

# **Empfehlungen der Verbundunternehmen für Monitoringsysteme an Großtransformatoren**

**DEUTSCHE VERBUNDGESELLSCHAFT E. V.**

**Heidelberg**

**März 1998**

## Vorwort

Die wachsende Bedeutung der zustandsabhängigen Instandhaltung (Kostensenkung, Verlängerung der Nutzungsdauer, Planungssicherheit) und die Forderung nach möglichst wirtschaftlicher Nutzung der Betriebsmittel sind ein wesentlicher Grund, weshalb derzeit umfangreiche Diskussionen zu Zustandsüberwachung und Diagnosemöglichkeiten bei Transformatoren geführt werden. Großtransformatoren, eine der wertvollsten Netzkomponenten, gebührt eine besondere Beachtung. Diese haben einen sehr hohen technischen Entwicklungsstand erreicht. Von der Online-Diagnose erwarten die Betreiber beispielsweise eine weitere Reduzierung der ohnehin geringen Zahl von Störungen, durch eine mögliche Zustandsbestimmung und Fehlerfrüherkennung eine Senkung von Instandhaltungs- und Folgekosten, ein Hilfsmittel zur Abschätzung der Restlebensdauer und so mehr Planungssicherheit sowie die Möglichkeit für eine vertretbare Kurzzeitüberlastung bei Netzstörungen.

Im Rahmen von Forschungs- und Pilotprojekten befinden sich zur Zeit bei einigen Verbundunternehmen einzelne Komponenten für ein umfassendes Transformator-Monitoringsystem in Planung bzw. bereits in Erprobung, mit deren Hilfe die Möglichkeiten und Grenzen des Monitorings an Großtransformatoren ermittelt werden sollen. Obwohl der Bedarf an solchen Systemen wächst, sind die zu erwartenden Stückzahlen vorerst gering und die Anforderungen der Betreiber weichen voneinander ab oder stehen noch nicht genau fest. Insbesondere die wirtschaftlichen Aspekte motivieren die Verbundunternehmen, gemeinsam die wesentlichen Anforderungen an ein Transformator-Monitoringsystem zu formulieren. Sie sollen einen Rahmen der gewünschten Eigenschaften sichern, aber auch die Berücksichtigung unternehmensspezifischer Ansprüche ermöglichen. Dabei steht nicht zuletzt eine kostenoptimale Lösung im Vordergrund, d. h. die Kosten für Anschaffung und Betrieb eines Monitoringsystems müssen durch deutliche Kosteneinsparungen beim Betrieb des Transformators (z. B. durch Senkung des Instandhaltungsaufwandes, niedrigere Folgekosten, längere Nutzungsdauer) übertroffen werden.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 Definition und Ziele von Transformator-Monitoringsystemen</b>	<b>1</b>
<b>2 Prinzipieller Aufbau und Randbedingungen für den Einsatz</b>	<b>2</b>
2.1 Randbedingungen für den Einsatz von Monitoringsystemen	<b>2</b>
2.2 Prinzipieller Aufbau eines Monitoringsystems für Transformatoren	<b>4</b>
<b>3 Datenerfassung und -aufbereitung</b>	<b>6</b>
<b>4 Systemtechnische Anforderungen</b>	<b>9</b>
4.1 Hardwarekonzept	<b>9</b>
4.2 Softwarekonzept	<b>9</b>
4.3 Dokumentation	<b>10</b>

## 1 DEFINITION UND ZIELE VON TRANSFORMATOR-MONITORINGSYSTEMEN

Der intensiveren Überwachung von Großtransformatoren wird zunehmend eine größere Bedeutung beigemessen. Die technischen Voraussetzungen haben sich in den vergangenen Jahren durch die Weiterentwicklung der Sensor- und Rechentechnik erheblich verbessert. Einsatzbereite Systemlösungen sind indessen noch kaum auf dem Markt. Nachfolgend sollen die möglichen Basisanforderungen an ein Monitoringsystem aus Sicht der Verbundunternehmen aufgezeigt werden, damit Betreibern und Herstellern ein hilfreicher Rahmen für zukünftige Realisierungsvorhaben zur Verfügung steht.

**Monitoring** ist die kontinuierliche Überwachung von wichtigen funktions- und lebensdauerbestimmenden Parameter von Betriebsmitteln unabhängig von deren Schutzeinrichtungen. Voraussetzung ist das Vorhandensein einer Online-Einrichtung mit geeigneter Sensorik. Die Sammlung und Analyse der damit gewonnenen Überwachungsdaten soll letztendlich eine Verbesserung der Diagnosemöglichkeiten bei Hochspannungsbetriebsmitteln ermöglichen.

Wirtschaftlich nutzbringende Lösungen sind nur bei weitgehender Integration der bisherigen Funktionen "Steuerung und Überwachung" und der neuen Funktionen "Monitoring und Diagnose" in einem gemeinsamen System, das nachfolgend als "**Monitoringsystem**" bezeichnet werden soll, zu erwarten. Ein solches "Monitoringsystem", oft auch nur Monitoring genannt, ist wesentlich komplexer als das eigentliche oben definierte Monitoring und verfolgt neben der Sicherstellung der Betriebstüchtigkeit folgende Ziele:

- **Life-Management** - Aufzeichnung von Betriebsdaten (Lebenslauf) als Hilfsmittel zur Abschätzung der Restlebensdauer (Planungssicherheit)
- optimale **Betriebsmittelausnutzung** - beanspruchungsmäßig intensivere Nutzung; Kurzzeitüberlastung; möglichst hohe und kontrollierte Ausschöpfung der Restnutzungsdauer
- **Zustandsbestimmung**
  - als Voraussetzung für eine kostenoptimale zustandsabhängige Instandhaltung (höhere Verfügbarkeit)
  - **Fehlerfrüherkennung** - zur Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit sowie Reduktion der Instandsetzungs- und Folgekosten
- Unterstützung bei der **Störungsaufklärung**
- Optimierte Steuerung und Betriebsführung des Transformators (z. B. Kühlanlagensteuerung)

## **2 PRINZIPIELLER AUFBAU UND RANDBEDINGUNGEN FÜR DEN EINSATZ**

### **2.1 Randbedingungen für den Einsatz von Monitoringsystemen**

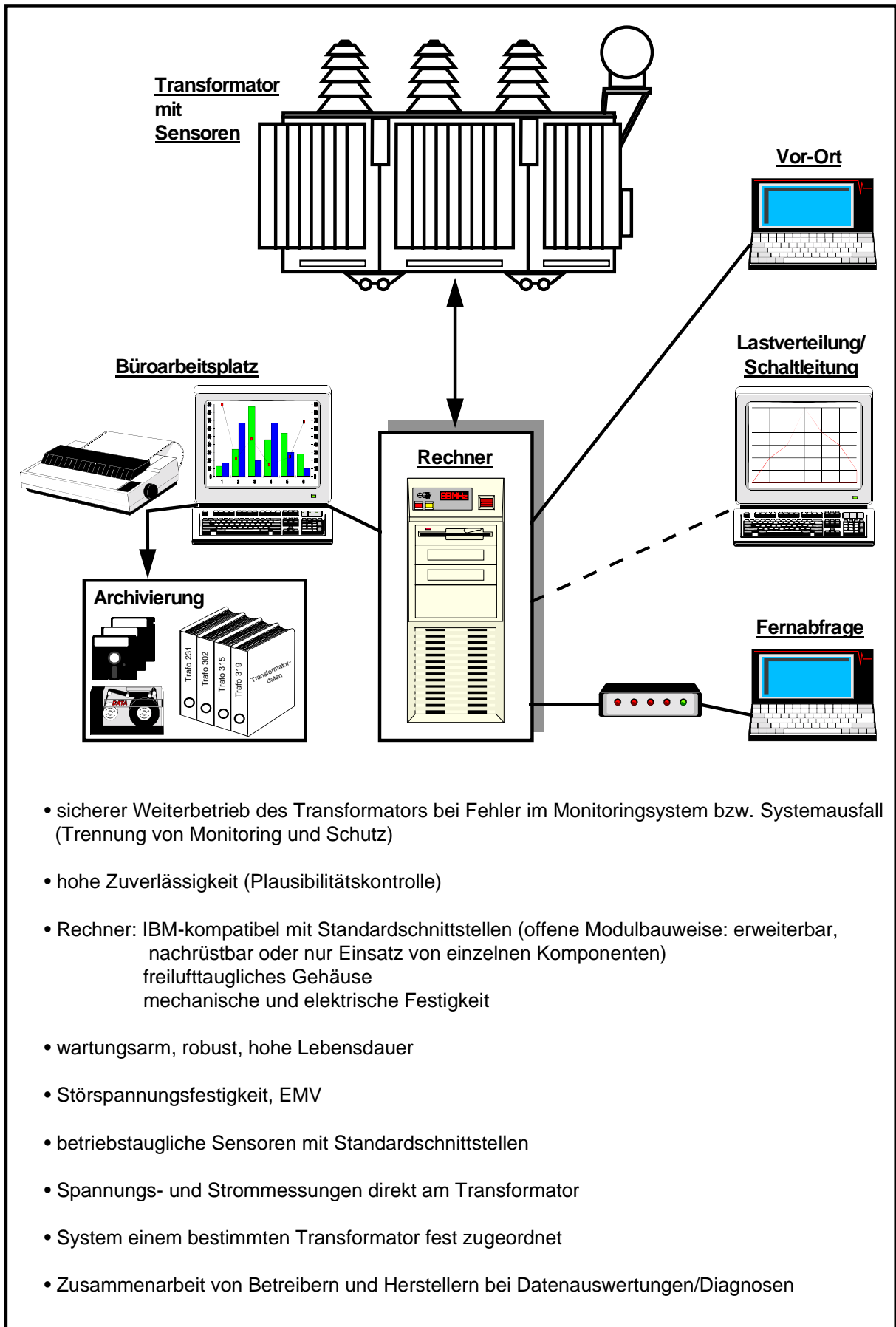
Monitoringsysteme sollen modular aufgebaut sein. Damit kann der Umfang des Monitoringsystems an die Wertigkeit der Transformatoren angepaßt werden. Ggf. können Funktionen nachgerüstet werden. Eine Nachrüstbarkeit an bestehende Transformatoren muß unbedingt gewährleistet sein. Das Gerät muß dabei so ausgelegt sein, daß ein Fehler der Monitoring-einrichtung oder ein Systemausfall keine Rückwirkungen auf den Betrieb des Transformators hat (Eigensicherheit), durch eine Plausibilitätskontrolle Falschmeldungen unterbunden werden sowie die Störspannungsfestigkeit und die EMV gewährleistet sind.

Dies erfordert u. U. unabhängige Sensoren für Schutz und Monitoring.

In dem Monitoringsystem sollten handelsübliche IBM-kompatible Rechner mit Standard-schnittstellen, Standardsoftware und -modems zum Einsatz kommen. Der Rechner ist in einem freilufttauglichen Gehäuse, möglichst unmittelbar am Transformator unterzubringen und muß den gegebenen mechanischen, elektrischen und klimatischen Beanspruchungen standhalten. Die Datenspeicherung soll einem bestimmten Transformator fest zugeordnet sein. Die erforderlichen Sensoren müssen dem neuesten Stand der Technik entsprechen, betriebstauglich und mit genormten Schnittstellen ausgeführt sein. Die Meßwerte für Spannungen und Ströme sind im Sinne eines autarken Monitoringsystems direkt am Transformator abzugreifen. Die Ausführung des Monitoringsystems sollte der zu erwartenden Lebensdauer des Transformators angepaßt sein.

Der Einsatz von Monitoringsystemen muß unter Einbeziehung der Transformatoren- und Komponentenhersteller erfolgen, d. h. diese müssen ihr Know-how bei der Auswertung/Interpretation der Meßergebnisse und für Diagnosevorschläge über einen angemessen langen Zeitraum einbringen.

*Bild 1* zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Monitoringsystems für Großtransformatoren und faßt die wesentlichsten Randbedingungen für den Einsatz zusammen.



**Bild 1:** Prinzipieller Aufbau eines Monitoringsystems und Randbedingungen für den Einsatz

## 2.2 Prinzipieller Aufbau eines Monitoringsystems für Transformatoren

*Bild 2* zeigt das Schema eines Transformator-Monitoringsystems. Es umfaßt die Komponenten Aktivteil/Isolieröl, Durchführungen/Stromwandler, Ölausdehnungsgefäß, Stufenschalter/Motorantrieb und die Kühlanlage. Dargestellt ist aus heutiger Sicht der maximale Umfang an zu erfassenden Parametern.

Das Monitoring des **Stufenschalters/Motorantriebes** stützt sich hauptsächlich auf die Protokollierung der Schaltvorgänge sowie auf die Erfassung der Leistungsaufnahme des Motorantriebes während der Stufungsvorgänge. Die Messung der Leistungsaufnahme ermöglicht u. U. Rückschlüsse auf den Zustand der Mechanik. Bei intelligenten Stufenschaltersystemen müssen die Meßdaten des Stufenschaltersystems in das Transformator-Monitoringsystem integriert werden.

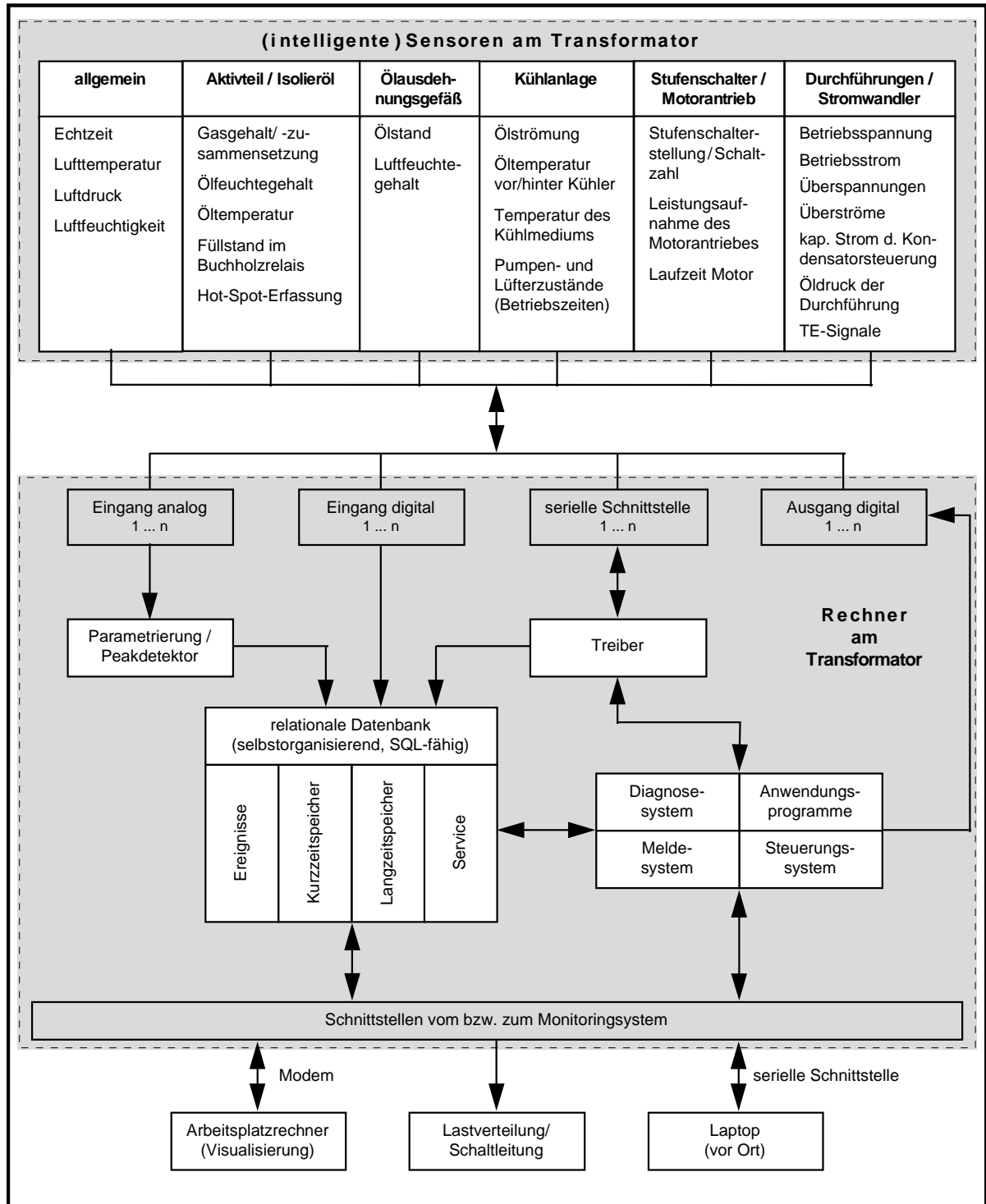
Die Überwachung des **Aktivteils/Isolieröls** basiert im wesentlichen auf der Messung der Öltemperatur, der Bestimmung der Gaszusammensetzung sowie des Gas- und Feuchtegehalts des Isolieröls. Zusätzlich wird das Buchholzrelais bezüglich seiner Füllstandsänderung überwacht, so daß hier die Möglichkeit besteht, Gasmeldungen vorzeitig zu erkennen. Prinzipiell ist dann auch eine Analyse des anfallenden Buchholzgases wünschenswert.

Im **Ölausdehnungsgefäß** erfolgt zyklisch die Messung des Ölstandes und der Luftfeuchte. Hierdurch ergeben sich Hinweise, den Ölstand anzupassen bzw. die Trockenvorlage zu tauschen.

Die Datenerfassung im Bereich **Kühlanlage** dient der Ermittlung der Kühlleistung sowie der Betriebszeiten von Pumpen und Lüftern. Damit wird eine intelligente Kühlanlagensteuerung ermöglicht (z. B. Betrieb bei konstanter Öltemperatur, minimaler Lautstärke, Vorkühlung bei absehbarer Überlast). Darüber hinaus können Aussagen zum Zustand einer Kühlanlage abgeleitet werden (z. B. Verschmutzungsgrad).

Die Meßbeläge der **Kondensatordurchführungen** und die **Stromwandler** dienen in erster Linie zur Bestimmung der Beanspruchung des Transformators. Durch Anwendung geeigneter Berechnungs-/Meßverfahren kann die Heißpunkttemperatur ermittelt werden. Hiermit läßt sich dann die Kurzzeitüberlastfähigkeit beurteilen und durch eine Langzeitanalyse auf den thermischen Abbau der Papierisolation schließen. Im Rahmen der Bandbreite der Meßbeläge an Durchführungen und Stromwandlern wird auch eine Transientenerkennung durchgeführt. Der Transientenerkennung kommt dabei besondere Bedeutung zu, da hiermit Überbeanspruchungen erfaßt werden, die maßgeblich auf den Zustand des Transformators einwirken können. Zusätzlich lassen sich über die Meßbeläge auch TE-Signale auskoppeln. Eine Überwachung der Durchführungen wird u.a. durch das Messen von

Spannung und/oder kapazitivem Strom der Kondensatorsteuerung realisiert, da durch Meßwertvergleiche auf Kapazitätsänderungen des Durchführungswickels geschlossen werden kann. Auch die Überwachung des Öldrucks der äußeren Isolation ist bei bestimmten Durchführungsbauarten sinnvoll.



**Bild 2:** Schematische Darstellung eines Monitoringsystems für Transformatoren

Die über die **Sensoren** anfallenden Daten werden von einem am Transformator befindlichen **Rechner** erfaßt und nach einer Aufbereitung (Verdichtung) in einer relationalen Datenbank auf einem nichtflüchtigen Speicher abgelegt. Dabei ist auch eine Vorverarbeitung und Bewertung der Meßdaten einer Komponente innerhalb des Sensors möglich. Die aufbereiteten Daten müssen in die Datenbank übertragen werden. Parallel hierzu erfolgt durch den Monitoring-Rechner eine gezielte Datenauswertung (Trendanalyse), die entsprechende Prognosen über den Betriebszustand erstellt, zu Steuerungszwecken genutzt werden kann und gegebenenfalls Meldungen erzeugt. Diese Meldungen sollen später, nach ausreichender Erprobung der Monitoringeinrichtung, über eine Datenleitung der Leittechnik bzw. Schaltleitung zugeführt werden. Zusätzlich können über diese Verbindung auch Daten aus dem Monitoringsystem während des Betriebes abgerufen werden, um gezielte Analysen durchzuführen. Für den Betreiber muß es dabei möglich sein, Grenzwerte (Absolutwerte und Gradienten), die Meldungen auslösen, in das System einzugeben (Fernparametrierung).

### 3 DATENERFASSUNG UND -AUFBEREITUNG

Die Datenhaltung der Primärinformationen erfolgt in einer relationalen Datenbank (SQL-fähig). Die Organisation der Datenbank aller Lieferanten muß einheitlich sein, um einen einheitlichen Zugriff (Maske) auf Monitoringsysteme unterschiedlicher Hersteller mit einem externen Anwendungsprogramm zu ermöglichen.

- **Datenerfassung:**

Die fortlaufende und lückenlose Aufzeichnung von Daten muß sichergestellt und einem Datenverlust vorgebeugt sein.

Die Aufzeichnung der Primärinformationen erfolgt:

- **zyklisch** (variable Abtastrate, Speicherzyklen wählbar) für

Temperatur (Luft, Wasser, Öl)

Luftfeuchte im Ölausdehnungsgefäß und der Umgebung

Luftdruck

Ölstand im Ausgleichsgefäß

Füllstand im Buchholzrelais

Ölströmung

Feuchtegehalt des Isolieröls

Betriebsstrom

Betriebsspannung

Gasgehalt und -zusammensetzung im Isolieröl

Öldruck der Durchführungen

Kapazitiver Strom der Kondensatorsteuerung

- **ereignisorientiert** für:

Stufenschalterstellung  
Leistungsaufnahme des Motorantriebes  
Schaltzustände von Lüftern und Pumpen  
Überströme  
Überspannungen

• **Aufbereitung der Meßwerte:**

- Generierung von Warnungen/Schutzsignalen
- Angaben zur Überlastbarkeit
- Informationen über Kühlerwirkungsgrad (Kühlerverschmutzung), Zustand der Luftentfeuchter usw.
- Ermittlung der Häufigkeit und Einschaltdauer der Stufenschalterstellung sowie Aufsummierung der geschalteten Stromsumme
- Ermittlung der relativen Alterungsrate

• **Darstellung der Ergebnisse:**

Die Angaben von Kriterien bzw. Festlegungen für die Bildung von Auszügen aus der Datenbank muß möglich sein.

Die Ergebnisdarstellung soll in Form von Tabellen und Grafiken zur Auswertung im Rahmen von Störungsaufklärungen und für Lebenslaufakten erfolgen. Für jede zyklische Meßgröße sollte weiterhin ein Histogramm (Verteilung Meßwerte über Zeit) vorliegen.

• **Archivierung der Ergebnisse:**

Alle Ergebnisse müssen in der Datenbank abgelegt werden. Rechtzeitig vor Überlauf des Massenspeichers soll eine sinnvolle Datenverdichtung automatisch bzw. zu vorgebbaren Zeitpunkten erfolgen. Die fortlaufende und lückenlose Aufzeichnung aller Vorgänge muß gewährleistet sein.

• **Störungen/Sicherheitsphilosophie:**

Der Betriebszustand des Monitoringsystems muß ständig überwacht werden. Auftretende Störungen sollen durch Fehlermeldungen angezeigt werden. Eine ausreichende Gangreserve ist zu gewährleisten, damit bei einem evtl. Spannungsausfall die Daten gesichert werden können.

In *Tabelle 1* werden für die jeweiligen Transformator-Komponenten die einzelnen Verknüpfungen zwischen den Primärinformationen und den Zielen aufgezeigt. Es obliegt jedem Betreiber, eine sinnvolle Auswahl aus den angebotenen Maßnahmen vorzunehmen oder auch zu ergänzen.



## 4 SYSTEMTECHNISCHE ANFORDERUNGEN

Mit Hilfe eines handelsüblichen IBM-kompatiblen Rechners, der sich unmittelbar am Transformator befindet (z. B. im Steuerschrank) erfolgt die Steuerung und Datenerfassung. Standardschnittstellen ermöglichen den Anschluß der Sensoren und die bidirektionale Datenverbindung mit einem Laptop oder über ein Modem mit einem zentralen Rechner. Dabei sollten die nachfolgenden Grundüberlegungen zum Hard- und Softwarekonzept Berücksichtigung finden.

### 4.1 Hardwarekonzept

Die Hardware muß den Ansprüchen der eingesetzten Software genügen.

– **Offene Hardware** (Offenes System):

Es können Geräte verschiedener Hersteller zum Einsatz kommen.

Durch einen modularen Aufbau unter Verwendung erprobter Standardkomponenten, die ggf. redundant ausgelegt werden, wird die Verfügbarkeit erhöht. Damit besteht auch eine vorteilhafte Systemflexibilität, die den Ausbau von Hardwarekomponenten relativ einfach ermöglicht. Ein Totalaustausch mit allen seinen Nachteilen kann so um ein Mehrfaches der Nutzungsdauer der Einzelkomponenten hinausgeschoben werden. Insbesondere die darauf lauffähige Software kann langfristig angewendet werden.

– **Allgemeine technische Bedingungen**

Für die anzubietende Anlage einschließlich aller Teile, Geräte und Leistungen sind die einschlägigen Regeln der Technik, die gültigen Gesetze, Vorschriften, Bestimmungen und Normen (z. B. VDE, VDI, DIN, UVV) einzuhalten. Die verwendeten speziellen Bestimmungen und Normen sind vom Anbieter anzugeben.

Desweiteren sind die Vorschriften des Höchstfrequenzgerätegesetzes (HFG), der Röntgenverordnung und des Arbeitsschutzgesetzes zu beachten.

### 4.2 Softwarekonzept

Voraussetzungen sind ein multitaskfähiges Betriebssystem (z. B. Windows NT 4.0) und eine relationale SQL-fähige Datenbank.

Der Vorteil der relationalen Datenbank liegt vor allem darin, daß Daten, die in verschiedenen Tabellen benötigt werden, nicht mehrmals gespeichert werden müssen. Über Beziehungen können diese Tabellen verbunden werden, wodurch zusätzliche Informationen entstehen.

Ferner ermöglicht die Datenbankabfrage über SQL den Einsatz einer herstellerübergreifenden Auswerte- und Visualisierungssoftware.

– **Softwaremodularität:**

Der modulare Aufbau von Software bedeutet die problemorientierte Unterteilung von Anwenderprogrammen in voneinander unabhängige Teilprogramme, in sogenannte Module. Dies ermöglicht, Programme durch den Austausch von Programmteilen neuen Gegebenheiten anzupassen und zu erweitern. Das setzt jedoch voraus, daß die einzelnen Module fest definierte Schnittstellen zueinander besitzen. Ein weiterer Lösungsansatz, die Kosten für Softwarepflege zu reduzieren, ist die geeignete Anpassung der Anwenderprogramme an das bereits vorhandene Betriebssystem oder ggf. Firmware, um die Anwenderprogramme von einem Rechner zum anderen zu portieren.

– **Allgemeine Anforderungen an die Software:**

Das Betriebssystem sollte den Wünschen/Anforderungen der Betreiber entsprechen und frei wählbar sein.

Später entwickelte Software muß kompatibel sein.

Zur Erhöhung der Anwenderfreundlichkeit sollte eine einheitliche Benutzeroberfläche gewählt werden.

Datenzugriff:       - direkt, schnell und aktuell  
                          - komplette Übersicht der Daten auf Monitor und Drucker  
                          - komfortable Such- und Filtermechanismen  
                          - automatische und manuelle Archivierung.

### **4.3 Dokumentation**

Jedem Transformator-Monitoringsystem ist ein Betriebshandbuch in deutscher Sprache beizufügen. Es sollte eine technische Beschreibung und alle notwendigen Angaben über Transport, Montage, Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung enthalten.

Desweiteren sind wichtige Einzelheiten für die Bedienung und Kontrolle in Kurzform gut sichtbar, dauerhaft und verständlich darzustellen (Kurzanleitung).