

# **Die Applikation und Integration eines Monitoring- und Diagnosesystems für Stufenschalter in moderne Überwachungskonzepte**

Dr. Karsten Viereck  
MR Maschinenfabrik Reinhausen GmbH

1. Einleitung
2. Zielrichtung moderner Monitoringsysteme für Stufenschalter
3. Veränderung der Anlagen – Leittechnikstruktur
4. Stufenschalter-Monitoring- und Diagnosesystem TM100
  - 4.1 Module eines Stufenschalter-Monitoring- und Diagnosesystems
  - 4.2 Ausrüstung des MR-Basissystem
  - 4.3 Integration im Motorantrieb ED
5. Visualisierung der Monitoringdaten
6. Zukünftige Instandhaltungsstrategien
7. Ausblick
8. Literatur

## 1. Einleitung

Von den Betreibern der Großtransformatoren in den Energieversorgungsnetzen, die fast vollständig mit Stufenschaltern ausgerüstet sind, werden zunehmend ökonomische Aspekte bei der Einschätzung der Betriebsparameter dieser kostenintensiven Betriebsmittel betrachtet.

Neben einer von den Betreibern angestrebten Kostenreduzierung bei der Wartung der Stufenschalter wird gleichzeitig eine Erhöhung der Systemzuverlässigkeit gefordert.

Eine Lösung, um diese auseinanderstrebenden Entwicklungstendenzen kontrollieren zu können, bietet der Einsatz von Monitoringsystemen an Stufenschaltern von Transformatoren.

Im folgenden Beitrag wird zunächst die Struktur und der Aufbau eines praktisch ausgeführten Stufenschalter-Monitoringsystems mit seiner speziellen Sensorproblematik erläutert, um dann verschiedene Konfigurationsvarianten in Bezug auf die prozeßnahe Überwachungstechnik in den Umspannwerken zu diskutieren.

In diesem Zusammenhang wird auch die Notwendigkeit des Einsatzes eines Motorantriebes mit einer elektronischen Steuerung begründet, die eine höhere Zuverlässigkeit bietet und die Basis für weiterreichende Monitoringfunktionen bilden kann.

Gleichzeitig werden die Aufgaben und Ziele bei der Realisierung eines Stufenschalter-Monitoringsystems erläutert, um Trends bezüglich innovativer Überwachungs- und Meldeverfahren aufzuzeigen.

Desweiteren wird auf die Möglichkeiten zukünftiger Wartungsstrategien für Stufenschalter eingegangen.

## 2. Zielrichtung moderner Monitoringsysteme für Stufenschalter

Die ersten Monitoring-Anwendungen für Stufenschalter wurden von nordamerikanischen Firmen entwickelt, um einer Häufung von Stufenschalterausfällen entgegenzuwirken. Ein klassischer Anwendungsfall ist dabei die Temperaturüberwachung von Vorwählerkontakten in Anbauschaltern, die wegen ihrer hohen Strombelastung und seltenen Schalthandlungen bei falscher Dimensionierung zur Überhitzung neigen können. Die Spannungsregelung findet in amerikanischen Transformatoren zumeist auf der Unterspannungsseite statt. Lastströme von mehr als 1.000A sind die Regel, welche selbst bei geringfügigen Kontaktanomalien zu hohen Verlustenergieumsätzen führen können, was bei einer fehlenden Diagnoseeinrichtung zwangsläufig zu einem Totalverlust des Schalters führen kann.

Da bis 1995 kein nationaler Standard für die Entwicklung und Produktion von Stufenschaltern verbindlich war, konnten sich hier Design-Fehler ergeben, mit denen sich amerikanische EVU's seit Jahren auseinandersetzen müssen. Somit standen primär bei den ersten amerikanischen Monitoring-Anwendungen die Schadensverhütung bzw. -begrenzung im Vordergrund.

Für die europäischen Stufenschalterhersteller ist dagegen schon seit 1966 die Norm IEC214 für die Konstruktion und Dimensionierung der Stufenschalter verbindlich, so daß Design-Fehler vermieden werden können. Demzufolge können hier die Aufgaben von Stufenschalter-Monitoringsystemen an die Zielsetzungen der Betreiber angepaßt werden, die nicht von konstruktiven Mängeln geprägt ist, sondern eine effizientere Nutzung der Betriebsmittel zum Inhalt hat.

Die Entwicklung eines Monitoringsystems für Stufenschalter bei der Maschinenfabrik Reinhausen erfolgte deshalb in erster Linie aus Kundenanforderungen, die aus einem erhöhtem Informationsbedarf resultieren, so daß das Stufenschalter-Monitoring die Basis für folgende Features bildet:

- Diagnostik
- Fehlerfrüherkennung
- Gesteigerte Verfügbarkeit der Betriebsmittel
- Übersichtliche Betriebsführung
- Flexibler Einsatz der Überwachungsgeräte
- Verringerung der Wartungskosten

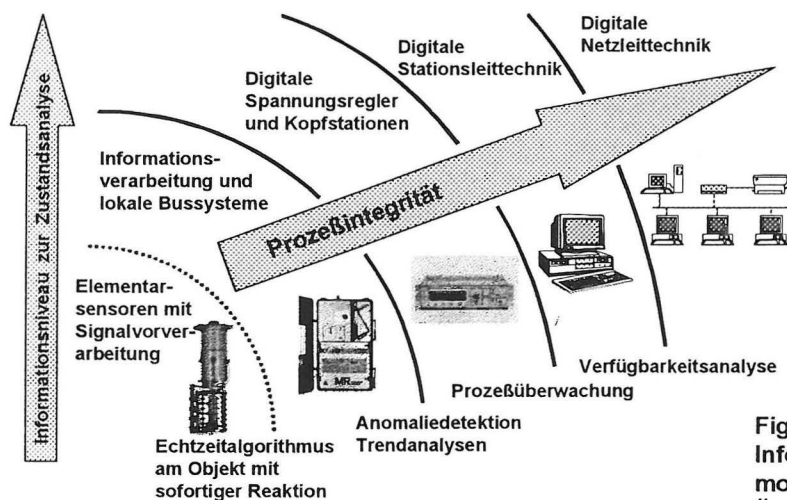
Damit verbunden ist die Applikation von Monitoringsystemen für den Einsatz an Stufenschaltern von Transformatoren bei Umsetzung von neuen und auch bekannten Wirkprinzipien einschließlich der dazugehörigen Elektronik auf die speziellen Anforderungen der Transformatorumwelt.

Die Einheit von Monitoringsystem mit integriertem Expertensystem bildet die Datenbasis für die neuartigen Speicher- und Anzeigemedien der modernen Anlagenleittechnik.

Der Übergang zur zustandsbezogenen Instandhaltung von Stufenschaltern, ein zunehmendes Kostenbewußtsein der Betreiber und die Einführung moderner, rechnergestützter Leittechnik fordern vom Hersteller des Stufenschalters die Entwicklung eines speziellen Monitoringsystems, daß auch den Anforderungen der unterschiedlichsten Transformatorenbetreibern gerecht wird.

Ein Monitoringsystem ist nicht nur schlechthin ein Datenlogger zur Aufzeichnung betriebsrelevanter Parameter sondern soll als System:

- den nutzbaren Informationsgehalt eines Meßwandlers / Sensors auf ein höheres Niveau bringen, d.h. weiter ausschöpfen, sowie
- die interessierende Nutzinformation aus einer Vielzahl von weniger informativen Einzelinformationen gewinnen.



**Fig. 1**  
**Informationsfluss**  
**moderner**  
**Überwachungssysteme**

das Hauptaufgabengebiet eines automatischen Diagnosesystems besteht in dem Erkennen von Fehlern, die zu einem vollständigen Ausfall des Stufenschalters innerhalb mehrerer Tage, Wochen oder Monate führen.

Dabei ist der Einsatz von Monitoringsystemen an Stufenschaltern vor allem zur Gewährleistung der Betriebssicherheit über den gesamten Nutzungszeitraum bedeutsam.

Für die Prognostizierung von kurzfristigen Stufenschalterausfällen infolge z.B. eines Kurzschlußstromes oder Entladungen infolge einer transienten Überspannung mit steiler Anstiegsflanke sind Monitoringsysteme nicht praktikabel.

Intelligente Datenerfassungssysteme am Stufenschalter müssen in der Lage sein, den zeitlichen Ablauf seines bisherigen Betriebes dokumentieren zu können, seinen gegenwärtigen Betriebszustand zu beschreiben bzw. eine Vorhersage über sein wahrscheinlich zukünftiges Verhalten zu treffen.

Klassische Geräte wie z.B. Zählwerke oder Stellungsanzeigen sind wegen ihrer Wirkprinzipien nicht in der Lage, prognostizierend zu arbeiten und beschreiben den Betriebszustand des Stufenschalters daher nur unvollkommen.

Damit war bisher hinsichtlich der Steuerung, Überwachung und prognostizierenden Diagnostik von Stufenschaltern eine gewisse Stagnation eingetreten, die mit den herkömmlichen Überwachungsgeräten nicht mehr zu lösen ist.

Gleichzeitig wird von den Transformatorenbetreibern eine Erhöhung der Verfügbarkeit der Stufenschalter gefordert, um Wartungskosten einzusparen.

Neben einer Verbesserung der Überwachung und der Erhöhung der Verfügbarkeit eines Stufenschalters ist die Nutzung der dem Lastumschalter innewohnenden Reserven, wie z.B. die zu einem bestimmten Zeitpunkt mögliche Schaltleistung, oder auch die thermische Überlastung ein weiteres Motiv für den Einsatz von Monitoringsystemen.

Dies erfordert zwingend, daß eine ständige Erkennung, Meldung und auch Registrierung des Betriebszustandes des Stufenschalters vorgenommen wird, um einerseits die vorhandenen Reserven nutzen zu können, gleichzeitig aber auch, um auf die zustandsbezogene Wartung übergehen zu können.

Einen Ausweg aus dieser Situation stellt der gezielte Einsatz von Sensoren in Verbindung mit Monitoringsystemen speziell für die Belange des Stufenschalters dar, um neue Informationen und Daten zu erhalten und andererseits die vorhandenen Überwachungsgeräte in ihrer Funktion zu ergänzen bzw. ihnen eine neue Qualität zu geben.

Aus diesem Grund bietet die Maschinenfabrik Reinhausen eine Ausrüstung für den Motorantrieb des Stufenschalters an, die eine Aussage über die Beanspruchung, eine Zustandsanalyse und eine Dokumentation der Betriebs- und Zustandsdaten für eine Fehlerprognostizierung liefern kann.

Für ein Stufenschalter-Monitoring- und Diagnosesystem lassen sich daraus folgende Ziele ableiten:

- Zustandsabhängige Instandhaltung von Stufenschalter und Motorantrieb
- Verhinderung des Notfalles durch prognostizierende Diagnostik
- Verlängerung der Wartungsintervalle
- Abschätzung der Überlastbarkeit
- Selbstüberwachung der Einheit Stufenschalter – Motorantrieb
- Transparente Betriebsführung

### **3. Veränderung der Anlagen - Leitechnikstruktur**

Der Wandel der Leitechnikstruktur innerhalb der Energieversorgungsunternehmen von der parallelen Befehlsübermittlung über Leitechnikfeldgeräte und Rangierverteiler zur seriellen Datenübertragung über Bussysteme mit definierten Schnittstellen, fordert die Entwicklung von intelligenten Betriebsmitteln.

International standardisiert werden die Übertragungsprotokolle durch die IEC-Working Group TC57.

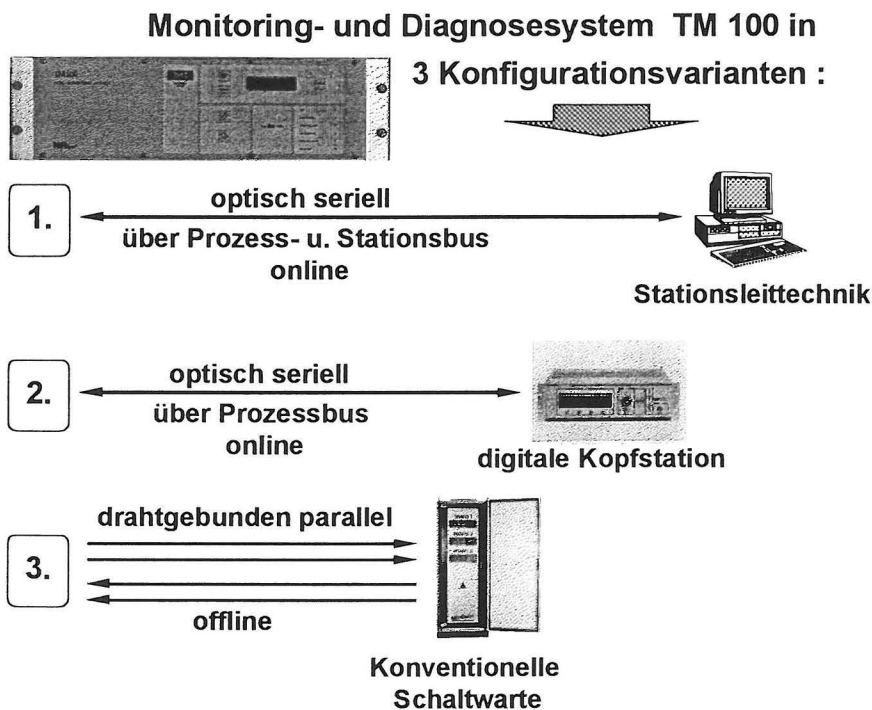


Gefordert werden u. a. von einem Leittechnik-Interface folgende Eigenschaften:

- \* bidirektionaler Datentransfer
  - \* anpaßbar
  - \* kommunikationsfähig mit konventioneller Leittechnik
  - \* kommunikationsfähig mit digitalen Systemen (busfähig)
- mit der Möglichkeit
- \* der Eigenüberwachung
  - \* der Nachkalibrierung
  - \* der Parametrierung

Demzufolge war die Möglichkeit einer multivalenten Ansteuerung des Monitoringsystems einer der Hauptaufgaben bei der Systementwicklung.

Das im weiteren Verlauf noch zu erläuternde Stufenschalter-Monitoring- und Diagnosesystem TM100 erlaubt den Betrieb in drei verschiedenen Grundvarianten:



**Fig. 2**  
**Konfigurations-**  
**Varianten**

Das Stufenschalter-Monitoring- und Diagnosesystem TM100 erlaubt im Ergebnis der Entwicklung einen direkten Anschluß von Stationsleittechnik unterschiedlichster Hersteller über Lichtwellenleiter.

Dabei kommen der Maschinenfabrik Reinhausen vor allem ihre langjährigen Erfahrungen bei der Leittechnikbindung von digitalen Spannungsreglern für Transformatoren zugute.

So kann das System, wie auch unter Punkt 2 gezeigt, direkt mit einem Spannungsregler gekoppelt werden. Über diese digitale Kopfstation können wiederum Daten für die Stationsleittechnik aufbereitet werden. Gleichzeitig ist damit auch die unmittelbare Steuerung des Motorantriebes gewährleistet.

Ist keine Leittechnikkopplung möglich, so kann das System auch vollkommen autark arbeiten. Damit ist jedoch keine Übertragung von Daten bzw. Meldetexten mehr möglich. Hier ist lediglich die Übertragung der einfachen Information über den Betriebszustand in Form einer „Ampelmeldung“ vorgesehen:

„Grüne Meldeleuchte“ – Funktion des Stufenschalters innerhalb der zulässigen Grenzwerte

„Gelbe Meldeleuchte“ – Es wurde ein vorgegebener Grenzwert überschritten, eine Wartung des Stufenschalters / Motorantriebes ist notwendig, der Weiterbetrieb des Stufenschalters ist möglich.

„Rote Meldeleuchte“ – Ein den Weiterbetrieb des Stufenschalters unmittelbar gefährdender Fehler ist aufgetreten, der Motorantrieb des Stufenschalters wurde stillgelegt.

Detaillierte Informationen über den Betriebszustand müssen in diesem Fall manuell mit einem Laptop vom Monitoringsystem vor Ort heruntergeladen werden.

Ebenfalls möglich ist es, daß System mit einem Modem auszurüsten, um so Daten, Parameter und Meldungen auszutauschen.

## 4. Stufenschalter- Monitoring- und Diagnosesystem TM100

### 4.1 Module eines Stufenschalter- Monitoring und Diagnosesystems

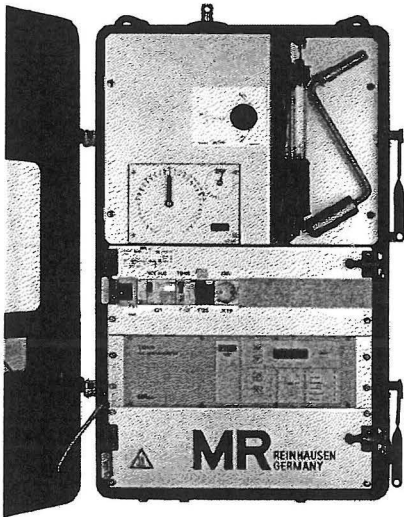


Fig. 3  
Motorantrieb ED100SM

Installiert ist das Monitoringsystem TM100 (Fig. 3) im neuentwickelten Motorantrieb ED. Es beinhaltet als Funktionskern einen 16bit – Microcontroller, dessen Funktion mit einem Watch-Dog überwacht wird und mit einer Echtzeituhr zur Generierung von Zeitstempeln ausgerüstet ist. Die Programmierung erfolgte in C++ und ist damit sehr maschinennah ausgeführt worden, was sich in sehr kurzen Verarbeitungszeiten niederschlägt. Als Datenspeicher dient eine PCMCIA-Memorycard, die die Datenbank und Parameterdateien speichert. Innerhalb des PCMCIA-Standards sind derzeit Speicherkapazitäten bis zu 256 Mbyte realisierbar. Auf die Installation einer Festplatte wurde bewußt verzichtet, da im Motorantrieb mit einer erhöhten Belastung der elektronischen Bauteile durch Vibration gerechnet wird. Neben dem Fehlen jeglicher mechanischer Komponenten bietet eine Memorycard weiterhin den Vorteil, daß sie in einem Laptop direkt ausgelesen werden kann, ohne über ein Interface gehen zu müssen. Eine Neuparametrierung oder ein Update des Systems ist durch den einfachen Tausch der Karte realisierbar und kann damit auch problemlos von eingewiesenem Personal durchgeführt werden.

Zur Menüsteuerung vor Ort ist ein zweizeiliges LCD-Display installiert, das in erster Linie der Anzeige des aktuellen System- und Betriebszustandes dient. Mit einem „Ort-Fern - Um-

schalter kann die Steuerung des Motorantriebes übernommen werden. Eine Flachtastatur ermöglicht die Steuerung des Motorantriebes („höher“, „tiefer“) und menügeführte Bedienung des Monitoringsystems. Damit wird deutlich, daß der installierte Rechner neben der Erfüllung der Monitoring-Aufgaben auch für die Steuerung des Motorantriebes genutzt wird. Dies ist allein aus der Tatsache heraus sinnvoll, da Steuerungs- und Monitoringprozesse zwangsläufig vernetzt sind.

Für den Datentransfer sind in der Grundausstattung drei Schnittstellen verfügbar:

- zwei bidirektionale Lichtwellenleiterschnittstellen für den Anschluß an die Stationsleittechnik über einen Prozeßbus, einer digitalen Kopfstation bzw. eines Spannungsreglers oder Verbindung mit einem Transformatoren-Monitoringsystem
- ein RS232-Serviceinterface für den unmittelbaren Datenaustausch vor Ort
- optional ein Modem-Interface durch das Umleiten einer der beiden LWL-Schnittstellen
- optional ein konventionelles Interface, das mit potentialfreien Kontakten ausgerüstet ist

Darüber hinaus sind sechs verschiedene Leuchtdioden montiert, die z.B. die Funktion einer „Lauflampe“ erfüllen oder eine „gesteckte Handkurbel“ signalisieren.

Für die Sensorik des Systems sind analoge und digitale Eingangskanäle verfügbar, deren Anzahl an die Spezifikation des Systems angepaßt werden kann.

## 4.2 Ausrüstung des MR- Basissystems

Die Sensor- und Hardware-Ausrüstung des MR-Stufenschalter-Monitoring- und Diagnosesystems orientiert sich an zu erfüllenden Meßaufgaben. Sie gliedert sich in sechs Funktionsbereiche:

- Drehmomenterfassung
- Temperaturmessung
- Positionserfassung
- Implementierung eines Kontaktabbrandmodells
- Laststromerfassung
- Schaltüberwachung des Lastumschalters

Die Messung des vom Motorantrieb an den Stufenschalter abgegebenen Drehmomentes erfolgt indirekt durch Berechnung über die aufgenommene Motorwirkleistung. Berücksichtigung findet dabei weiterhin das Übertragungsverhalten des gesamten Getriebezuges zwischen Motorantrieb und der Antriebswelle des Stufenschalters.

Für die Temperaturmessungen werden grundsätzlich digitale Temperatursensoren eingesetzt, da diese die Möglichkeit der Selbstüberwachung bieten und gleichzeitig Analog-Digital-Umsetzer entfallen. Der Temperaturmeßwert wird bei diesen Sensoren durch eine Pulsbreiten-Modulation repräsentiert. Sensoren, die eine Kabelverbindung zwischen Einbauort (Lastumschalterölgefäß, Stufenschalterkopf) nutzen, werden über RS485-Bus mit dem Rechner verbunden, so daß Fehlmessungen infolge von induzierten Störspannungen vermieden werden.

Die Positionsmessung umfaßt bei einem Motorantrieb mit Monitoringausrüstung bei weitem nicht nur die Signalisierung der aufgeschalteten Stufe, sondern es ist durch den Einsatz eines Resolvers möglich, die exakte Position des Feinwählers während des Stufungsvorganges zu bestimmen. Damit ist das Monitoringsystem in der Lage, Drehmomentmeßwerte mit der Position des Fein- bzw. Vorwählers zu korrelieren.

Um bei mit einem Monitoringsystem ausgerüsteten Stufenschaltern zur zustandsbezogenen Instandhaltung übergehen zu können, ist im Systemrechner ein mathematisches Abbrand-

modell implementiert, das als Datenbasis Ergebnisse von Kontaktabbrandversuchen im MR-Versuchsfeld und Erkenntnisse der Serviceabteilung nutzt. Um die Kontaktabbrände berechnen zu können, ist die Erfassung des vom Stufenschalter abzuschaltenden Stromes notwendig. Dazu kann das Monitoringsystem mit einer Strommeßkarte ausgerüstet werden, die über einen Durchführungsstromwandler des Transformators, den vom Stufenschalter abzuschaltenden Laststrom mißt. Ist das Monitoringsystem mit der Leittechnik oder mit einem Transformatoren-Monitoringsystem verbunden, so können die benötigten Laststromwerte natürlich auch über die Standardprotokolle übertragen werden.

Die Schaltüberwachung im Lastumschalter hat in Bezug auf das Monitoringsystem zwei Aufgaben: Zum Ersten wird im Lastumschalter selbst der ordnungsgemäße zeitliche Ablauf des Umschaltvorganges überwacht und zum Zweiten erzeugt die Schaltüberwachung einen Impuls zur Synchronisation der Drehmomentüberwachung.

Neben der unter Echtzeitbedingungen realisierten Kontrolle des vom Stufenschalter aufgenommenen Drehmomentes, wird nach Aufzeichnung der Drehmomentkurve im Rechner des Monitoringsystems die gesamte Aufzeichnung an Hand des von der Schaltüberwachung generierten Impulses synchronisiert. Damit ist die Möglichkeit gegeben, den gesamten Stufungsvorgang in acht aufeinanderfolgende Funktionsabläufe zu unterteilen und sie jeweils separat einer Trendanalyse unterziehen zu können.

Die dazu notwendigen Basisdaten, die bei der Endprüfung des Stufenschalters im Werk gespeichert werden, sind auf der Memorycard des Systems hinterlegt.

### 4.3 Integration im Motorantrieb ED

Das Monitoring- und Diagnosesystem TM100 ist integraler Bestandteil des neuen MR-Motorantriebes mit der Typenbezeichnung ED. Ein mit einem Monitoringsystem ausgerüsteter ED-Motorantrieb, Typenbezeichnung ED100SM, unterscheidet sich in seinen Außenabmessungen nicht von einem mit konventioneller Steuerungstechnik ausgerüsteten Motorantrieb. Alle Funktionen entsprechen der Motorantriebsvariante mit konventioneller Schaltungstechnik. Microschalter, die in der Ablaufsteuerung des konventionellen Motorantriebes benötigt werden und deren Funktion durch den Microcontroller übernommen wurde, werden genutzt, um eine zusätzliche Redundanz zu schaffen.

Alle elektronischen Baugruppen sind in einem 19"-Rack montiert, welches wiederum servicefreundlich in einem Schwenkrahmen eingebaut ist. Damit ist die Hardware-Erweiterung beim Einsatz weiterführender Sensorik sichergestellt.

## 5. Visualisierung der Monitoringdaten

Das im Monitoringsystem installierte LCD-Display wurde absichtlich nicht dazu bestimmt, die komplette Visualisierung von Daten, Parametern, Events und Meldungen zu ermöglichen, da hierfür ein leistungsfähiger PC benötigt wird.

Das Visualisierungsprogramm nutzt als Betriebssystem Windows®NT oder Windows®95 und setzt in jedem Fall auf die im Monitoringsystem gespeicherte Datenbank auf. Nur dadurch ist es möglich, von einem beliebigen Ort aus die Auswertung oder Systemwartung durchführen zu können.

Die nach der Informationsvorverarbeitung im Monitoringsystem ablaufenden Vorgänge zur Anomaliedetektion, Trendanalyse und Anwendung des mathematischen Modells stellen die Funktionsfähigkeit des Systems Stufenschalter / Motorantrieb sicher und erzeugen die den aktuellen und historischen Betriebszustand beschreibende Datenbank. Diese auf der Memorycard gespeicherte Datenbank enthält die Ergebnisse des Monitoringprozesses, zuzüglich

der für den individuellen Stufenschalter notwendigen Parametrierungsdateien und Fingerprints.

Da zu gewährleisten ist, daß das Monitoringsystem auch ohne Anschluß eines externen Rechners die Überwachungs- und Steuerungsalgorithmen beherrscht, sind alle grafischen Auswerte-Algorithmen auf den jeweiligen Visualisierungsrechner ausgelagert worden. Der Hauptgrund besteht jedoch in der Priorität der Überwachungs- und Diagnosefunktionen des Monitoringsystems. So hat z.B. die unter Echtzeitbedingungen durchgeführte Drehmomentüberwachung unmittelbar während des Stufens des Schalters die absolut höchste Priorität, denn werden die in der Parameterdatei gesetzten Grenzwerte nach entsprechender Plausibilitätskontrolle überschritten, so ist das Monitoringsystem in der Lage, den Motorantrieb zu stoppen, noch bevor der Lastumschalter schaltet.

Ergänzend dazu erfolgt nach vollständigem Abschluß und Synchronisation des Drehmomentdatensatzes eines Stufungsvorganges die Bewertung jedes einzelnen der acht aufeinanderfolgenden Funktionsabläufe. Dies beinhaltet die Anomaliedetektion und Trendanalyse. Werden Abweichungen festgestellt, so werden vom System eine oder auch mehrere Meldungen abgesetzt und im Extremfall die nächste Schaltung nicht mehr zugelassen.

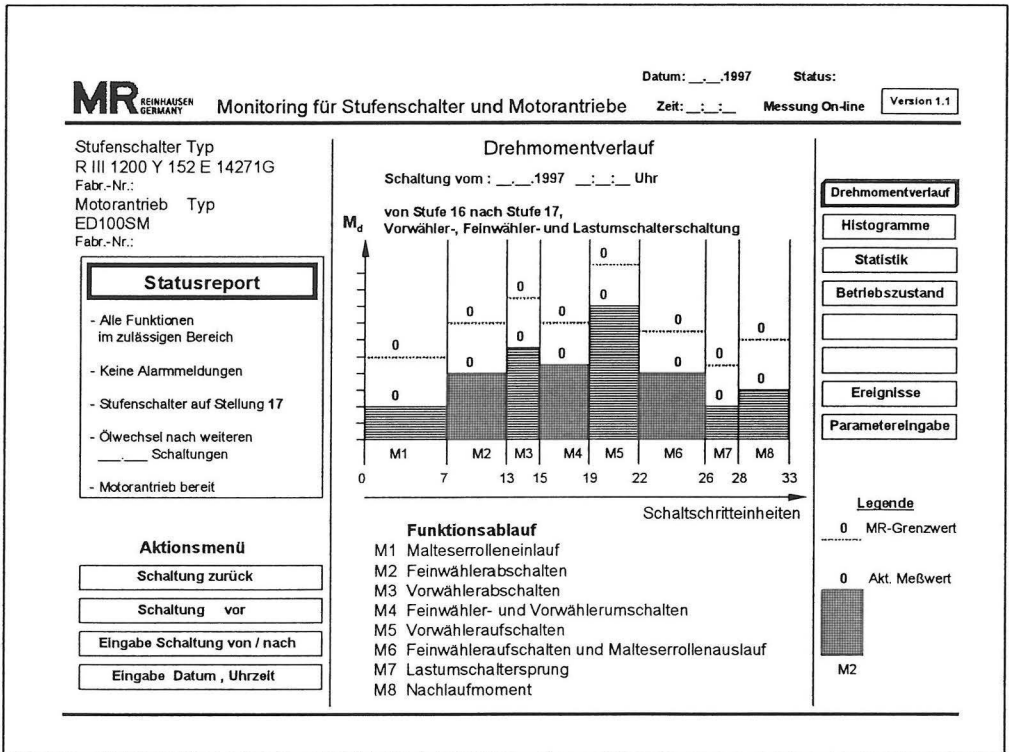


Fig. 4: Bildschirmseite zur Bewertung der Drehmomentaufzeichnung durch Auswertung von acht Funktionsabläufen (ohne Werteeintrag)

Alle dazu notwendigen Daten, die Ergebnisse und Meldungen werden selbstverständlich gespeichert.

Der Algorithmus der Datenverarbeitung ist bei allen physikalischen Eingangsgrößen wie folgt darstellbar:

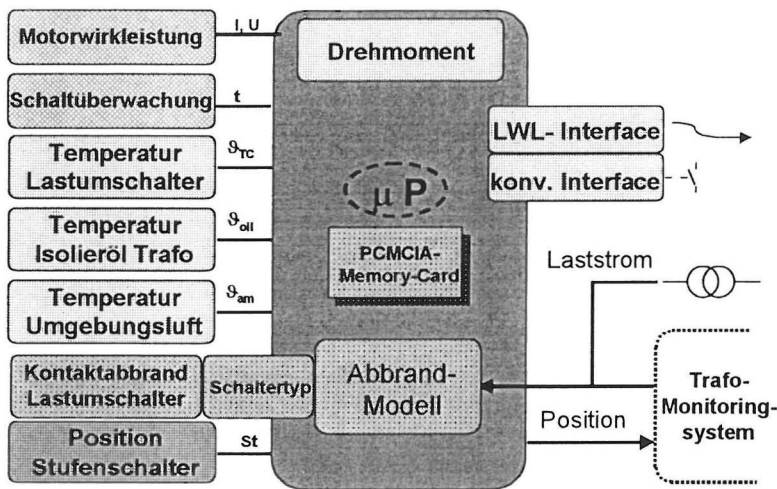
**MESSUNG ⇒ KLASSIFIZIERUNG ⇒ SCHLUSSFOLGERUNG ⇒ MASSNAHME ⇒ MELDUNG**

Das Monitoring- und Diagnosesystem TM100 unterscheidet sich damit grundlegend von bisher bekannten Monitoring-Lösungen, die im wesentlichen als Datenlogger zu verstehen sind und den zu beobachtenden Prozeß nicht beeinflussen können. Mit dem oben gezeigten Al-



gorithmus läßt sich das System Motorantrieb – Monitoringsystem insgesamt als intelligenter Antrieb charakterisieren, da es selbständig im Rahmen vorgegebener Grenzen Maßnahmen einleiten kann. Die umfangreichen Meldetexte des Statusreports zur Beschreibung des jeweiligen Betriebszustandes sind Bestandteil der Parameterdatei und können auch in anderen Sprachen geladen werden.

Neben der Überwachung des Drehmomentes werden weiterhin vier verschiedene Temperaturemeßwerte aufgezeichnet, die zum einen das Überlastverhalten des Stufenschalters charakterisieren und zum andern für die Präzisierung der Übertragungsfunktion des Getriebezuges bei der Drehmomentmessung genutzt werden.



**Fig. 5**  
**Module eines**  
**Stufenschalter-**  
**Monitoring- und**  
**Diagnosesystems**

Für die Berechnung der Kontaktabbände mit Hilfe des mathematischen Abbrandmodells und zur Beurteilung des Belastungszustandes (Überstromblockierung) ist, wie schon erwähnt, die Kenntnis des Laststromes des Transformators notwendig. Die Messung kann über einen internen Meßwertumsetzer erfolgen bzw. der Meßwert wird bei Anschluß an ein Transformatoren-Monitoringsystem oder der digitalen Stationsleittechnik über eine serielle Schnittstelle übertragen.

Abgesehen von der numerischen und grafischen Präsentation der gespeicherten Daten, bietet die Software die Möglichkeit die Meßwerte statistisch auszuwerten. Weitere Aspekte bietet die Darstellung historischer Abläufe zur Anomaliedetektion und Trendanalyse. Dabei können mehrere Meßwerte wahlweise korreliert werden. Gleichzeitig ist es möglich Zeitfenster für die Visualisierung zu setzen, um Detailinformationen zu erhalten.

Alle Ereignisse, die den Stufenschalter oder den Motorantrieb betreffen bzw. seinen Betriebszustand kennzeichnen, werden zusammen mit einem Zeitstempel gespeichert, so daß sie eindeutig identifizierbar sind.



## 6. Zukünftige Instandhaltungsstrategien

Die bisherigen Wartungskriterien für Stufenschalter, abhängig von der Betriebszeit oder der Schaltzahl, je nach dem welche der beiden Kriterien zuerst erreicht wurden, trugen ohne Zweifel zu der hohen Betriebszuverlässigkeit der Stufenschalter bei. Der angestrebte Übergang zur zustandsabhängigen Instandhaltung wird durch einen verstärkten Kostendruck auf der Betreiberseite forciert.

Während bisher im Rahmen der periodischen Instandhaltung eine Stufenschalterwartung nach 20.000 – 100.000 Schaltungen bzw. einer Betriebszeit von 6 – 7 Jahren erfolgte, wenn die Schaltzahl in dieser Zeit nicht erreicht wurde, kann sich der Zeitpunkt für die Instandhaltung an den Angaben des Monitoringsystems orientieren.

Im Ergebnis dessen ist als Bestandteil des Leistungsumfanges des Monitoring- und Diagnosesystems die Bestimmung des Kontaktabbrandes ein Beispiel für die zustandsabhängige Instandhaltung des Lastumschalters.

Durch die Fähigkeit, Prognosen hinsichtlich der Standzeit der Lastumschalterkontakte für den weiteren Betrieb erstellen zu können, ist das System in der Lage, unmittelbar während des Betriebes Planungs- und Diagnosedaten zur Verfügung zu stellen.

Hinsichtlich einer Zustandsanalyse des Lastumschalteröles wurden allerdings noch keine Sensoren gefunden, die einer dem realen Betrieb entsprechenden Belastung in Dauerversuchen standgehalten haben. Dementsprechend wird sich ein Ölwechsel zunächst noch an einer vorgegebenen Schaltzahl des Stufenschalters orientieren müssen, bis die entsprechenden Sensoren die geforderten Parameter erfüllen.

Neben vom Hersteller vorgegebener Grenzwerte kann der Betreiber des Stufenschalters in der Parameterdatei des Monitoringsystems TM100 selbst Grenzwerte vorgeben und damit angebotene Optionen nutzen.

Vom Betreiber frei wählbare Optionen sind dabei:

- die Festlegung des Inspektionszeitpunktes in Abhängigkeit von der Betriebszeit
- die Festlegung des Inspektionszeitpunktes in Abhängigkeit von der Schaltzahl

In Ergänzung dessen, können vom Betreiber selbständig entsprechende Meldetexte in das System geladen werden, wenn individuelle Informationen bei Erreichen eines bestimmten Zustandes vom Monitoringsystem ausgegeben werden sollen.

Eine Nachrüstung eines Monitoringsystems ist bei allen derzeit in der Fertigung befindlichen Produkten in vollem Leistungsumfang möglich.

Retrofit-Lösungen sind wegen der Erfordernis der Integration der Systemüberwachung im Motorantrieb nur durch Tausch des kompletten Motorantriebes realisierbar und für Altschalter sowie Stufenschalter anderer Hersteller nur im Rahmen der periodischen Instandhaltung möglich.

Der Hauptgrund dafür liegt in der Tatsache, daß mit diesen nicht mehr in der Fertigung befindlichen Stufenschaltern keine umfangreichen Fehlersimulationsversuche durchgeführt werden können, wie es für die Generierung einer akzeptablen Datenbasis für das Monitoringssystem zwingend notwendig ist.

## 7. Ausblick

Die weitere Entwicklung von Monitoring- und Diagnosesystemen für Stufenschalter wird die bisherigen Wartungskriterien nachhaltig verändern. Parallel dazu müssen diese neuen Systeme als Werkzeuge der Netzleittechnik der Steigerung der Betriebszuverlässigkeit dienen. Die betriebszustandsabhängige Wartung wird durch einen sich weiterhin verstärkenden Kostendruck von Seiten der Betreiber der Stufenschalter forciert werden.

Für die Sensorik am Stufenschalter werden mittelfristig auch für den Transformatoreinsatz geeignete Sensoren und Meßwertumsetzer verfügbar sein, die eine Erweiterung des Leistungsumfanges sicherstellen. Bisher bekannte Technologien sind nur mit großem Aufwand an die Anforderungen der Transformatorenumwelt anpaßbar oder scheiden wegen mangelnder Stabilität von vorn herein für einen Einsatz am bzw. im Stufenschalter aus. Deshalb werden bei der Maschinenfabrik Reinhausen weiterhin umfangreiche Versuche durchgeführt, um den Leistungsumfang des Monitoringsystems zu erweitern.

## 8. Literatur

- [1] A. Krämer, J. Meyer, A. J. Pettinga, R. Janus, V. Seitz:  
"Monitoring methods for on-load tap-changers.  
An overview and future perspectives" (CIGRE SC12, 1996 Paris)
- [2] J. Meyer:  
"Erhaltung der Betriebssicherheit von Stufenschaltern  
in Leistungstransformatoren" (MICAFIL Symposium '96, 1996 Stuttgart)