

# Leitfaden für die Qualitätssicherung und -überwachung von LowRunner-Prozessen (QSLR)

Ernst Schmidberger, Joachim Neher

gefördert mit Mitteln des  
Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im  
Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschafts-  
Forschung (IGF)“ über die AiF

**FQS-DGQ-CD-ROM 85-06**

**September 2008**



**Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS)**

August-Schanz-Straße 21A, D-60433 Frankfurt am Main



**Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (DGQ)**

August-Schanz-Straße 21A, D-60433 Frankfurt am Main

FQS-DGQ-CD-ROM Nr. 85-06

***Leitfaden für die Qualitätssicherung und –überwachung von LowRunner-Prozessen (QSLR)***

1. Auflage 2008

Hrsg. FQS – Forschungsgemeinschaft Qualität e.V.  
Frankfurt am Main  
2008, 113 Seiten, CD-ROM  
ISBN 978-3-940991-03-04

**FQS-DGQ-Schriftenreihe**

Zweck dieser Schriftenreihe ist es, die in Forschungsprojekten entwickelten und gegebenenfalls umgesetzten neuen Erkenntnisse, Technologien, Methoden und Verfahren im Bereich des Qualitätsmanagements bekanntzumachen und ihre rasche und breite Anwendung und Nutzung in der Praxis zu unterstützen. Damit steht der interessierten Fachwelt eine umfassende Dokumentation qualitätsrelevanter und praxisnaher Themenstellungen branchenübergreifend zur Verfügung.

Die Veröffentlichungen der FQS-DGQ-Schriftenreihe sind Forschungsberichte, die durch jedermann frei umgesetzt werden können.

Die FQS-DGQ-Bände / CD-ROMs berücksichtigen den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden Stand der Forschung. Durch das Umsetzen der Forschungsberichte entzieht sich niemand der Verantwortung für sein eigenes Handeln. Jeder handelt insoweit auf eigene Gefahr. Eine Haftung der FQS / DGQ und derjenigen, die an Forschungsberichten beteiligt sind, ist ausgeschlossen.

Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet Über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Nachdruck und Vervielfältigung nur mit schriftlicher Einwilligung der FQS® 2008

## Kurzfassung

Bei komplexen Fertigungsprozessen mit kleinen Losgröße (LowRunner) wird zunehmend angestrebt, die Prozessgüte mittels kontinuierlich erfasster Prozessinformationen zu überwachen und die angestrebte Qualität zu gewährleisten. Das primäre Ziel dabei ist, anhand von Prozesssignalen direkt auf Qualitätsschwankungen schließen zu können. Damit soll einerseits ein 100%ige Qualitätsüberwachung erzielt und andererseits eine Möglichkeit geschaffen werden, qualitätsabhängig sofort in den Prozess eingreifen zu können. QSLR (Qualitätssicherung von LowRunner-Prozessen) ist eine modular strukturierte Systemtechnik, die für unterschiedliche Produktionsprozesse eine zyklussynchrone Inline-Qualitätsaussage erlaubt. Genauso wie die NEPRES-Systemtechniken (s. FQS-DGQ-CD-ROM 85-05) für die Großserie, stellt sie entsprechende Werkzeuge und Methoden zur Prozessüberwachung für Prozesse mit kleinen Losgrößen bereit. Dazu wird mittels sensortechnisch erfassten Signalverläufen und Prozessgrößen auf die erzielte Teilequalität geschlossen. Die Anpassung und das Trainieren von Datensätzen erfolgt bedarfsgesteuert während der Produktion.

Die realisierte Systemtechnologie wurde in unterschiedlichen Pilotanwendungen bei Partnerfirmen mit sehr positivem Ergebnis zum Einsatz gebracht. Schwerpunkt der Anwendungen waren Prozesse auf dem Sektor der Kunststoffverarbeitung, des Spritzgießens und des Umformens.

Das Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) bietet neben dem Basissystem NEPRES und QSLR zur Qualitätssicherung und -überwachung von Prozessen die Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen an. Weiterhin ist die Applikation der NEPRES und QSLR-Technologien an unterschiedliche Produktionsprozesse Teil des Leistungsspektrums.

---

Forschungsthema:	Qualitätssicherung bei Low-Runner-Prozessen: Konzepte, Systemtechnik, Applikationen
AiF-Projekt-Nr:	14575 N
Forschungsstellen:	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart
Beginn/Ende der Arbeiten:	01.09.2005 – 31.12.2007
Leiter der Forschungsstelle:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Dr.-Ing. e. h. Dr. h. c. mult. Engelbert Westkämper Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl
Projektbearbeiter / Verfasser:	Dipl.-Ing. Ernst Schmidberger
Obmann des projektbezogenen Arbeitskreises:	Jörg Sprenger

Das Forschungsvorhaben wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert.

## Vorwort

Die FQS - Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. hat es sich zur Aufgabe gemacht, die qualitätsrelevante Forschung und Entwicklung zu fördern, indem sie innovative Projekte finanziert und die Umsetzung der Projektergebnisse in die betriebliche Praxis unterstützt.

So werden die Ergebnisse von FQS-Projekten mannigfaltig den interessierten Unternehmen zur Verfügung gestellt, z.B. projektbegleitend durch so genannte Pilotanwendungen, betriebliche Workshops, Schulungen, etc. Zudem werden die Forschungsergebnisse nach Projektabschluss in der FQS-Schriftenreihe veröffentlicht. Damit steht eine umfassende Dokumentation qualitätsrelevanter Problemlösungen zur Verfügung.

Ziel der vorliegenden Projektarbeit, die mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert wurde, war die Qualitätssicherung und -überwachung von Prozessen mit kleinen Losgrößen sicherzustellen.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung (IPA, Stuttgart) ein Leitfaden für die Qualitätssicherung und -überwachung von LowRunner-Prozessen (QSLR) entwickelt. QSLR ist eine modular strukturierte Systemtechnik, die für unterschiedliche Produktionsprozesse eine zyklussynchrone Inline-Qualitätsaussage erlaubt und entsprechende Werkzeuge und Methoden zur Prozessüberwachung bereitstellt. Der im Rahmen des Forschungsprojektes erstellte QSLR-Leitfaden vermittelt dem Anwender die Grundlagen der Systemtechnologie und unterstützt ihn bei der Adaption eigener Problemstellungen. Darüber hinaus sind im Anhang des QSLR-Leitfadens exemplarische Applikationsberichte der Fa. PRIAMUS und BRANKAMP enthalten. Weitere Unterlagen zur Sensortechnik, Einbauthematik usw. wurden zur Verfügung gestellt und können jederzeit vor Ort am Institut eingesehen werden.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes liegen als FQS-DGQ-CD-ROM 85-06 vor. In der CD-ROM ist der Leitfaden, der Abschlussbericht sowie eine PowerPoint-Präsentation mit zwei AVI-Files enthalten.

Dem projektbegleitenden Arbeitskreis gehörten folgende Personen als ständige Mitglieder an, denen für ihre ehrenamtliche engagierte Mitarbeit gedankt sei:

Helmut Fischer	Johnson Controls Interiors GmbH
Michael Galle	Dr.-Ing. K. Brankamp System Prozessautomation GmbH
Erwin König	PRIAMUS Systems Technologies GmbH
Jörg Ohnemus	Richard Neumayer Gesellschaft für Umformtechnik mbH
Jörg Sprenger	PKT Präzisions-Kunststoff-Teile GmbH
Siegfried Zeller	Hörnlein Umformtechnik GmbH

Es bleibt zu wünschen, dass die vielfältigen Erfahrungen, Erkenntnisse und Anregungen aus der Projektarbeit, die dieser CD-ROM zugrunde gelegt sind, eine breite Akzeptanz und einen praktischen Nutzen finden.

Frankfurt am Main, im September 2008

Dr. Konstantin Petridis  
Geschäftsführer der FQS - Forschungsgemeinschaft Qualität e. V.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung und Systemkonzept</b>	<b>3</b>
2.1	Aufgabenstellung und Prozessanalyse . . . . .	3
2.2	Maschinenseitige und sensortechnische Vorbereitung . . . . .	5
2.3	Auswahl der zu überwachenden Qualitätsmerkmale . . . . .	6
2.4	abgeleitetes Systemkonzept . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Systemfunktionen und entwickelte Komponenten</b>	<b>9</b>
3.1	Basis-Software zur Messdatenerfassung . . . . .	9
3.2	Signalakquisition . . . . .	10
3.3	Versuchsplanung und Durchführung . . . . .	11
3.4	Signalvorverarbeitung . . . . .	14
3.5	Signalverarbeitung, Kenngrößenbildung und Zustandsvisualisierung . . . . .	15
3.6	Methoden und Verfahren zur Modellbildung . . . . .	18
3.7	Module zur Qualitätsüberwachung . . . . .	21
3.8	Systemvoraussetzungen . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Vorgehensweise bei der Systemadaption</b>	<b>25</b>
4.1	Definitionsphase . . . . .	25
4.2	Generierung der Trainingsdaten . . . . .	27
4.3	Visualisierung der Signaldaten . . . . .	28
4.4	Definition der Kenngrößen-Vektoren . . . . .	29
4.5	Berechnung der Kenngrößen-Vektoren (PKV / ROI) . . . . .	31
4.6	Erstellung Qualitätsklassen . . . . .	32
4.7	Beurteilung der Versuchsmuster mittels Visualisierungstool (Sammons-Mapping) . . . . .	33
4.8	(Nach)Training des Überwachungsmodells mit LVQ-Funktionalität . . . . .	36
4.9	Manuelle Optimierung des Modells . . . . .	37
4.10	Anwendung der Überwachungsfunktionalität . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Exemplarische Applikationen</b>	<b>42</b>
5.1	Demo-Spritzgießprozess am Fraunhofer IPA . . . . .	42
5.2	Pilotanwendungen bei Partnerfirmen . . . . .	47
5.2.1	Pilotanwendung beim Spritzgießen von Präzisionskunststoffteilen . . . . .	48
5.2.2	Pilotanwendung bei einem mehrstufigen Umformprozess . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>62</b>
	<b>Literatur</b>	<b>64</b>
<b>A</b>	<b>Unterlagen Firma Priamus</b>	<b>65</b>
<b>B</b>	<b>Unterlagen Firma Brankamp</b>	<b>82</b>



## 1 Einleitung

Qualität zu erzeugen und nicht zu erprüfem, wird in der Wirtschaft und insbesondere bei klein- und mittelständischen Unternehmen (kmU) zunehmend als wesentliches Produktivitätsziel dargestellt. Neben der Gewährleistung der Produktqualität innerhalb der geforderten Spezifikationsgrenzen ist die damit mögliche Produktivitätssteigerung durch reduzierte Fehlerraten ein wesentlicher Faktor. Dies erfordert eine qualitätsorientierte Prozessführung, die nur mit einer geeigneten Inline-Prozessüberwachung zu erzielen ist und in der Regel eine 100% Überwachung voraussetzt. Einen Weg dies zu erreichen, bietet beispielsweise der Einsatz industrieller Bildverarbeitung in Form von dem Prozess nachgelagerten Prüfstationen. Eine kontinuierliche Verknüpfung der Prüfergebnisse mit ursächlichen Prozessschwankungen ist mit derartigen Systemen jedoch nur bedingt möglich. Darüber hinaus sind in den letzten Jahren Systeme entwickelt und in den Markt eingebracht worden, die durch den Einsatz von signalanalytischer und rechnergestützten Methoden eine qualitätsorientierte Prozessüberwachung auf unterschiedliche Art ermöglichen. Ein Teil dieser Systeme überwacht Sensorsignale vorwiegend aus den Werkzeugen der Fertigungsprozesse und schließt von Abweichungen im Signalverlauf indirekt auf Prozessstörungen oder Qualitätsabweichungen. Zum Einsatz kommen dabei unterschiedliche Methoden zur Überwachung wie z.B. spezielle Formen der Hüllkurvenüberwachung oder die Überwachung unterschiedlicher Grenzwerte, die jeweils auf einzelne Signalverläufe angewandt werden (siehe Abschnitte A und B im Anhang). Diese Systeme sind relativ einfach handhabbar und sehr effizient in der Lösung der zugrunde liegenden Überwachungsaufgabe. Die Wechselwirkungsproblematik, die sich im Verlauf von Prozessschwankungen entsprechend in den unterschiedlichen Signalquellen gleich- oder gegenläufig abbilden, z.B. beim Spritzgießen zwischen Formnestdruck und -temperatur, kann auf diesem Wege jedoch nicht berücksichtigt werden. Dazu sind modellbasierte Systemansätze erforderlich, die zudem den Vorteil haben, dass damit ein direkter Zusammenhang zwischen Prozess- und Qualitätsschwankungen beschrieben werden kann.

Die vielfältigen Möglichkeiten zur Lösung dieser Problemstellung führten in den letzten Jahren zu intensiver, interdisziplinärer Forschung in diesem Themenbereich. Stellvertretend soll hier eine am Fraunhofer IPA bereits verfügbare Systemtechnik „NEPRES II“ genannt werden, die – aufbauend auf früheren Forschungsergebnissen – in einem von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten und von der Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS) betreuten Verbundforschungsvorhaben realisiert wurde (1). Dieses modellbasierte System erlaubt für komplexe Prozesszusammenhänge eine qualitätsbasierte Überwachung und Regelung unterschiedlicher zyklischer Produktionsprozesse und wird bisher vorwiegend im Fertigungsbereich Spritzgießen thermoplastischer Kunststoffe eingesetzt (Bild 1-1).

Das NEPRES-System basiert auf einer Beschreibung der Zusammenhänge von Streuungen der Prozess- und Qualitätsmerkmale der Produkte in definierter Umgebung des "Prozessarbeitspunktes", wobei die erforderliche Modellierung der Zusammenhänge mit Neuronalen Netzen erfolgt. Eine wesentliche Voraussetzung ist dabei die direkte oder indirekte sensorische Erfassung der für die Qualität signifikanten Prozessschwankungen. Diese sind für eine erfolgreiche Adaption eines Prozessmodells zwingend erforderlich. Um mögliche Streuungen in der Umgebung des "Prozessarbeitspunktes" systematisch abbilden zu können, ist die Durchführung eines statistischen Versuchsplans mit entsprechender Parametervariation zwingend erforderlich. Mit diesem werden in Verbindung mit der geprüften Qualität der Versuchsteile die für die Adaption notwendigen Musterdatensätze gewonnen, die zum Training der Neuronalen Netzen benötigt werden. Nach erfolgter Anpassung der Prozessmodelle können während der Anwendungsphase für jeden Zyklus die Ausprägung der trainierten Qualitätsmerkmale prognostiziert werden. Damit ist eine 100%-Qualitätsüberwachung möglich und Werkstücke, welche die vorgegebenen Toleranzen überschreiten, können über entsprechende Sortiereinrichtungen ausgeschleust werden. Sind entsprechende Schnittstellen zur Maschinensteuerung vorhanden, ist auch ein regelnder Eingriff des Systems über eine Anpassung der Prozesseinstellung möglich, um die Produktion von Ausschuss effektiv zu vermeiden.

Als nachteilig bei dieser Systemart haben sich der große Systemumfang und der hohe Aufwand für die

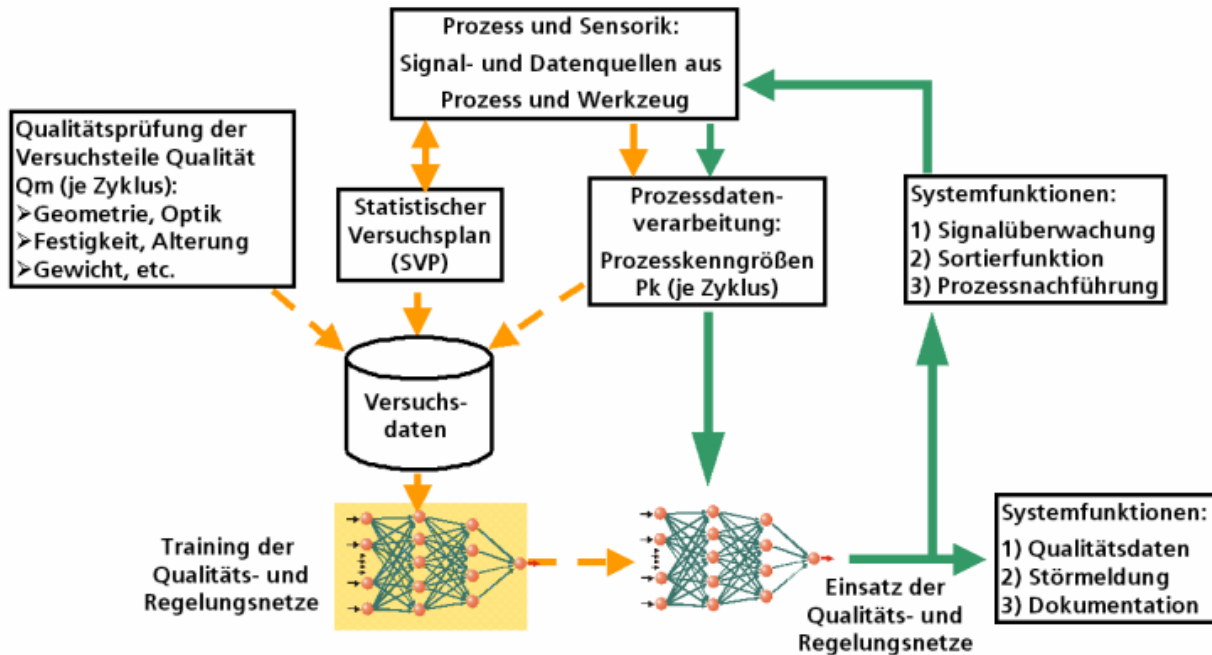


Bild 1-1: Systemadaption (orange) und -anwendung (grün) zur qualitätsbasierten Überwachung und Regelung mit NEPRES

Versuchsdurchführung erwiesen. Für Prozesse mit kleinen bis mittleren Losgrößen ist dieser Aufwand aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten in der Regel nicht vertretbar. Als weiteres Hemmnis ist anzuführen, dass Neuronale Netze nur zuvor trainierte Systemzustände sinnvoll bewerten können. Dies setzt voraus, dass in den Versuchen denkbare Schwankungen möglichst repräsentativ abgebildet werden. Zudem benötigen die neuronalen Netze dieser Systemart, wie auch andere Modelltools, für eine effiziente Arbeitsweise eine Extraktion signifikanter Größen aus den verfügbaren Datensätzen der Signalquellen. Unbekannte Prozesszustände, wie sie beim Spritzgießen unter anderem durch Schwankungen im Ausgangsmaterial auftreten können, werden ohne entsprechendes Training nicht erkannt und führen zu ungültigen Modellen. Verschleißerscheinungen in der Maschine und insbesondere im Werkzeug führen zu einer langsamen Prozessdrift, die mit den bisher eingesetzten Modellen nur unzureichend behandelt werden kann. Die aus diesem Sachverhalt abgeleiteten systemseitigen Anforderungen bildeten die Ausgangsbasis für das diesem Anwenderleitfaden zugrundeliegende Projekt „Qualitätssicherung bei Low-Runner-Prozessen – Konzepte, Systemtechnik, Applikationen (QS-Low-Runner)“. Bei diesem, von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten und von der Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS) betreuten Verbundforschungsvorhaben wurde eine neuartige Systemtechnik zur qualitätsbasierten Überwachung realisiert, die nachfolgend vorgestellt wird.

Diese nachfolgend auch mit QSLR-System bezeichnete Entwicklung basiert zwar auch auf der bei NEPRESII gewählten Systembasis, arbeitet aber mit neuartiger Musterdatenerzeugung, -visualisierung und Modellbildung. Der maßgebliche Grundgedanke bei der Entwicklung der QSLR-Systemtechnik war, auch für Prozesse mit anfänglich reduziertem Musterwissen eine leistungsfähige Überwachungseinrichtung zur Verfügung zu stellen.

## Qualitätssicherung und -überwachung von klei- nen Serien

Die QSLR-Systemtechnik hat uns einen neuen Weg zur Inline-Qualitätssicherung bei Präzisions-Spritzgiessprozessen aufgezeigt. Insbesondere die Kopplung der am Markt bekannten Sensortechnik der Priamus GmbH in Salach mit dem QSLR-System ermöglicht eine effiziente Kopplung des Gesamtsystems mit den Prozessen. Die neuartigen Überwachungsfunktionen in Verbindung mit der Visualisierung des aktuellen Prozesszustandes dürften dieser Systemtechnik nach der geplanten Weiterentwicklung ein großes Anwendungspotential ermöglichen.

Jörg Sprenger  
Leiter Kunststoffverarbeitung  
PKT Präzisions-Kunststoff-Teile GmbH

**Fraunhofer Institut**  
Produktionstechnik und  
Automatisierung

www.ipa.fraunhofer.de

### Ihr Kontakt

Dipl.-Ing. E. Schmidberger  
Telefon: 0711/970-1813  
Schmidberger@ipa.fhg.de

### FQS

Forschungsgemeinschaft Qualität e.V.

www.fqs.de

### Ihr Kontakt

Dr. Konstantin D. Petridis  
Telefon: 069 / 9 54 24 -125  
pe@dgq.de

### Problemstellung

Zunehmend komplexere Fertigungsprozesse mit immer kleineren Losgrößen (LowRunner) veranlassen die Produzenten, die Prozessgüte mittels kontinuierlich erfasster Prozessinformation zu überwachen und die angestrebte Qualität zu gewährleisten. Der prinzipielle Ansatz dabei ist, anhand von Prozesssignalen direkt auf Qualitätsschwankungen schließen zu können. Damit soll einerseits eine 100%ige Qualitätsüberwachung erzielt und andererseits eine Möglichkeit geschaffen werden, qualitätsabhängig sofort in den Prozess eingreifen zu können.

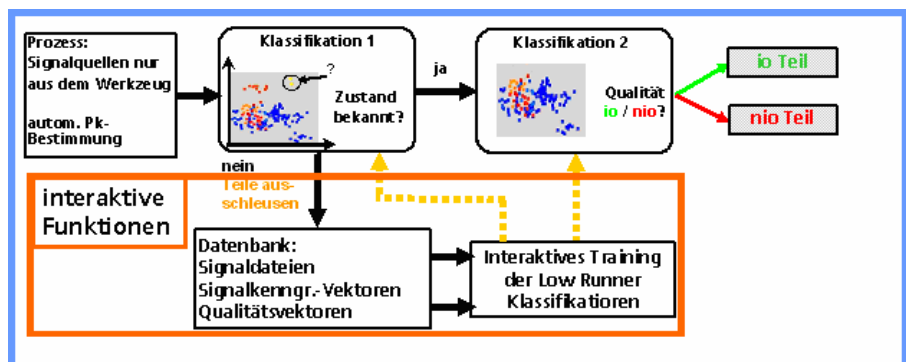
### Unsere Lösung

In dem von der FQS geförderten Forschungsprojekt QS-LowRunner wurde eine modular strukturierte Systemtechnik realisiert, die für unterschiedliche Produktionsprozesse eine zyklussynchrone Inline-Qualitätsaussage erlaubt. Dabei wurde ein Tristate-Systemkonzept umgesetzt, welches die aktuelle Signalinformation aus dem Prozess als "bekannt" oder "unbekannt" bewertet und im Falle „bekannt“

eine Qualitätsklassifikation "iO" oder "niO" durchführt. Die integrierte Signalverarbeitung umfasst diverse Kenngrößen, adaptive Signaltransformationen und signalspezifische ROI-Funktionen (Region of Interest). Die Interpretation der Zusammenhänge zwischen den Signal- und Qualitätsschwankungen wurde mit der LVQ-Methode realisiert (Learning Vector Quantization). Die LVQ-Klassifikatoren werden anhand von Datensätzen trainiert, die anfänglich z.B. mit Hilfe einfacher Prozessvarianzen oder Versuchspläne gewonnen werden. Die weitere Anpassung erfolgt bedarfsgesteuert während der Produktion. Basierend auf den bisherigen Ergebnissen ist eine Weiterentwicklung der Systemtechnik sowohl methodentechnisch als auch funktional in Planung.

### Unsere Leistungen

- Bereitstellung eines umfangreichen QSLR-Anwender-Leitfadens (e-Form)
- Unterstützung bei der Problemanalyse und Konzeption von Pilotanlagen
- Realisierung von Pilotanlagen mit der QSLR-Systemtechnik



(Pk = Prozesskenngrößen)

# Brief-/Fax-Antwort

## FQS-Forschungsgemeinschaft Qualität e.V.

August-Schanz-Straße 21A  
60433 Frankfurt am Main

**Fax (069) 9 54 24-133**

Ich/ Wir bestelle(n)

_____ Stück	FQS-DGQ-Band Nr. 85 – 06 <b>Leitfaden für die Qualitätssicherung und -überwachung von LowRunner-Prozessen (QSLR)</b> 1. Auflage 2008, CD-ROM, EUR 99,-* <b>ISBN 978-3-940991-03-04</b>
* DGQ-/FQS-Mitglieder erhalten 10 % Rabatt	

- Bitte senden Sie mir ein Angebot zur Realisierung von Pilotanlagen mit derr QSLR-Systemtechnik
- Für die Umsetzung im eigenen Betrieb wünsche ich Unterstützung bei der Problemanalyse und Konzeption von Pilotanlagen

Name, Vorname \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

Betriebsgröße\* \_\_\_\_\_

relevante Prozesse\* \_\_\_\_\_

vorhandene Maschinen\* \_\_\_\_\_

Straße \_\_\_\_\_

PLZ, Ort \_\_\_\_\_

Telefon \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

Datum/Unterschrift \_\_\_\_\_