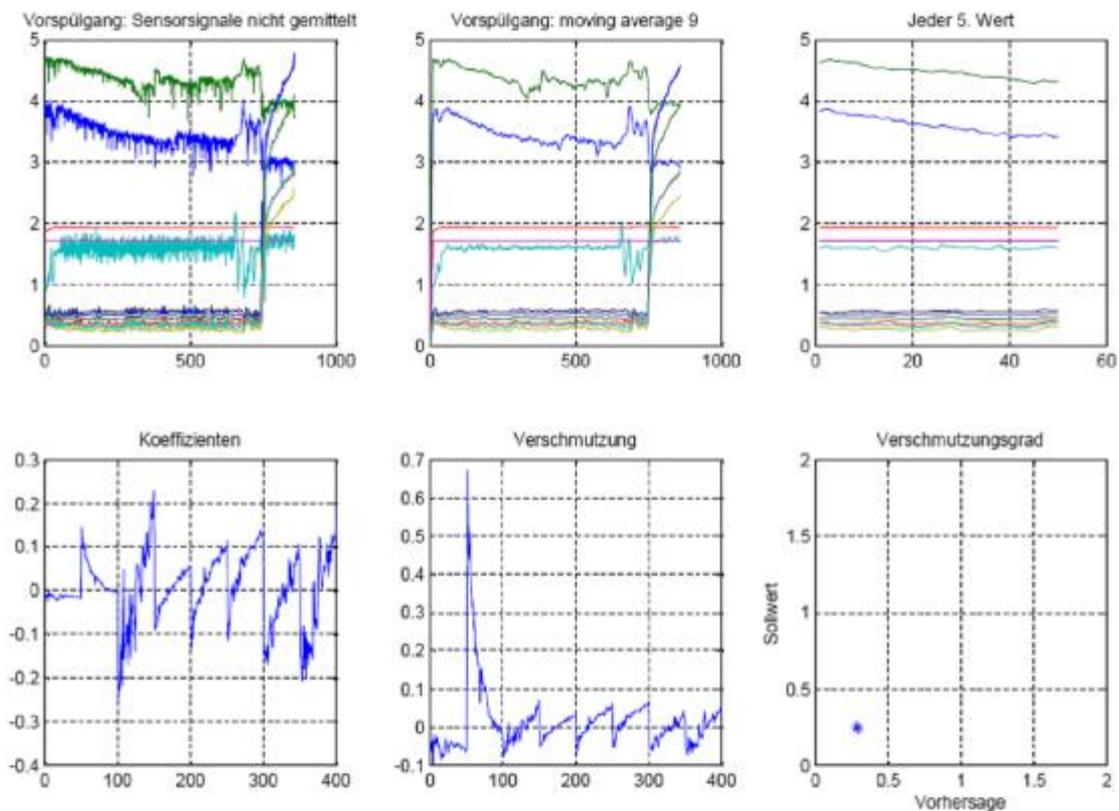


Abb. 29: Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: ¼-Verschmutzung gemäß Norm)

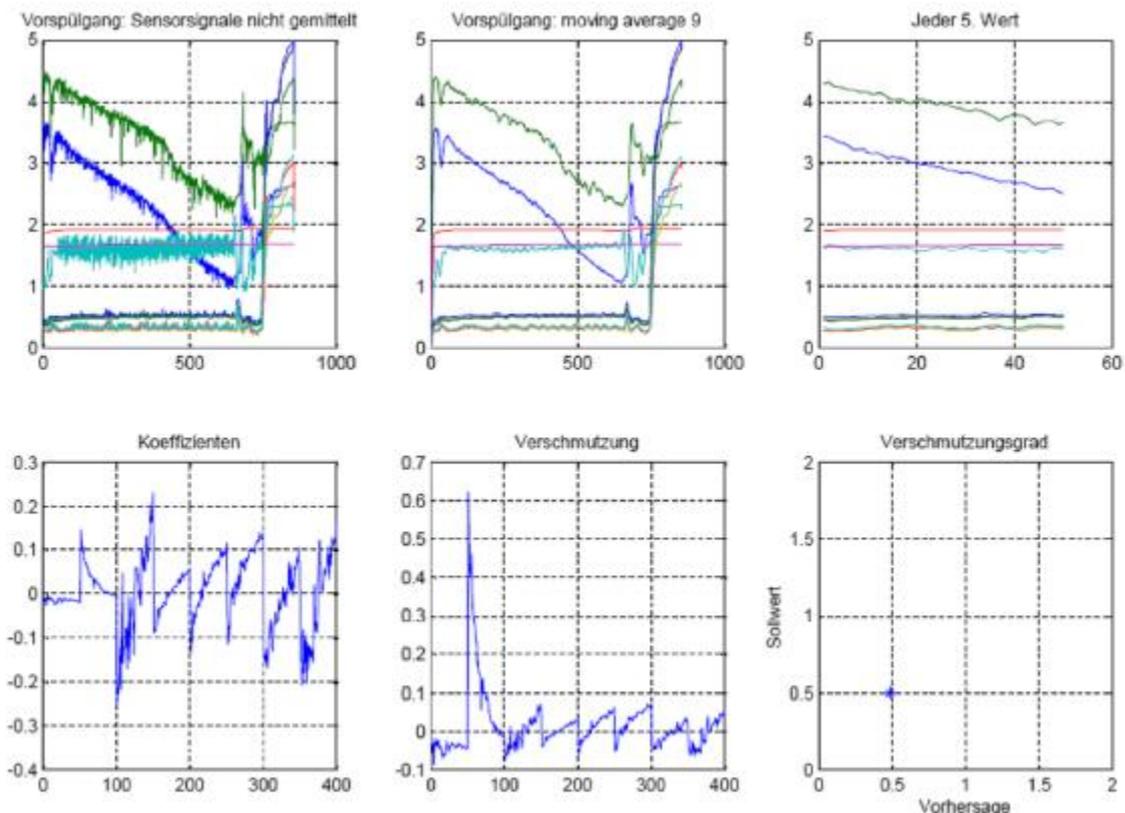


Abb. 30: Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: halbe Verschmutzung gemäß Norm)

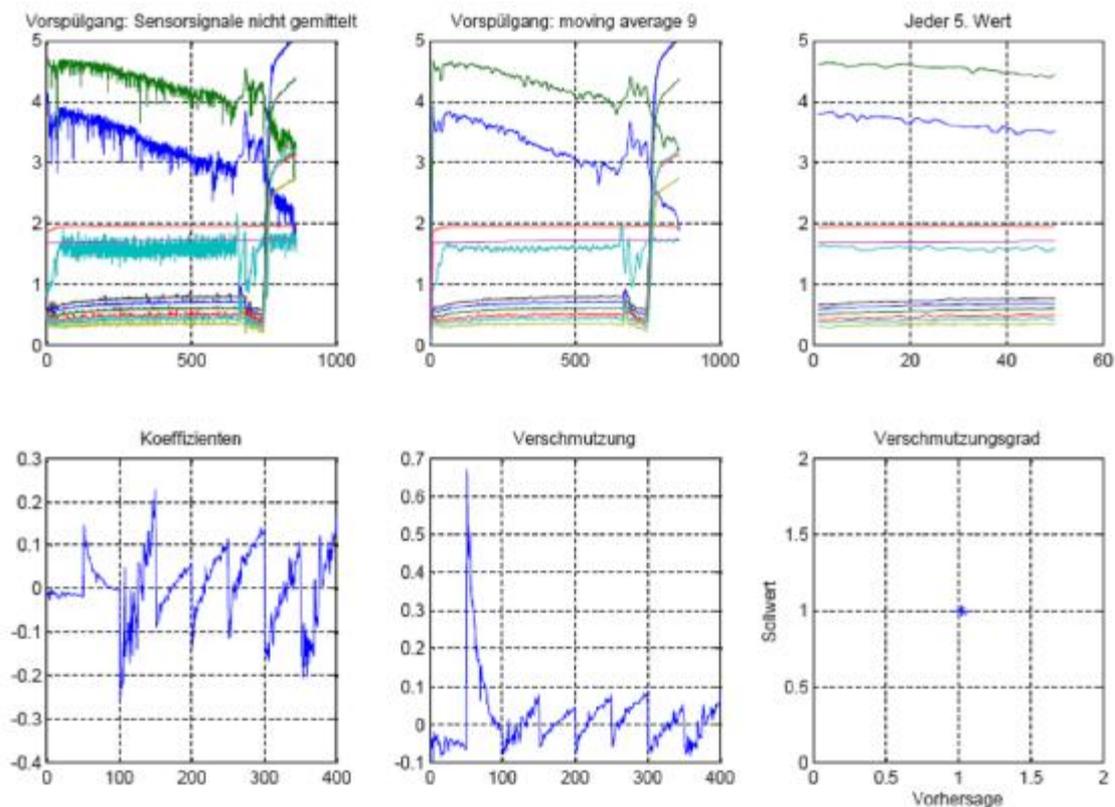


Abb. 31: Berechnung des Verschmutzungsgrades aus den Sensorsignalen (hier: volle Verschmutzung gemäß Norm)

4.6 Vorbereitung von Versuchsreihen bei Spülmaschinenherstellern

Seit Beginn des F&E-Projektes erfolgte eine enge Abstimmung der Entwicklungsziele mit diversen namhaften Spülmaschinenherstellern, um die bestehenden Anforderungen der Anwender in der Entwicklung zu berücksichtigen. Es wurden aber auch Gespräche mit Steuerungsherstellern geführt, um die Integration und das „Zusammenspiel“ im Steuerungsprozess zu vervollständigen.

Mit den Anwendern wurden teilweise auch intensive Workshops zur Thematik des Multisensors durchgeführt. Hierbei bestätigte sich zusammenfassend, dass die Multisensorik zunächst für alle Hersteller von Spülmaschinen und Waschmaschinen ein sehr interessantes Gebiet ist. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Anwender auf die Berücksichtigung unterschiedlicher Messsignale / Sensoren Wert legen. Beispielsweise wünschen einzelne Hersteller Leitwertmessungen, während andere wiederum Druckmessungen oder andere Signale bevorzugen, um diese entsprechend auszuwerten.

Die Gesprächsergebnisse, insbesondere das gezeigte Interesse, bestätigten das Entwicklungskonzept eines modularen Multisensors, der dann je nach Anforderungen der Anwender konfiguriert, aufgebaut, eingesetzt und ausgewertet werden kann.

Die als Zwischenergebnis des Projektes entwickelten Testmuster der Kombisensoren wurden später fertig konfektioniert an ausgewählte interessierte Anwender ausgeliefert. Aufgrund von Kapazitätsengpässen der Anwender erfolgten dort jedoch erst sehr spät im Projektverlauf erste orientierende Messungen mit den Sensoren. **Es zeigte sich, dass zur Umsetzung der mit den Kombisensoren erfassten Ergebnisse in die Maschinensteuerung aufgrund der Komplexität der Daten und Informationen ein eigenes F&E-Projekt notwendig ist.** Hierbei ist davon auszugehen, dass die Vielzahl der möglichen Informationen schrittweise von neuen Spülmaschinen genutzt werden wird.

Die Durchführung eines entsprechenden Projektes mit dem Ziel einer Umsetzung der Ergebnisse durch Entwicklung neuer Geschirrspülmaschinen wurde gemeinsam mit einem namhaften Spülmaschinenhersteller direkt nach Projektabschluss geplant und gestartet. Ein Kooperationsvertrag, der die gemeinsame Entwicklung einer vermarktungsfähigen Lösung in einer neuen Spülmaschine zum Ziel hat, wurde abgeschlossen.

5. Fazit

Innerhalb des vorliegenden F&E-Projektes wurde ein neuartiges Sensorsystem entwickelt, das speziell für den Einsatz in Geschirrspülmaschinen geeignet ist. Kern des Systems ist ein neuartiger Trübungssensor, der in Verbindung mit weiteren Sensorelementen als Kombisensor diverse tatsächliche Prozessdaten und deren Änderungen erfasst, insbesondere die Trübung, die Temperatur, den Leitwert und Druck im Spülwassersumpf. Ferner wurde ein neuartiges Verfahren zur Auswertung der Sensorsignale entwickelt und zum Patent angemeldet.

In Versuchsreihen mit den Kombisensoren wurde an Geschirrspülmaschinen von 3 unterschiedlichen Herstellern (unter Einsatz von nach Normreihen verschmutztem Geschirr) nachgewiesen, dass mit dem neuen System sowohl der Verschmutzungsgrad des Geschirrs in der Maschine, als auch das aktuell vorliegende Reinigungsergebnis und damit der Reinigungserfolg „gemessen“ werden kann. Ebenso konnten die tatsächliche Beladung der Maschine, eventuelle Filterverschmutzungen, optimale Wasserleveldosierung sowie Art und Konzentration des Reinigers aus den Messwerten abgeleitet werden.

Die Versuche konzentrierten sich vor allem auf den Vorspülprozess. Hier genügte eine Auswertung der in den ersten 5 Minuten des Vorspülens gewonnenen Daten, um Aussagen über die Qualität des Spülwassers zu treffen und hieraus einen Rückschluss auf den Verschmutzungsgrad des Geschirrs zu ziehen. Somit können die Messwerte in einem speziellen Vorhersagemodul ausgewertet und für die Steuerung des Spülprozesses genutzt werden.

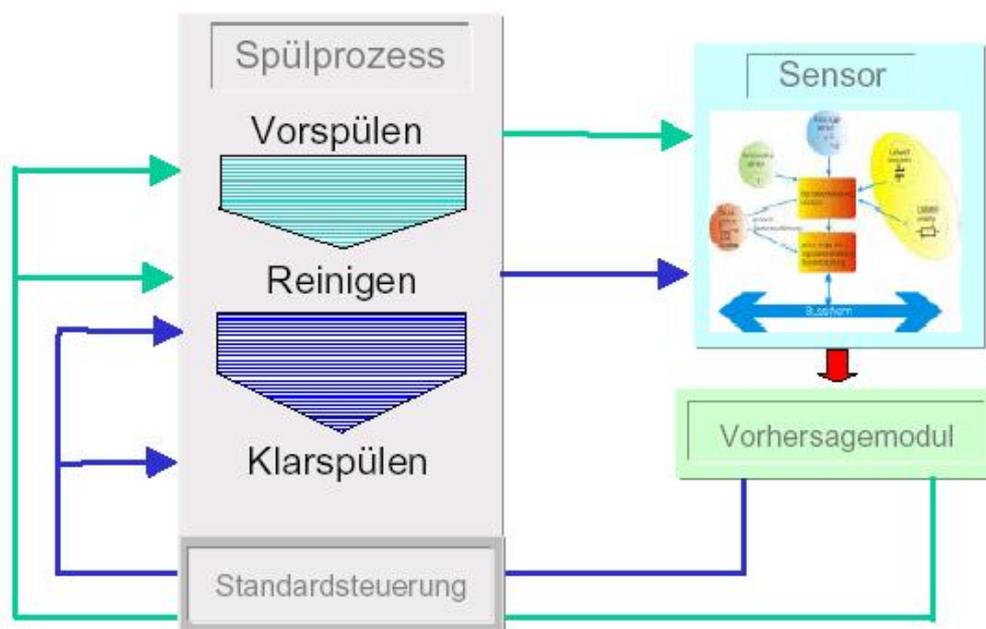


Abb. 32: mögliche Anwendung des Kombisensors zur Steuerung des Spülprozesses

Das Sensorsystem zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus, so dass eine Konfiguration je nach den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls erfolgen kann. Der Anschluss an die übergeordnete Maschinensteuerung erfolgt über einen Datenbus.

Der Kombisensor ist einfach und kostengünstig. Wirtschaftlichkeitsrechnungen haben gezeigt, dass eine Serienfertigung zu einem Vermarktungspreis von max. 10 EUR pro Kombisensor möglich ist, bei Verzicht auf einzelne Sensorelemente und Funktionen auch darunter.

Durch Einsatz des Kombisensors können somit die Reinigungs- und Spülprozesse in Geschirrspülmaschinen an den tatsächlich notwendigen Bedarf angepasst und so **Vorteile für die Umwelt und Wirtschaftlichkeit** erzielt werden, **insbesondere durch die Einsparung von Wasser, Abwasser und Energie**. So sind beispielsweise folgende Einspar Szenarien durch ein „intelligentes“ Betreiben von Geschirrspülmaschinen denkbar:

- bei relativ sauberem Geschirr könnte nach dem Vorspülen der Wasserwechsel eingespart bzw. nur ein teilweiser (z.B. halber) Wasserwechsel vorgenommen werden
- Zwischenspülprozesse können komplett entfallen
- Nachspülprozesse könnten eingespart werden
- Reiniger könnten gemäß tatsächlichem Reinigungsbedarf aus einem Reservoir automatisch abgerufen werden.

Praxiserfahrungen und Versuchsreihen namhafter Geschirrspülmaschinenhersteller sowie Marktuntersuchungen belegen, dass in ca. 60 % aller Geschirrspülvorgänge ein vorzeitiger Abbruch möglich wäre, da das Geschirr beispielsweise aufgrund geringer Verschmutzung oder geringerer Beladung der Maschine, effektiver Wirkung des Reinigers usw. bereits sauber ist. Derzeit müssen die Geschirrspülmaschinen jedoch so eingestellt sein, dass auch die ca. 5 % schwer verschmutztes Geschirr möglichst vollständig sauber werden, wodurch die Programme mit entsprechenden Sicherheitsfaktoren belegt sind.

Berechnungen zur Ermittlung der möglichen Umwelteffekte zeigen, dass je nach Szenario zwischen 5 und 10 Mio. m³ Wasser / Abwasser pro Jahr eingespart werden können (siehe ausführliche Darstellung der Berechnung im Anhang).

Welche Ansätze zur Einsparung von Wasser, Abwasser und Energie sowie damit Kosten letztlich in der Praxis Sinn machen und welche Umwelteffekte hierdurch letztlich konkret erreicht werden können, muss aufgrund des hierzu notwendigen Versuchsaufwands sowie der erforderlichen Grundlagen (Eingriff in die Maschinensteuerung der Geschirrspüler) in einem separaten F&E-Projekt geklärt werden. Ein derartiges Projekt wurde direkt im Anschluss an das hier vorliegende Vorhaben in Kooperation mit einem namhaften

Geschirrspülmaschinenhersteller gestartet. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass in 1 – 2 Jahren erste Umsetzungserfolge nachgewiesen werden können.

Zur Bewertung der aus dem Projekt möglichen Umweltvorteile sollte ferner berücksichtigt werden, dass sich weitere Anwendungen des entwickelten Kombisensorsystems, beispielsweise in Waschmaschinen und industriellen Reinigungsprozessen, abzeichnen. Somit könnten nach entsprechenden Entwicklungsarbeiten zusätzliche Umweltentlastungen erschlossen werden.

Anhang

Berechnung möglicher Umwelteffekte durch Einsatz der entwickelten Kombisensoren in neuartigen Geschirrspülmaschinen

Die nachfolgende Berechnung der Einsparungen basiert neben Aussagen von Spülmaschinenherstellern zum möglichen vorzeitigen Abbruch der Spülprozesse auf einer aktuellen Studie aus den USA (für Deutschland liegen leider keine vergleichbaren Studien vor): Hier hatte eine Umfrage unter mehr als 10.000 US-Haushalten ergeben, dass das Geschirr in 62 % der Fälle leicht, in 33 % mittel und in 5 % nur schwer verschmutzt ist. Ferner wurde deutlich, dass ca. 56 % der Haushalte das Geschirr vor dem Einstellen in die Spülmaschine mit Wasser vorspülen und 14 % sogar das Geschirr vorwaschen. Die Erfahrungen der Geschirrspülhersteller, dass in ca. 60 % der Spülprozesse ein vorzeitiger Abbruch möglich ist, erscheint somit realistisch.

Grundlagen der Berechnung:

1. Es ist davon auszugehen, dass ca. 59 % der deutschen Haushalte einen Geschirrspüler haben. Es wird mit ca. 4 Spülgängen pro Woche gerechnet. Ein Energiesparprogramm arbeitet durchschnittlich mit ca. 1 kWh Energie und 13 Liter Wasser bei 50 ° C. (Quelle: Prof. Stallinger, Universität Bonn, www.zukunft-haus.info)
2. Erfahrungen zeigen ferner, dass normal verschmutztes Geschirr die Regel ist, für das ein Sparprogramm ausreichend ist (Quelle: www.initiative-energie-effizienz.de).
3. Insgesamt 37 Mio. Haushalten in Deutschland, davon 59 % im Besitz einer Geschirrspülmaschine führt zu einer Gerätezahl von über 20 Mio. Stck.
4. emz produziert die bislang gebräuchlichen, einfachen Trübungssensoren allein für Deutschland in einer Stückzahl von 1,25 Mio. Stück jährlich (über 50 % Marktanteil).

Berechnung unterschiedlicher Fälle:

1. Einsparszenario:

Verbrauchsdaten:	Häufigkeit des Auftretens	Betriebszustand
14,5 Ltr. Verbrauch bei Normalverbrauch	in 40 % der Fälle	Volle Beladung; Volle Normanschmutzung
12,5 Ltr. Verbrauch mit Teilwasserwechsel	in 40 % der Fälle	Volle Beladung; halbe Normanschmutzung bzw. halbe Beladung
10,5 ltr. bei Entfall eines Wassertausches	in 20 % der Fälle	Volle/Halbe Beladung und Leichte/ Halbe Anschmutzung

Berechnung:

Umstellungsgrad der Geschirrspüler:	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (insgesamt)	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (bei Umstellungsgrad mit Marktanteil emz 50 %)
100,0 0%	6.656.000	3.328.000
80,00 %	5.324.800	2.662.400
70,00 %	4.659.200	2.329.600
50,00 %	3.328.000	1.664.000
40,00 %	2.662.400	1.331.200
30,00 %	1.996.800	998.400
10,00 %	665.600	332.800

2. Einsparszenario:

Verbrauchsdaten:	Häufigkeit des Auftretens	Betriebszustand
14,5 Ltr. Verbrauch bei Normalverbrauch	in 40 % der Fälle	Volle Beladung; Volle Normanschmutzung
12,5 ltr. Verbrauch mit Teilwasserwechsel	in 0 % der Fälle	Volle Beladung; halbe Normanschmutzung bzw. halbe Beladung
10,5 ltr. bei Entfall eines Wassertausches	in 60 % der Fälle	Volle/Halbe Beladung und Leichte/ Halbe Anschmutzung

Berechnung:

Umstellungsgrad der Geschirrspüler:	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (insgesamt)	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (bei Umstellungsgrad mit Marktanteil emz 50%)
100,00 %	9.984.000	4.992.000
80,00 %	7.987.200	3.993.600
70,00 %	6.988.800	3.494.400
50,00 %	4.992.000	2.496.000
40,00 %	3.993.600	1.996.800
30,00 %	2.995.200	1.497.600
10,00 %	998.400	499.200

3. Einsparszenario:

Verbrauchsdaten:	Häufigkeit des Auftretens	Betriebszustand
14,5 Ltr. Verbrauch bei Normalverbrauch	in 40 % der Fälle	Volle Beladung; Volle Normanschmutzung
12,5 ltr. Verbrauch mit Teilwasserwechsel	in 60 % der Fälle	Volle Beladung; halbe Normanschmutzung bzw. halbe Beladung
10,5 ltr. bei Entfall eines Wassertausches	in 0 % der Fälle	Volle/Halbe Beladung und Leichte/ Halbe Anschmutzung

Berechnung:

Umstellungsgrad der Geschirrspüler:	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (insgesamt)	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (bei Umstellungsgrad mit Marktanteil emz 50 %)
100,00 %	4.992.000	2.496.000
80,00 %	3.993.600	1.996.800
70,00 %	3.494.400	1.747.200
50,00 %	2.496.000	1.248.000
40,00 %	1.996.800	998.400
30,00 %	1.497.600	748.800
10,00 %	499.200	249.600

4. Einsparszenario:

Verbrauchsdaten:	Häufigkeit des Auftretens	Betriebszustand
14,5 Ltr. Verbrauch bei Normalverbrauch	in 40 % der Fälle	Volle Beladung; Volle Normanschmutzung
12,5 ltr. Verbrauch mit Teilwasserwechsel	in 30 % der Fälle	Volle Beladung; halbe Normanschmutzung bzw. halbe Beladung
10,5 ltr. bei Entfall eines Wassertausches	in 30 % der Fälle	Volle/Halbe Beladung und Leichte/ Halbe Anschmutzung

Berechnung:

Umstellungsgrad der Geschirrspüler:	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (insgesamt)	Wassereinsparung in m ³ /Jahr (bei Umstellungsgrad mit Marktanteil emz 50%)
100,00%	7.488.000	3.744.000
80,00%	5.990.400	2.995.200
70,00%	5.241.600	2.620.800
50,00%	3.744.000	1.872.000
40,00%	2.995.200	1.497.600
30,00%	2.246.400	1.123.200
10,00%	748.800	374.400

Zusammenfassung:

Bei den betrachteten unterschiedlichen Einsparszenarien (Varianten zur Steuerung des Spülprozesses auf Basis der vom Kombisensor gelieferten Daten) kann bei einem Einsatz der neu entwickelten Kombisensoren in Geschirrspülmaschinen, je nach Auslegung des Steuerungsmodells, bei einer Marktdurchdringung von 50 % (entspricht dem aktuellen Marktanteil von emz) ein Einsparungspotenzial zwischen 5 und 10 Mio. m³ Wasser pro Jahr erreicht werden.