

Neue Ansätze im Asset-Management von elektrischen Betriebsmitteln

J. Osztermayer

Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik der Universität Stuttgart

1. Einleitung

Die Energieversorgung sieht sich immer härteren Wettbewerbsbedingungen gegenüber. Um dauerhaft im weltweiten Wettbewerb erfolgreich bleiben zu können, müssen die Unternehmen mit weniger Ressourcen den gleichen Anforderungen gerecht werden. Aus diesem Grunde kommt im Bereich Asset-Management dem Thema funktionsübergreifende Prozessoptimierung eine besondere Bedeutung zu. **Das Ziel ist, die durchgängige Integration aller Teilaufgaben der Vermögensverwaltung zu einem transparenten Gesamtprozess von dem operativen Bereich über die Leitstandsebene bis zur Unternehmensleitung.** Die optimale Ausschöpfung der noch reichlich vorhandenen Einsparungspotenziale im Anlagenbereich bei EVU-s wird sich jedoch erst einstellen, wenn ein kontinuierliches online Monitoring der wichtigsten Prozessgrößen stattfindet und der jeweilige Entscheidungsträger konstant aktuelle, unverzögerte Informationen zur Entscheidungsfindung erhalten kann.

Das Anlagevermögen eines Energieversorgungsunternehmens (EVU) macht den maßgebenden Anteil seines Gesamtvermögens aus, dessen Zustandsänderung sowohl betriebswirtschaftlich als auch aus der Sicht der Versorgungssicherheit von großer Bedeutung ist.

An der rechtzeitigen Bereitstellung von Informationen über den Betriebsmittelzustand haben diverse funktionale Abteilungen und Führungsebenen Interesse, weil die Prozesseffizienz der von ihnen verwalteten Prozessabschnitte dadurch direkt beeinflusst wird. Die Prozessdurchlaufzeit und die Prozesskosten (*für Arbeitsprozesse, Bereitstellung von Informationen, Entscheidungsprozesse usw.*) gehören zu denjenigen Einflussgrößen, deren Reduzierung das Unternehmen zum strategischen Wettbewerbsvorteil verhelfen kann.

Betriebsführung, Instandhaltung, Beschaffung, Netzplanung und Lagerhaltung sind funktionale Einheiten, deren Aktivitäten als Prozesselement in den funktionsübergreifenden, gleichnamigen Unternehmensprozessen vorhanden sind. Durch die erwähnten Aktivitäten werden Kosten verursacht, die in einem Asset-Management Prozess zusammengefasst werden sollen. Um die zu den einzelnen Betriebsmitteln zugeordneten, zustandsbedingt ausgeführten Aktivitäten bzw. deren Kosten im Kontext „hohe Versorgungssicherheit - tragbares Ausfallrisiko - Kostenreduzierung“ zeitlich und inhaltlich koordinieren zu können, ist die Kenntnis über den aktuellen technischen Zustand von Betriebsmitteln in der Form einer Ursache-Wirkungs-Kette (Anlage-Fehlerarten-Aktivitäten-Kosten) unabdingbar. Im Rahmen der traditionellen Anlagenbuchhaltung kann zwar dem technischen Verschleiß von Betriebsmitteln durch unterschiedliche Verfahren der Abschreibung Rechnung getragen werden, aber dieser rein finanzmathematische Ansatz kann den sich stochastisch ändernden, tatsächlichen Betriebsmittelzustand nicht zutandssynchronisiert abbilden. Während die erwähnte

Unzulänglichkeit zu gravierender Ungenauigkeit allein in bezug auf die Einschätzung der Restlebensdauer von strategisch wichtigen Anlagen führen kann, werden die zahlreichen anderen Kernprozesse generell negativ beeinflusst. Die negativen Auswirkungen haben einen organisationsweiten Charakter.

Die formalisierte Echtzeitabbildung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen wird zur Zeit in der Praxis von den meisten EVU-s noch nicht eingesetzt. Die geänderte Marktsituation und die unzureichende Zustandsüberwachung haben zur Folge, dass **die Entscheidungsrelevanz der konventionellen Anlagenbuchhaltung strategisch suboptimal und operativ äußerst gering geworden ist**. Zu den erwähnten Defiziten kommt hinzu, dass ohne geeigneten IT-Support und Systemansatz, die online Früherkennung einer anbahnenden Fehlereskalation im gesamten Netz bzw. das schnelle Lokalisieren der Störquellen nicht möglich sind.

Die fehlende oder nicht durchgängig ausgeführte IT-Architektur zur Bereitstellung von Zustandsinformationen in Echtzeit und die defizitäre Methodenkompetenz in „mundgerechter Informationsaufbereitung über Implikationen der Zustandszenarien für das Controlling“ bedeutet auch, dass für viele Entscheidungsträger die Prozessdurchlaufzeit für die Entscheidungsfindung durch zu lange Kommunikationswege (*zwischen den Prozessverantwortlichen und den Entscheidungsträgern*) zusätzlich verlängert wird. Das Gesagte gilt vor allem für die Controllingtätigkeiten aber auch für die Netzführung. Diese Prozesse gehören zu der Kategorie, die man als „Kernprozesse“ zu bezeichnen pflegt.

Zustandsänderungen an sich können eine hohe Entwicklungsdynamik haben, wobei die Dynamik mit zunehmender Degradation oftmals exponentiell steigt. Dieses Phänomen und der Zwang der EVU-s für größere Kostensenkung im Bereich der Instandhaltung verlangen nach einer extrem kurzen Reaktionszeit im Fall der Wahrnehmung einer anbahnenden Gefahr. Im idealen Fall soll die Entscheidung (*im technischen Bereich: Lastumleitung, Abschalten, Erneuern, Ersetzen usw.*) innerhalb der zur Verfügung stehenden, technisch bedingten Reaktionszeit in Abstimmung mit dem Controlling erfolgen. Sollte die tatsächliche Zeit für die Entscheidungsfindung wegen ungeeigneter IT-Unterstützung die optimale Reaktionszeit überschreiten, ist eine übergreifende Prozessanpassung an den neuen Systemzustand mit höchster Effizienz nicht mehr möglich. Das Zustandsportfolio und andere lösungsrelevante Einflussgrößen (extern, intern) könnten nämlich inzwischen starke Veränderungen erfahren haben.

Die Anforderungen an die IT-Ausführung des Asset-Management-Systems werden auch dadurch geprägt, dass durch die schadensminimierenden Maßnahmen nicht nur eine lokale Fehlerbeseitigung, sondern auch eine Optimierung in bezug auf das ganze System erzielt werden soll. Die Antwort auf die gestellten Anforderungen ist eine Integrationsplattform für die verstreut anfallenden Zustandsdaten. **Erst mit dem halb-automatisierten Optimieren auf der Systemebene**, womit eine periodische online Generierung und Auswertung von üblichen Performanceberichten (*Zustand-Wichtigkeit Portfolios, Gewinn- und Verlustrechnung, Planbilanz, Lagerbestand, Beschaffungsplan, Prognose für Auszahlungen usw.*) gemeint ist, **lassen sich Synergieeffekte (Bündelung der Beschaffung oder Instandhaltungsaktivitäten usw.) realisieren, was im Kostenbereich zu den gewünschten Einsparungen führen wird**. Die Automatisierung der Entscheidungsunterstützung ist für das moderne Asset-Management ein Schlüsselfaktor geworden.

Aus dem oben erklärten Grunde kann die mit einem hohen Koordinationsbedarf heute ausgeübte Praxis der Entscheidungsfindung nur auf die Störereignisse reagieren, anstatt durch rechtzeitig getroffene Maßnahmen die genannten Einsparungspotenziale in einer systemorientierten Früherkennung pro-aktiv in Anspruch zu nehmen. Um durch pro-aktive Vorbereitungen eine aktive Entscheidungsunterstützung bieten zu können, ist die Ausarbeitung eines entscheidungsorientierten, hierarchisch organisierten AM-Modells mitsamt einer entscheidungsorientierten Berichtstruktur unbedingt notwendig. Sollte eine aus einer Menge von vordefinierten Entscheidungssituationen eintreffen, muss der zugehörige aktuelle Berichtszustand, innerhalb kurzer Zeit, dem Entscheidungsträger zur Verfügung stehen.

Als Konsequenz der aufgeführten Aussagen soll das Berichtswesen der Energieversorgungsunternehmen inhaltlich um Informationen über den aktuellen Zustand von relevanten Betriebsmitteln erweitert werden, um frühzeitig Hinweise auf ergebnisrelevante Veränderungen (z.B. Lieferungsengpass wegen anbahnender Zustandsverschlechterung im Energieverteilungsnetz) geben zu können, bevor sich diese im finanziellen Ergebnis niederschlagen.

In diesem Beitrag wird ein neuer Ansatz zum integrierten Asset-Management vorgestellt, das den Wirkungsbereich der Problemlösungen von online Zustandsdiagnostik und Schaltanlagenleittechnik auch auf die anderen funktionalen Bereiche effizient auszuweiten vermag. In einem Beispiel für online Generierung der Budgetprognose für die Instandhaltung wird gezeigt, dass durch verursachungsgerechte Abbildung von Ursache-Wirkungs-Ketten eine Quantifizierung von Zustandsverschlechterungen und deren bedarfsorientierte Aggregation möglich ist. Die angewandte Methode der erwähnten Aggregation ist die Grundlage, dass die Zustands- und Risikopotentialbeurteilung von fehlerbehafteten Anlagen nicht nur in bezug auf einzelne Betriebsmittel, sondern auch aus der Sicht eines Gesamtsystems vorgenommen werden können [1]. Die vorgeschlagene hierarchische, system- und ursachenorientierte Betrachtungsweise bezweckt u.a., die Symptome einer Gefahrensituation im Netz für die Verantwortlichen online transparent zu machen, um die notwendigen Maßnahmen gegen eine Fehlereskalation (bzw. für eine effiziente Fehlerbehebung) rechtzeitig treffen zu können.

2. Die Aufgabe eines modernen Asset-Management-Systems

Das Asset-Management (AM) hat die Aufgabe den Vermögensverwaltungsauftrag in Abstimmung der strategischen Unternehmensziele mit der strategischen Anlagepolitik zu verwirklichen. In der Tat ist das „AM“ eine schrittweise Iteration des optimalen Kompromisses in der Ressourcenallokation, wobei der Begründung einer Inanspruchnahme von Ressourcen und deren auswertungsgerechten Prozesszuordnung eine wesentliche Bedeutung beigemessen werden soll. **Die funktionsübergreifende Umsetzung des genannten Ansatzes verspricht dem Unternehmen höhere Kapitalerträge, die sich durch die Vernetzung von Informationen (über den aktuellen Anlagenzustand und andere vermögensrelevante Daten für die Real- und Nominalgüterplanung) zwischen unterschiedlichen funktionalen Bereichen der Vermögensverwaltung realisieren lassen.** Die Aufgabe der Vernetzung wird der Asset-Management-IT-Architektur übertragen, deren logischer Aufbau auch die Regelung des Informationsflusses über die gesamte Wertschöpfungskette sicherstellen soll. Die AM-Plattform soll als Informationsdrehscheibe fungieren und massgeschneiderte online Berichte für die Prozessverantwortlichen liefern.

Im Falle der Energieversorgung sollen, ausgehend von der genannten AM-Plattform, Querverbindungen mindestens in drei Richtungen ausgebaut werden.

Online Informationen zu:

1. Netzführung (In das Netzschaltbild integrierte Zustandsindikation der Anlagen, Normal [*grüne Lampe*], Warnung [*gelbe Lampe*], Kritisch [*rote Lampe*])
2. Netzentwicklung (Zustandstrend-Analyse für Betriebsmittelgruppen und Netzteile usw.)
3. Controlling (Planung des Finanzbedarfes für die Instandhaltung und die Beschaffung, Periodische Ergebnisprognose, Aufstellen von Planbilanzen, Ersatzteilmanagement usw.)

Aus der Sicht des Ergebniscontrollings, das sich als Asset-Management Lenkungsfunktion auf der Managementebene befindet, ist die möglichst präzise Bestimmung der zu finanzierenden Aufwendungen im technischen Anlagenbereich ein profitrelevanter Erfolgsfaktor. **Die steigende Genauigkeit der benötigten Budgetprognosen macht es dem Controlling erst möglich, die Anlagestruktur des Gesamtvermögens über den gesamten Lebenszyklus des Gesamtinvestments am profitabelsten zu gestalten.** Um die geforderte Genauigkeit sicherstellen zu können, ist ein zeitkontinuierliches und zustandorientiertes Anlagenmanagement unerlässlich.

Die Vorteilhaftigkeit der Einführung eines Asset-Management-Systems wird erst recht glaubhaft sein, wenn man seine charakteristischen Eigenschaften, wie Überwachung auf der Kernprozessebene in Echtzeit, organisationsweiter Zugang zur AM-IT-Infrastruktur, Transparenz und Früherkennung aus der Sicht des tatsächlichen Entscheidungsprozesses betrachtet. Anders als eine zeitlich verschobene Datenaufbereitung liefert die Realtime-Analyse unverzögerte Erkenntnisse über reale Trends und Risiken. Um allerdings die erwähnten, fundierten Erkenntnisse gewinnen zu können, sollten komplexe Sachverhalte und Prozessabhängigkeiten zunächst in einem computergestützten Asset-Management-Modell gut visualisiert abgebildet werden. Menschen können Prozessabhängigkeiten wesentlich schneller aufnehmen, wenn sie als strukturierte, grafische Information aufbereitet sind. **Je stärker die grafische Abbildung am realen Prozess orientiert wird und je aussagekräftiger die Abweichungen und deren Ursachen für den Entscheidungsträger signalisiert werden, desto höher ist die Überzeugungskraft der jeweiligen Prozessanalyse.** Der Zeitvorteil der Entscheidungsfindung, der durch die oben aufgelisteten Eigenschaften erzielt wird, ermöglicht eine rasche Einleitung von optimierenden Maßnahmen in der ganzen Organisation.

3. Stand der Technik und bisherige Lösungsansätze

Energieversorgungsunternehmen haben in den letzten Jahren erhebliche Investitionen in online Zustandsdiagnostik und in die prozessorientierten Softwareapplikationen, wie z.B. SAP, getätigt. **Trotz der oben erwähnten Tatsache ist die Informations-Lücke zwischen der technologischen Prozessebene (Zustandsüberwachung) und der Managementebene (periodischer Erfolgscontrolling) immer noch nicht geschlossen.** Demzufolge wird der aktuelle Zustand von wichtigen und teuren Betriebsmitteln in den Kontroll- und Lenkungsprozessen bzw. in den strategischen Planungsprozessen unzureichend berücksichtigt. Dieses für die Energieversorgungsunternehmen bekannte und ungelöste Problem hat zur Folge, dass

erhebliche Ergebnispotenziale im Bereich der Geschäftsprozessoptimierung weiterhin ungenutzt bleiben [2-3].

Die in der Praxis eingesetzten Werkzeuge für das Asset-Management bestehen in den meisten Fällen aus einer kommerziellen Anwendung, wie SAP und aus zahlreichen aufgabenspezifischen Applikationen für die Zustandsanalyse von einzelnen Betriebsmittelarten. Die Zustandsgrößen werden von der autark betriebenen Monitoringseinheit in eine betriebsmittelorientierte, separate Datenbank heruntergeladen und meistens tabellarisch dargestellt. Die Auswertung erfolgt adhoc, vorwiegend anhand des Expertenwissens der zuständigen Person, die auch für die Einleitung von notwendigen Maßnahmen die Verantwortung zu tragen hat. Die Nachteile dieser Praxis sind offensichtlich. Die Methode der Auswertung entbehrt jegliche Transparenz für die anderen Geschäftseinheiten. Weil die Ursachen der Zustandsverschlechterung und manchmal sogar die Prognose von anbahnenden finanziellen Konsequenzen nur verzögert an die betroffenen Unternehmenseinheiten weitergeleitet werden, ist eine Optimierung auf der funktionsübergreifenden Managementebene in Echtzeit undenkbar. Der Koordinationsaufwand für die optimale Entscheidungsfindung ist groß.

3.1 Integration und Visualisierung von Prozessdaten

Gegenüber der oben geschilderten Situation, die von einem EVU zu dem anderen variieren kann, haben sich in der Fertigungsindustrie schon seit langem webbasierte Leitstand- und Visualisierungssysteme eingebürgert. Diese modernen Werkzeuge werden eingesetzt zur:

1. Performancemessung
2. Schwellwertüberwachung durch grafische Signalisierung
3. Zum Auffinden von Informationen durch grafische Navigation in einer vordefinierten Anlagenhierarchie
4. Echtzeitanalyse (Verdichtung von Daten, Zeitreihen, Trends, Portfolios)
5. Grafische Prozessabbildung
6. Zum automatischen Versenden von Nachrichten (Warnung, Alarm)
7. Usw.

Diese grafischen Unternehmensportale ermöglichen dem berechtigten Anwender, dass er über einen Browser vom übergeordneten Geschäftsprozess bis hin zu seinem Aufgabenbereich hineinzoomen und sich mit aktuellen Daten über die aufgaberelevanten Sachverhalte informieren kann. **Das fördert den Überblick für das Gesamte und ermöglicht Entscheidungen besser und schneller zu treffen [4].**

Im Folgenden werden, *ohne Anspruch auf Vollständigkeit*, einige kommerzielle Software-Produkte aufgelistet, deren Analysen für die Entwicklung des von der Universität Stuttgart entwickelten, interdisziplinären Asset-Management-Ansatzes verwendbare Anregungen geliefert haben.

1. Enterprise Asset-Management (IFS International, IFS Deutschland GmbH)
2. Integrierte Informationssysteme ((in-GmbH, Deutschland)
3. (ABB AG, Deutschland)
4. SAP (SAP, Deutschland)

Zwar sind die obigen Applikationen nicht direkt für EVU-s entwickelt worden, trotzdem haben sie Funktionalitäten, (*grafische Visualisierung, hierarchische Navigation,*

grafische Signalisierung usw.) die für die Entwicklung eines AMS von großer Bedeutung sind. Um die wichtigsten Funktionen der aufgelisteten Systeme deutlich machen zu können, sind deren differenzierende Funktionalitäten in der Tabelle 1. dargestellt worden.

Tabelle 1.

	VORTEIL	INSTANDHALTUNG STRATEGIE
IFS	Vollständig internetbasiert	Zustandsorientiert (CBM)
IIS	Vollständig internetbasiert	Nicht integriert
Calpos-main	Berechnet die Reihenfolge der Instandhaltung von Anlagen	Zuverlässigkeitsorientiert (RCM)
SAP	Vollständige Auftragsabwicklung	Nicht integriert

3.2 Standard Entwicklungsumgebung, die für die Implementierung eines Asset-Management-System eingesetzt werden kann

Es gibt mittlerweile eine Standard-Entwicklungsumgebung, wie „NET-Factory“ von Microsoft. Es besteht aus dem „NET Framework“- und MS Biztalk Server. Diese Integrationsplattform basiert auf einer offenen Systemarchitektur. Prozessinformationen werden über eine offene, mit standardisierten XML-Schnittstellen versehene API zur Verfügung gestellt. Das Visual Studio „NET-Entwicklungswerzeug“ ermöglicht es *-mit einem leistungsfähigen Visualisierungseditor-* eine massgeschneiderte Benutzeroberfläche ohne jegliche Programmierung zu erstellen. Anzeigeelemente können per Drag & Drop auf die Arbeitsfläche gezogen werden, die anzuzeigenden Daten aus einer integrierten Datenbank werden per Mausklick zugeordnet. „Die NET-Factory wird sowohl als Integrationsplattform sowie als SCADA-System für komplette Anlagen verwendet“ berichtet der A&D Kompendium 2004.

3.3 Zusammenfassung

Anhand der obigen Produktanalyse kann man zusammenfassend festhalten, dass bei EVU-s bis heute für das zuverlässigkeitsorientierte Asset-Management keine funktionsübergreifende Integrationsplattform realisiert worden ist.

Dateninseln, die durch die Vielfältigkeit der verwendeten Technologien im Feld der Zustanddiagnose- und Analyse entstanden sind, gilt es nun bei EVU-s zusammenzuführen, um eine übergeordnete Verfolgung der Zustandsentwicklung auf der Systemebene bieten zu können.

Der kosteneffiziente Aufbau eines webbasierten Asset-Management-Systemes ist u.a. durch den Einsatz der unter 3.2 beschriebenen NET-Technologie möglich geworden. Die funktionsübergreifende online Zugriffsmöglichkeit auf die aktuellen Zustandsdaten und eine Ursache-Wirkung-Analyse kann anhand dieser internetbasierten Technologie gewährleistet werden, wobei dynamische einfach zu erstellende Benutzeroberflächen zu der Akzeptanz des Asset-Management Ansatzes einen weiteren Beitrag leisten können [5].

4. Beschreibung der neuen Ansätze im zustandsorientierten Asset-Management-Konzept, Pilotprojekt Umspannstation "Großgartach"

Um das Novum und die optimierende Zielsetzung des vorgeschlagenen Konzeptes noch verständlicher machen zu können, wird im Bild 1. die Aufteilung des übergeordneten Asset-Management Prozesses im Kontext der diversen funktionalen Bereiche eines EVU-s dargestellt.

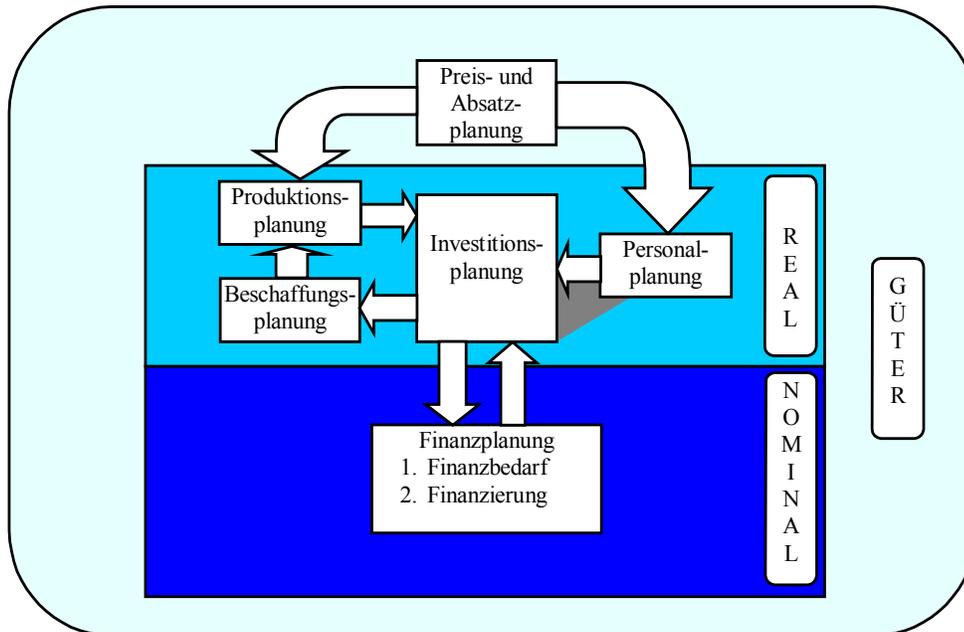


Bild. 1. Bereiche der Real- und Nominalgüterplanung, die in ein zustandsorientiertes Asset-Management-System übergreifend integriert werden sollen

Aus Bild 1. ist ersichtlich, dass die Tätigkeiten eines durchgängigen AM-Prozesses (z.B. Investition in Instandhaltung oder in eine neue Anlage) einerseits auf dem Gebiet von Realgütern (Sachvermögen und Dienste), andererseits im Bereich der Nominalgüter (Banknoten, Münzen, Giral- und Buchgeld) ausgeführt werden. Das bedeutet eine zweipolig fokussierte funktionale Trennung von Tätigkeiten desselben Prozesses, die meistens auch mit einer räumlichen Entfernung zwischen den Ausführungsorten der einzelnen Prozesstätigkeiten einhergeht. Um den durch die funktionale und örtliche Trennung entstandenen erheblichen Koordinationsbedarf aufwiegen zu können, sollten die EVU-s sowohl die Zustandsdiagnose als auch die diversen Schnittstellen zur Datenübermittlung auf einer integrierten Plattform zusammenführen. Im Folgenden werden die massgebenden Ansätze aufgelistet, die in der ausgearbeiteten Konzeption eine Anwendung gefunden haben.

Die Leitprinzipien der Konzeption sind:

Tabelle 2.

Menschennahe Intelligenz	Fuzzy Logische Regelbeschreibung	vgl. Punkt 4.5
Unkomplizierte Strukturen und Berechnungen	Berechnung der Wichtigkeit von Betriebsmittel anhand der Ziekostenrechnung	vgl. Punkt 4.4
Hierarchischer Systemansatz	Bereichsspezifische, für die EVU-s abgestimmte Asset-Hierarchiestruktur	vgl. Punkt 4.2

4.1 Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung als Basis für das optimale Asset-Management

Wie bereits erwähnt wurde, ist das Asset-Management ein übergeordneter Prozess im Unternehmen. Es bildet den Kostenaspekt sämtlicher Prozesse über die Tätigkeits-ebene ab und sorgt für die Kostenoptimierung der Unternehmenszielfunktion schon in der Planungsphase.

Die Instandhaltung und die Investition in Sachanlagen sind bei EVU-s Kernprozesse. Sie sind mit einem hohen Anteil am gesamten Kostenverzehr beteiligt und sie werden bei der Ausübung der zuverlässigkeitsorientierten Instandhaltung in einem engen Zusammenhang mit dem aktuellen Zustand bzw. der Wichtigkeit der jeweiligen Anlage(n) angestossen. Demzufolge ist es notwendig, die Querverbindungen zu den zustandsrelevanten Einflussgrößen in der IT-Architektur des AMS auszubauen.

Mit der **Einbindung von Zustandsgrößen in den Regelkreis des AM-Prozesses** kann die Szenarioanalyse in bezug auf alle Bereiche der Vermögensverwaltung zustandsabhängig durchgeführt werden. **Es ermöglicht das zeitgleiche Optimieren von Investmentportfolien über den ganzen Güterbereich (real und nominal) hinweg, was durch eine wesentlich größere Planungssicherheit einen höheren Profit erzielen lässt.**

Das AMS soll an die Abbildung der wichtigsten Prozesse ausgerichtet sein. Das heißt für EVU-s, die Instandhaltung und die damit direkt verbundenen Prozesse (vgl. Bild 1.). Im Folgenden werden die Aspekte des AM-Ansatzes im Bereich von Realgüter behandelt. Diese Auswahl der Behandlungsreihenfolge wird dadurch begründet, dass sich die Ursachen eines Fehlers *-in der Form von unterschiedlichen Fehlermechanismen-* im Anlagenbereich befinden und man erst nach der Fehlerdiagnose zu der Abschätzung der Auswirkungen auf die anderen funktionalen Bereichen übergehen kann.

4.2 Pilotprojekt Umspannstation "Großgartach"

Das Forschungsprojekt „Asset Management“ für die Umspannstation in Grossgartach“ hat sich, im Einklang mit den oben in Details beschriebenen Anforderungen, das Ziel gesetzt, quantifizierte Informationen über den aktuellen Zustand von Betriebsmitteln online bzw. offline zu gewinnen, die Daten in einer festgelegten Hierarchie zu verdichten, auszuwerten und im **MIS (Management Information System)** in einer aussagekräftigen Form zur Verfügung zu stellen. Der bedarfsgerechten Visualisierung der hierarchisierten Kennzahlen soll ein großer Stellenwert beigemessen werden. Im wesentlichen handelt es sich um ein Managementinstrument, das die bisher schwer durchgängigen Schnittstellen zwischen zahlreichen funktionalen Bereichen prozessorientiert bearbeitet. Durch eine konsequente Einbindung der transformierten Ausgangsdaten des Diagnosesystems in die entsprechenden Unternehmensprozesse wird die Kostentransparenz erheblich erhöht und das Kostenbewusstsein verbessert.

Bestandteile des Asset Management Systems:

1. Monitoringsystem
2. Diagnosesystem
3. Berichtssystem

- Die anzuschliessenden Monitoringeinheiten** :
1. Termischer Monitoring (TM)
 2. Teilentladung-Monitoring (TE)
 3. Transferfunktion-Monitoring (TF)
 4. Leistungsschalter-Monitoring (LM)
 5. GIS Monitoring (GM)
 6. Stufenschalter-Monitoring (OLTC)

Im nachfolgenden Unterkapitel wird das Gesamtkonzept und die zu Grunde liegende Idee der angewandten Auswertungsmethode (Diagnosesystem) anhand des beiliegenden Bildes 2. erklärt. Das Konzept kann für die Echtzeitüberwachung der Funktionsfähigkeit eines beliebig großen Systems eingesetzt werden.

Weil sich die Zustandsbewertung des betrachteten Systems wegen seiner hohen Nichtlinearität und Komplexität mit mathematischen Formeln nur teilweise beschreiben lässt, wird ein Ansatz verwendet, der die Systembewertung aus der Funktionsfähigkeit der Systemkomponenten ableitet [6]. Zunächst wird eine objektorientierte Dekomposition des Gesamtsystems vorgenommen und die Zustandauswertungshierarchie aufgebaut. Die Betriebsmittelgruppen bestehen aus elektrischen Anlagen gleicher Funktion. Die Auswertung des Betriebsmittelzustandes erfolgt auf der Betriebsmittelebene der Systemhierarchie, während die Funktionsfähigkeit von einzelnen Bauelementen- und Bauteilen anhand der physikalisch gemessenen Messgrößen abgeschätzt wird. Zur Gruppierung von fehleranfälligen Bauelementen wird jeweils eine Funktion der Anlage zu Grunde gelegt, deren Erfüllungsgrad mit zuvor ausgewählten physikalischen Messgrößen bekannter Fehlerarten stark korreliert und die Funktionsfähigkeit einer oder mehrerer Systemkomponenten höherer Hierarchielevel direkt beeinflusst. Bei einem Transformator kann man so z.B. die Festisolation und das Isolieröl auf der Bauelementebene getrennt überwachen und die Bewertung der Isolation im Ganzen auf der Bauteilebene treffen. Die Auswahl der fehlerartrelevanten Messgrößen und die genannte Abgrenzung der überwachten Einheiten erfolgen in der Form einer Fehlermöglichkeitsanalyse, wo Fehlerstatistik, Expertenwissen, Hersteller und Betreiber Know-how in Betracht gezogen werden sollen. Unter der überwachten Einheit soll man eine Auswahl von Anlagenkomponenten verstehen, die beim Eintritt des Fehlers zusammen beschädigt werden können oder aus technologischen Gründen im Zuge der Reparatur mitersetzt werden müssen. (vgl. später mit Reparaturszenario und Primäreinheit in Punkt 4.4 - 4.5).

Als zweiter Schritt, in einem bottom-up Verfahren, werden die Funktionsbeiträge (**FB₀**)-*Nutzanteil der jeweiligen Komponenten an der Funktionserfüllung der zugehörigen Komponente höherer Ebene* - im fehlerfreien Zustand bestimmt, wo zur Quantifizierung von Beiträgen die Methode der Zielkostenanalyse [6] als Ansatzpunkt herangezogen wird. Es gelten folgende Bedingungen: die Beitragsübergabe erfolgt ausschließlich in einer Baumstruktur und die Summe der Beiträge untergeordneter Funktionen in den Knoten des Baumes beträgt 100% (kleine Abbildung 1. im Bild 2).

Die Zustandsänderung des Betriebsmittels wird an der relativen Funktionsbeitragsminderung („c“) auf der Betriebsmittelebene in % gemessen. Zur Bestimmung des aktuellen Beitrags werden zunächst die Messgrößenabweichungen mittels der

Fuzzi-Folgerungstechnik in Beitragsminderungen umgewandelt und danach in die mathematisch beschriebene Beitragsverteilungshierarchie auf der zugehörigen Ebene eingebunden. Die eigentliche Struktur der Hierarchie ist ein Wurzelbaum (*gerichteter Graph ohne Kreise*). „Zustandsänderung“ (siehe kleine Abbildung 2. im Bild 2.) zeigt, wie sich die absoluten Funktionsbeiträge ändern, wenn der Beitrag einer Einheit z.B. des BG2BM1 (*Betriebsmittelgruppe 2. Betriebsmittel 1.*) durch die Abweichung der entsprechenden Zustandsmessgrößen um 15% gesunken ist.

In der vorausschauenden Instandhaltung (RCM, reliability-centered maintenance) über den Zustand hinaus soll auch die Wichtigkeit von Betriebsmitteln aus der Sicht der Versorgungssicherheit in Betracht gezogen werden [7]. Im vorliegenden Ansatz wird die Wichtigkeit eines Betriebsmittels mit seinem Funktionsbeitrag zu der Systemfunktion im fehlerfreien Zustand gleichgesetzt (kleine Abbildung 3. im Bild 2). Das Beispiel für BM1 wird mit den Gleichungen (1)-(2) beschrieben.

$$\text{Wichtigkeit für das Betriebsmittel: } i_{\text{BMk}} = (\text{FB}_{0(\text{BMk})} * \text{FB}_{0(\text{BG})}) \quad (1)$$

$$\text{für BM1 gilt dann : } i_{\text{BM1}} = 0.4 * 0.2 = 0.08 = 8\% \quad (2)$$

In das Koordinatensystem werden die Betriebsmittel mit ihren Koordinaten (c und i) eingetragen, die jeweils die relative Zustandsminderung und die Wichtigkeit in % darstellen (kleine Abbildung 4. in Bild 2.). Die Entfernungen d_1, d_2, \dots, d_n sind eine lineare Kombination von c und i, ihre Länge gibt die zeitliche Priorität des entsprechenden Betriebsmittels bei der Ausführung der Instandhaltung an. **Die Kenntnis über die genannten Prioritäten ist für die optimale Allokation eines begrenzten Budgets ausschlaggebend.** Es soll vermerkt werden, dass die obige Berechnung der Wichtigkeit angepasst werden sollte, wenn die Auslastung von Anlagen von der Nominallast abweichend ist bzw. für die Behebung eines Betriebsausfalles, für identische Anlagen unterschiedliche Prozessparameter gelten [1].

Die Kriterien für die Bestimmung der Wichtigkeit sind sehr Situationsabhängig. Deshalb soll ein Katalog der Entscheidungssituationen und Entscheidungsvariablen (Gegebenheiten des Einsatzortes von Betriebsmitteln, Rüstzeit, Betriebsstand, Spannungsebene, Netzkonfiguration, Lastdiagramm usw.) erstellt werden, um das entsprechende Kriterium zu der konkreten Situation ausarbeiten zu können. Die Investitionskosten (Beschaffungskosten plus Rüstkosten) zeigen eine positive Korrelation mit den anderen wichtigkeitsrelevanten Kriterien, wie die unterbrochene Leistung, Rüstzeit und Spannungsebene auf. Deswegen scheint der Anteil der Investitionskosten je Betriebsmittel in der abgegrenzten Anlagegruppe als das Zweckmäßigste für die Bestimmung der Wichtigkeit eines einzelnen Betriebsmittels zu sein.

Liste der sonstigen Faktoren, die bei der Bestimmung der Wichtigkeit in Betracht gezogen werden sollen:

1. Spannungsebene und der Aufstellungsort der Anlage
2. Die Topologie des Netzes
3. Die Kosten einer Ersatzinvestition
4. Reaktionszeit des Servicepersonals
5. Die Wichtigkeit der Kunden
6. Der Grad der Redundanz

7. Ökonomische Konsequenzen
8. Fehlereskalationsgefahr

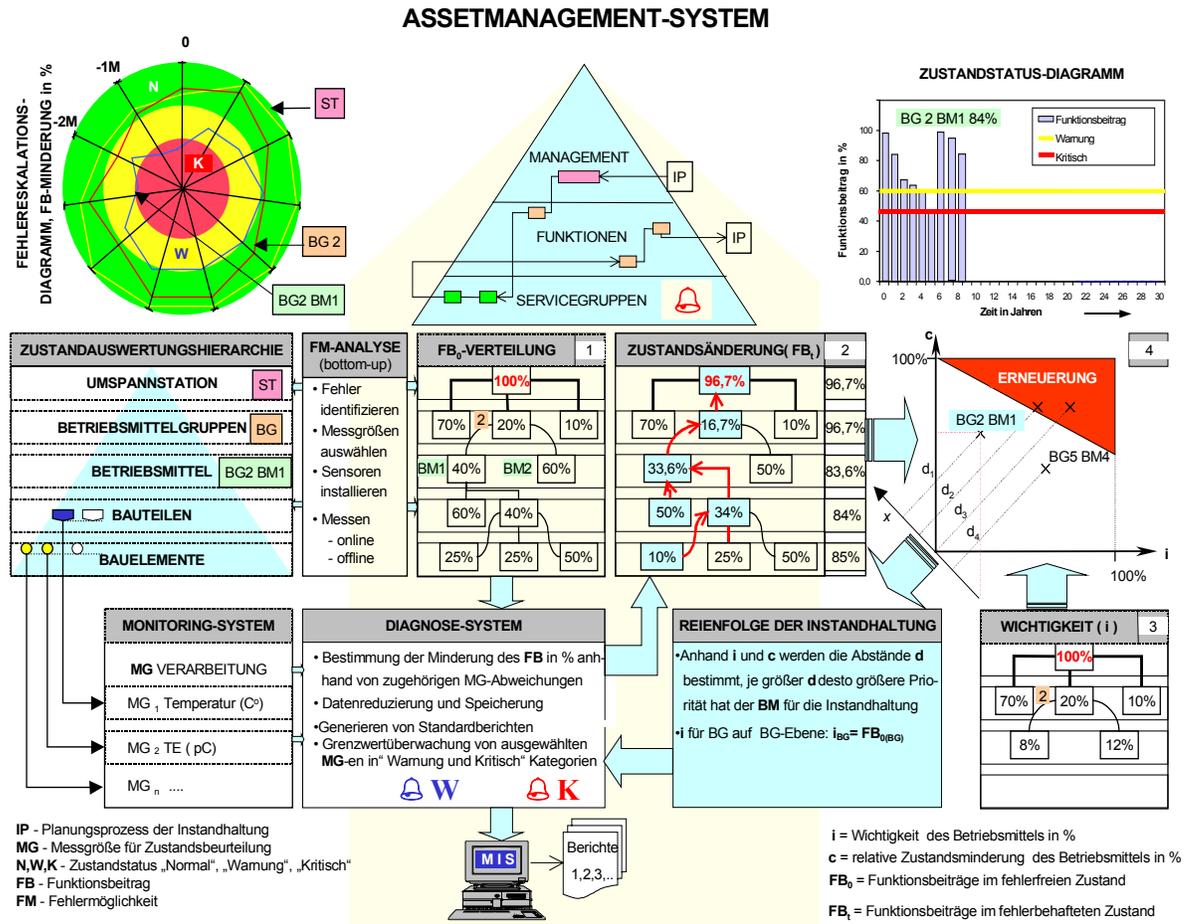


Bild. 2. Übersichtsplan des funktionsübergreifenden Asset-Management-Systemes

4.3 Die Dimensionen der Zustandsüberwachung

Die Zustandsüberwachung erfolgt in zwei Dimensionen. Eine, die als **"Zustands-Fortschritt-Dimension"** genannt wurde, ermöglicht die Echtzeitüberwachung der Zustandsänderung in bezug auf die relative Funktionsbeitragsänderung (FB_t / FB_0) auf allen Hierarchieebenen. Es ist vorwiegend für die Früherkennung sich langsam entwickelnder Fehler großer Ausbreitung geeignet. Die Früherkennung wird in diesem Falle durch Trendanalyse auf der höchsten Systemebene betrieben. Der Wert FB_t , der Funktionsbeitrag zum Zeitpunkt „t“, wird für die überwachten Primäreinheiten durch Fuzzy-Regeln berechnet [8-9]. Die Beiträge für höhere Ebenen werden durch Summieren (*Verdichten*) der genannten Primärstufen berechnet (vgl. kleines Bild 2. in Bild 2).

Die andere Dimension, die als **"Alarm-Dimension"** bezeichnet wurde, ist vor allem für das Signalisieren von Störereignissen großer Entwicklungsdynamik zuständig. Bei dieser Dimension werden die physikalisch gemessenen Messgrößen in drei Stufen (grün, gelb, rot) überwacht.

Differenzierender Faktor für die erwänten zwei Dimensionen ist auch ihr Zuständigkeitsbereich in der Systemhierarchie. Während die „Alarm-Dimension“ direkt auf die fehleranfälligen Komponente eines einzelnen Betriebsmittels ausgerichtet ist und (*wegen der hohen Genauigkeit von zugrundeliegenden, physikalisch erfassten Messgrößen*) eine zuverlässige Beurteilung schon auf der Bauteilebene ermöglicht, wird die akzeptable Zuverlässigkeit der „Zustandsfortschritt-Dimension“ (*infolge des, mit dem steigenden Aggregationsgrad, nachlassenden Auswertungsfehlers der Amortisationsabschätzung*) erst auf einer höheren Aggregationsebene erreicht (Betriebsmittelgruppe oder eher Station).

Die simultane Auswertung in den genannten Dimensionen bietet eine zufriedenstellende Beurteilungsgenauigkeit. **Die Stärke des vorliegenden Ansatzes kommt durch den hohen Vernetzungsgrad von Zustandsdaten in der „Zustandsfortschritt-Dimension“ zur Geltung.** Sie ist auf die Früherkennung einer Fehlereskalation ausgerichtet. Unter Auswertung ist vor allem eine Abweichungsanalyse und Trendanalyse zu verstehen (*Vergleich von aktuellen Messgrößen mit dem Mittelwert der zugehörigen Betriebsmittelgruppe oder mit dem eines Referenzbetriebsmittels, Vergleich mit dem entsprechenden Wert im fehlerfreien Zustand*).

4.4 Risikomanagement im Anlagenbereich der EVU-s

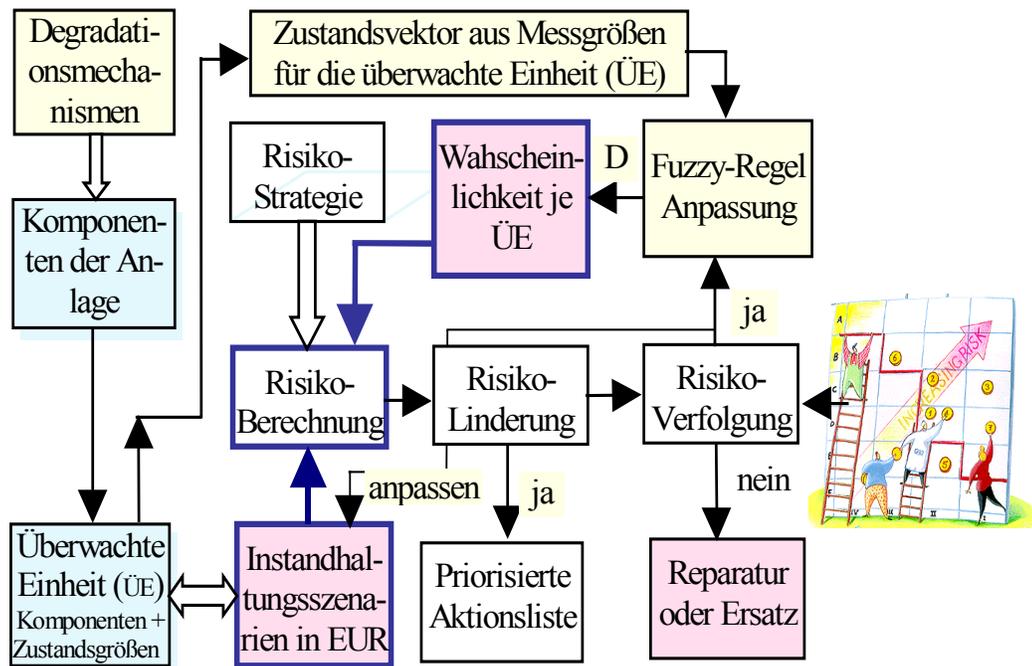
Es wird über Unsicherheit gesprochen, wenn man mindestens zwei Umweltzustände für möglich hält, von denen genau einer eintreten wird. Sollte man jedoch den denkbaren Umweltzuständen Eintrittswahrscheinlichkeiten zuordnen können, redet man über Risiko. Wie die genannten Wahrscheinlichkeiten bestimmt werden, hängt von der Art der zu beurteilenden Umweltzustände ab. Bei Vorlage einer großen Zahl gleichartiger Fälle können Häufigkeitsverteilungen über den Eintritt möglicher Umweltzustände ermittelt werden. Die ermittelte Wahrscheinlichkeitszahl wird in diesem Falle als objektiv bezeichnet. Wenn jedoch die Wahrscheinlichkeit, über den Eintritt des möglichen Umweltzustandes, nur durch eine Schätzung des Beobachters abgeleitet werden kann, spricht man über eine subjektive Wahrscheinlichkeit. Aufgrund der vorherigen Definition ist es offensichtlich, dass wegen der begrenzten Anzahl von gleichartigen Fällen (d.h. Anlagen) die Ableitung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers meistens nur durch eine „Beobachtung“ erfolgen kann. Wie die Beobachtung technisch gelöst wird und mit welcher Genauigkeit die für die Risikoberechnung erforderliche Wahrscheinlichkeitszahl bestimmt wird, hat aus der Sicht des Asset-Managements eine entscheidende Bedeutung.

Risiko ist gleich, die Wahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses multipliziert mit den zu erwartenden Auswirkungen (Gesamtschaden).

Ausgehend von dieser Definition und von der generellen Aufgabenstellung des Asset-Managements, das zustandsbedingte Risiko in den Kernbereichen zu quantifizieren, ergeben sich zwei Teilaufgaben: **1.** Ableitung der Wahrscheinlichkeit des Fehlereintrittes **2.** Bestimmung der Auswirkungen für den Fall, dass der Fehler eingetroffen ist.

Durch ein fortgeschrittenes Zustandsmonitoring bezüglich der elektrischen Betriebsmittel und mittels der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien ist das Risiko im Realgüterbereich eine regulierbare Zielfunktionsgröße geworden. Den Prozess, der diese Regelung abbildet, nennt man einen Risikomanagement-Prozess.

In dem vorgeschlagenen Konzept wird die quasiobjektive Wahrscheinlichkeit des Fehlereintrittes schrittweise, anhand von physikalisch gemessenen Zustandgrößen, mit Fuzzy-Logik abgeleitet. Der Risikomanagement-Prozess ist auf dem Bild 3 detailliert dargestellt worden.



Risiko in % = Σ von Erwartungskosten der einzelnen Reparaturszenarien / Σ Plankosten für Reparatur

Bild. 3. Risikomanagement-Prozess aus der Sicht der Budgetierung

4.5 Zustandsorientierte Budgetierung der Instandhaltungskosten

Aus der betrieblichen Praxis der Anlagenhersteller, die meistens auch die Reparaturarbeiten durchführen, sind die Reparaturszenarien in bezug auf die Fehlerarten ihrer Anlage bekannt. Listet man diese Szenarien auf und ordnet man denen den vorkalkulierten Reparaturaufwand mit sonstigen Kosten (Lieferung etc.) zu, dann ist der Schadenswert für den Eintritt des dem Reparaturszenario zugrundeliegenden Fehlers bestimmt.

Für die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit der festgelegten Reparaturszenarien hat man sich, *aus den in Punkt 4.4 aufgelisteten Gründen*, für die schrittweise Annäherung des gesuchten Wahrscheinlichkeitswertes entschieden. Die erwähnte Annäherung wird im Laufe der Verfolgung des Degradationsprozesses mit Hilfe von Regeln bewerkstelligt, die mit allgemeinverständlichen linguistischen Ausdrücken, anhand von Expertenwissen beschrieben werden. Der Ausgangswert des Fuzzy-Folgerungs-Modells ist der dem Zustandsgrößenvektor entsprechende Zustandsverschlechterungsgrad der überwachten Primäreinheit (vgl. „D“ in Bild 3). Er wird in Prozent ausgedrückt und wird als die Wahrscheinlichkeit des Fehlereintrittes in der Risikoberechnung weiterverwendet. Eine Anpassung der Zugehörigkeitsfunktionen und/oder der „Regeln“ kann im Zuge der Zustandsverfolgung nötig sein.

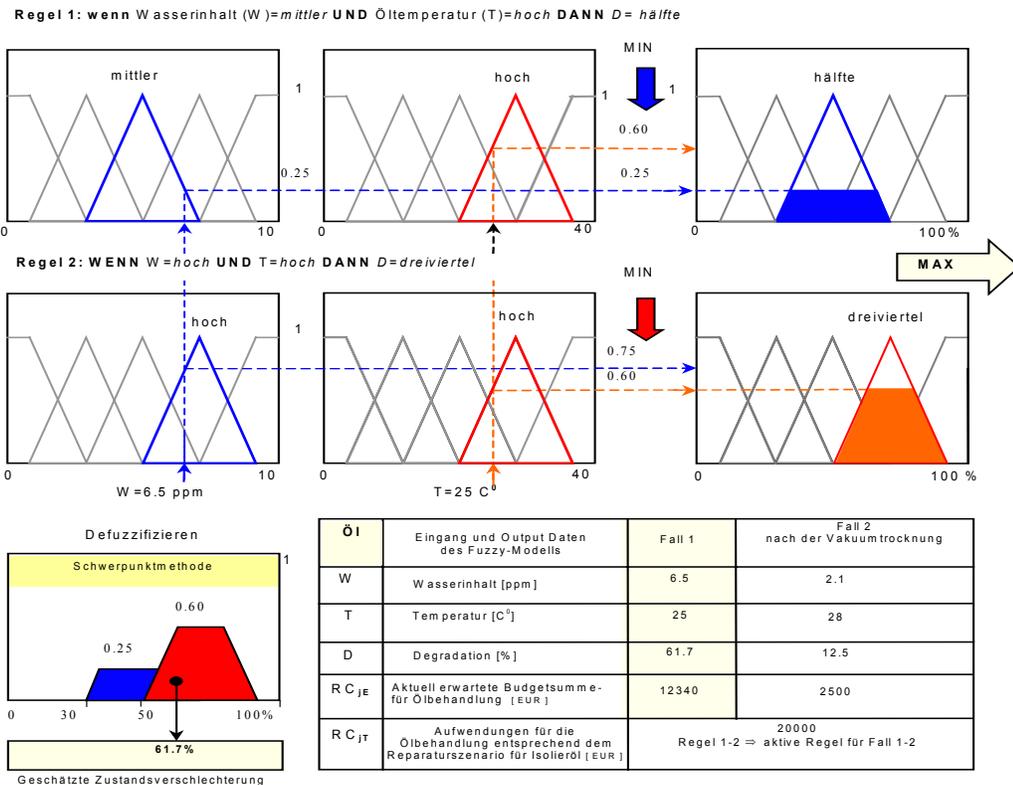


Bild. 4. Fuzzy Logik basierte Interpretation von Zustandsgrößen des Isolieröles eines Transformators aus der Sicht der Budgetierung

Aufgrund der im Bild 4. dargestellten Prozedur ist der Lösungsweg der formalisierten, computerunterstützten Risikoverfolgung nachvollziehbar. In diesem Beispiel ist der Erwartungswert des Reparaturszenarios „Ölwechsel“ als Risikoindikator bestimmt worden. Es wurde präsentiert, dass über die prozentuale Quantifizierung des Risikos hinaus auch die Verfolgung von finanziellen Auswirkungen der Zustandsverschlechterung automatisiert werden kann. Die erwähnte Funktion schliesst die „Informations-Lücke“ zwischen den zwei Güterbereichen des Asset-Managements (vgl. Bild 1).

Zum Schluss dieses Absatzes soll bemerkt werden, dass eine Ableitung von möglichen Einsparungsmassnahmen, mittels der Verfolgung der online Budgetprognose, nur auf der höchsten Systemebene sinnvoll ist. Beim Aufsteigen in der Systemhierarchie steigt auch das Vergleichspotential unter den Betriebsmitteln gleichen Types und das höchste Niveau dieses Potentials wird auf der Topebene der Hierarchie erreicht.

4.6 Bilddiagramm über das Zusammenwirken von Monitoringeinheiten mit dem fuzzy-logischen Auswertungsmodul im Falle eines 350 MVA Transformators

Die einzelnen Schritte der Zustandsauswertung werden in der unten aufgelisteten Reihenfolge ausgeführt (vgl. Bild 5).

1. Fuzzifizieren des Zustandsvektors der überwachten Primäreinheiten
2. Berechnung der aktuellen Zustandsminderung durch Defuzzifizieren (vgl. Bild 4)
3. Bestimmung des neuen Funktionsbeitrages der jeweiligen Primäreinheit
4. Verdichtung von Neuberechneten Funktionsbeiträgen in der Systemhierarchie (vgl. Bild 2)

5. Visualisierung der relativen Beitragsänderung auf der Betriebsmittelebene in monatlicher Auflösung, mit der Angabe des aktuellen Erwartungswertes für die Reparaturkosten des TR-s (vgl. Bild 5)

Das Zusammenwirken zwischen logischer und physikalischer Ebene bei der Transformator-Zustands-Erfassung ist auf dem Bild 6, die Einbettung dieses Moduls ins Gesamtkonzept bezüglich des Projektes „Großgartach“ ist auf dem Bild 7 dargestellt.

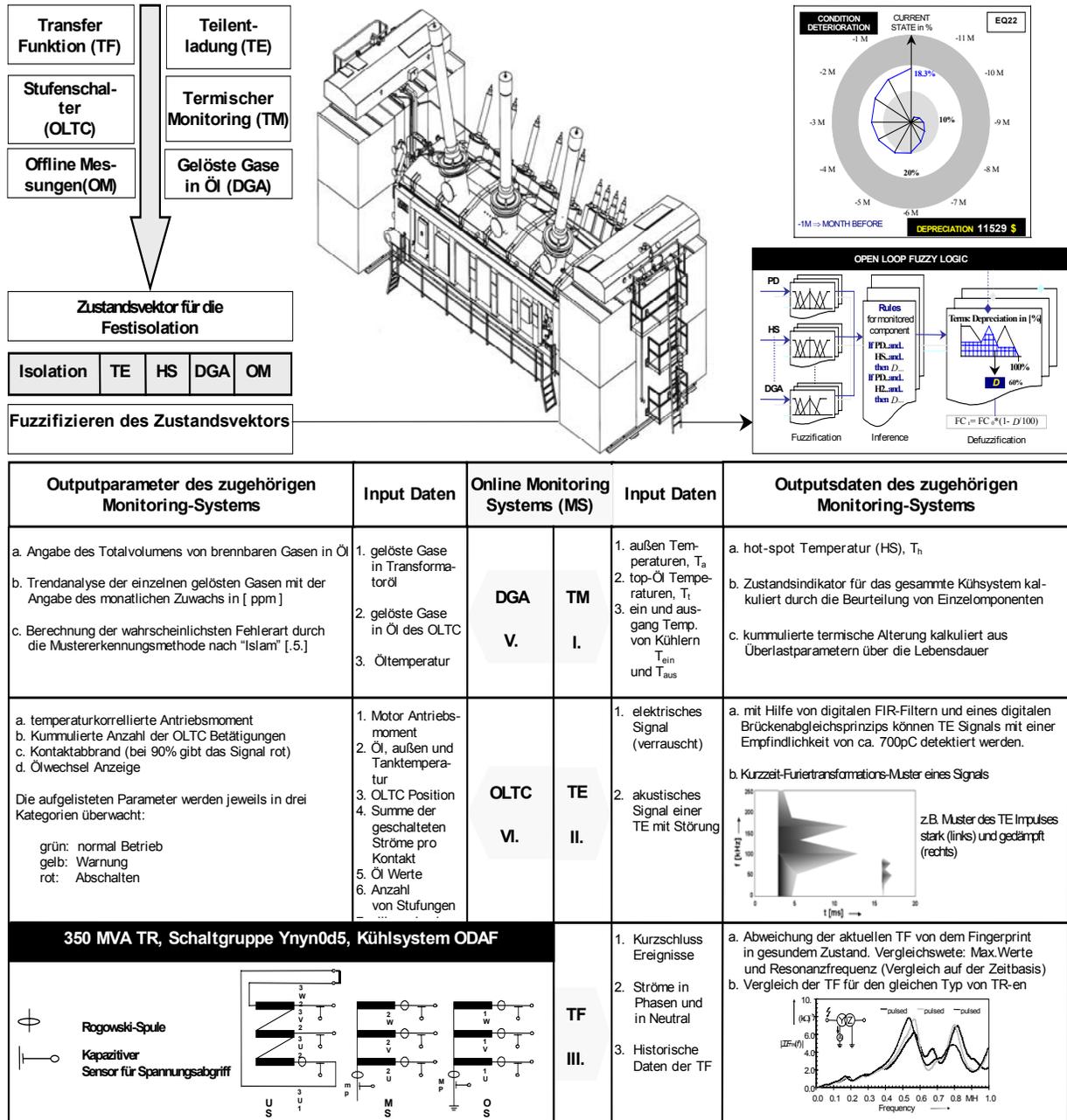


Bild 5. Bilddiagramm der Zustandsbeurteilung eines 350-MVA-Transformators von Zustandsdatenerfassung bis zur Visualisierung der Zustandsentwicklung

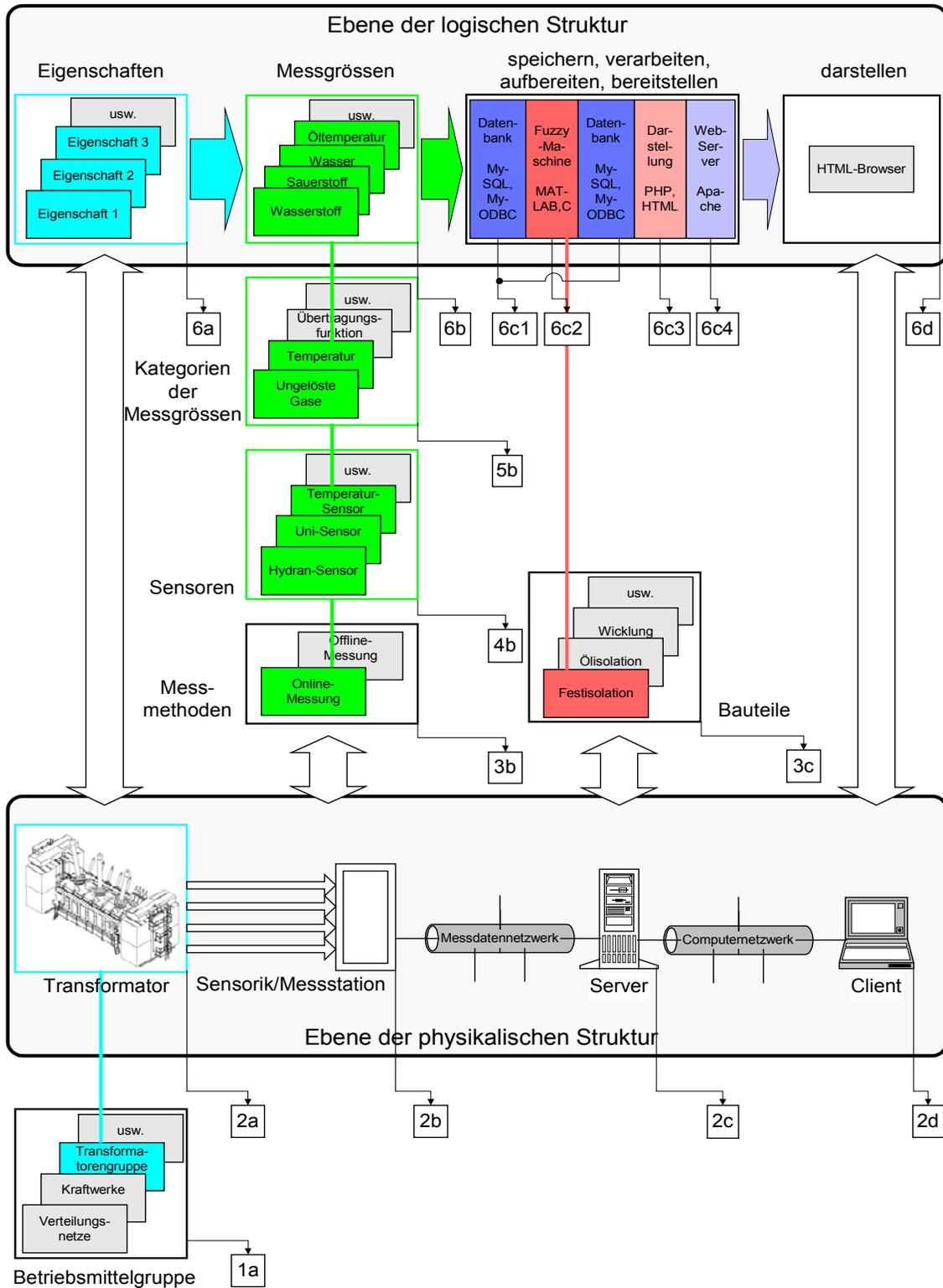


Bild 6. Zusammenwirken zwischen logischer und physikalischer Ebene bei der Transformator-Zustands-Erfassung

Asset-Management – von Online-Daten zum Online-Nutzen

Asset-Management-System in einem 380-/110-kV-Umspannwerk

Dipl.-Ing. Wolfgang Tausend, EnBW Regional AG, Stuttgart

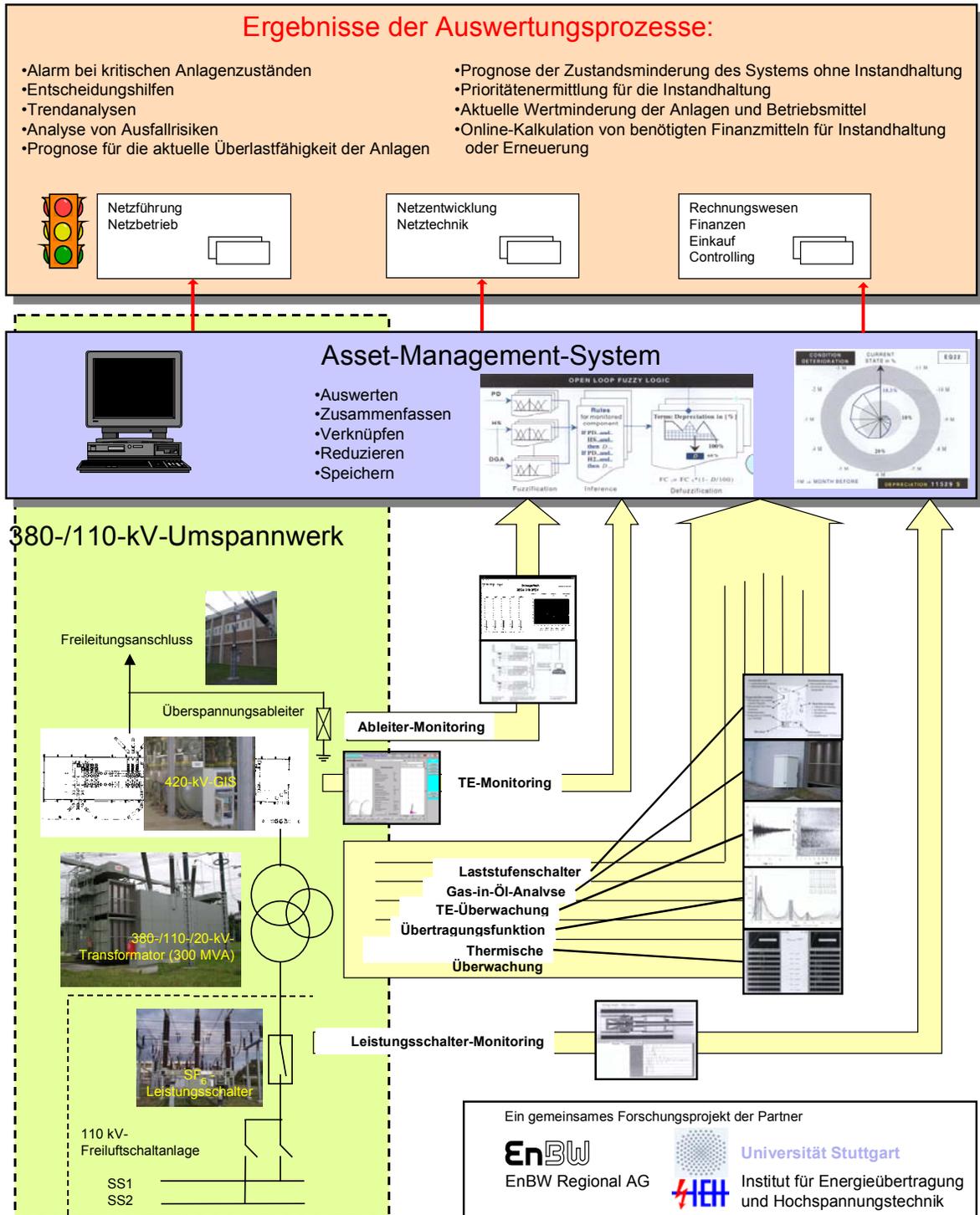


Bild 7. In das Netzschaltbild integriertes Bilddiagramm über die Abbildung der Ursache-Wirkungs-Kette im Zustandsorientierten Asset-Management-Konzept, Projekt „Großgartach“

5. Schlußbemerkungen

Das vorgeschlagene Modell hat alle wichtigen Eigenschaften eines Asset-Management-Systems, die eine online Zustandesbeurteilung von elektrischen Anlagen mit Hilfe von allgemeinverständlichen Regelabbildungen und mit einer prozessnahen Visualisierung ermöglichen. Mit der schrittweisen Bestimmung der Fehlereintrittswahrscheinlichkeit kann das Risiko in bezug auf das ganze System, durch die Erwartungswerte von Aufwendungen fehlerrelevanter Reparaturszenarien, berechnet werden. Diese in einer monetären Einheit ausgedrückte Risikokennzahl sensibilisiert die Verantwortlichen auf die Aufgabe der funktionsübergreifenden Optimierung, was auf der höchsten Systemebene profitwirksame Synergieeffekte realisieren lässt. Das zweidimensional implementierte Überwachungskonzept ist in der Lage sowohl die sich langsam anbahnenden Fehler als auch die Fehler mit großer Dynamik rechtzeitig zu signalisieren.

6. Literatur

- [1] Jozsef Osztermayer, Kurt Feser, "Enhanced Competitiveness with a Modern Asset-Management System", Int. Symp. Modern Electric Power Systems, Wroclaw, Poland, pp 64-69, Sept. 2002.
- [2] Kevin Morton, "Asset management in the electricity supply industry", *Power Engineering Journal*, vol. 13, pp. 233-240, Oct. 1999.
- [3] Ronald Bogaschewsky, "*Prozeßorientiertes Management*", Sringler, Berlin, 1998.
- [4] V. Daniel Hunt, *Process Mapping*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.
- [5] Serge Laerderach, "Information Strategy to Support Utility Asset Management", *CIGRE SC B3 Tutorial*, The XIIIth International Symposium ISH, Delft, August 25-29. 2003.
- [6] Andrew Williamson, "Target and Kaizen costing", *Manufacturing Engineer*, vol. 76, pp. 22-24, Feb. 1997.
- [7] Gerd Balzer, "Ageing of the System", *CIGRE SC B3 Tutorial*, The XIIIth International Symposium ISH, Delft, The Netherlands, August 25-29. 2003.
- [8] T. Hiyama and K. Tomsovic, "Current Status of Fuzzy System Applications in Power Systems", in *Proc. 1999 IEEE SMC99*, pp. VI 527-532, Tokyo, Japan, October 1999.
- [9] S. Islam, Tony Wu, G. Ledwich, "A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 7, No.2, April 2000, pp. 177-186.