

Die kostenminimale Realisierung des Prozeßinformationssystems BayBIS für einen Kraftwerksbetreiber

Dr.-Ing. **Wolfgang Woyke**
Bayernwerk Konventionelle
WärmeKraftwerke AG



**Sonderdruck zur Fachtagung
"Erfolgsfaktor Betriebsmanagement"
der VDI-Gesellschaft Energietechnik
am 25./26. Mai 2000, München**

Die kostenminimale Realisierung des Prozeßinformationssystems BayBIS für einen Kraftwerksbetreiber

Dr. Wolfgang Woyke, München
Bayernwerk Konventionelle Wärmekraftwerke AG

Einführung

Die Energieversorgungsunternehmen haben sich aufgrund des Energiewirtschaftsgesetzes und aufgrund des Marktdrucks nach der Liberalisierung des Strommonopols entlang der Wertschöpfungskette neu strukturiert. Neben der Anforderung, den Unternehmensbereich des natürlichen Monopols „Netzbetrieb“ auszugliedern, wurden auch die Erzeugungsunternehmen als eigenständige Unternehmen unter der Führung einer Holding „Bayernwerk AG“ (BAG) etabliert. Die Aufgabe des Erzeugungsunternehmens „Bayernwerk Konventionelle Wärmekraftwerke AG“ (BKW) in der Unternehmensgruppe ist dabei der Betrieb von mittlerweile acht Kraftwerksstandorten. Dabei steht die wirtschaftliche Energieerzeugung, die Bereitstellung von Leistung und die Reservebereitstellung im Mittelpunkt. Netzdienstleistungen in Form von Regelleistungen gewinnen an Bedeutung.

Die BKW erzeugt ausschließlich für die BAG Energie. Daher ist es sowohl für den wirtschaftlichen Erfolg von BKW als auch von BAG notwendig, die Erzeugungskosten zeitnah und genau zu ermitteln, um sie für die Einsatzplanung, Reserveplanung und Ausbauplanung der BAG modellieren zu können. Eine weitere Aufgabe besteht in der fortlaufenden Validierung durch Vergleich der durch Wärmeverbrauchskurven ermittelten Erzeugungskosten mit den auf Basis von Meßwerten errechneten Erzeugungskosten. Neben den Erzeugungskosten selbst spielen dabei auch die Verfügbarkeit und Verpflichtungen aus Koppelgeschäften wie der Mitverbrennung von Klärschlamm oder der Erzeugung Fernwärme durch Kraft-Wärme-Kopplung eine Rolle.

Die BKW führt derzeit für drei Kraftwerke das Prozeßinformationssystem BayBIS (Bayernwerk Betriebsinformationssystem) ein. Es wurde für ein Mittellastkraftwerk der BKW entwickelt und ist dort bereits seit einem Jahr im Einsatz.

Meßtechnik und prozeßnahe Datenerfassung der Leittechnik in den Kraftwerken können für BayBIS genutzt werden. Es baut auf Methoden auf, die sich in der Praxis bewährt haben, und nutzt die vorhandene IT-Ausstattung des Unternehmens. Anwendung findet es für Prozeßbeobachtung, Prozeßanalyse, Abrechnung, Controlling und Berichtswesen.

Aufgaben des datenbankgestützten Betriebsinformationssystems BayBIS

Das datenbankgestützte Betriebsinformationssystem BayBIS wird mit Daten von Systemen der Leittechnik und Betriebsdatenerfassung aus dem Kraftwerksprozeß gespeist. Es hat im wesentlichen drei Anwendergruppen, die es bei der Lösung ihrer Aufgaben unterstützt (Abbildung 1):

Es liefert kontinuierlich Kenngrößen für die Betriebsmannschaft in der Kraftwerks-warte und ergänzt so das Bedien- und Beobachtungssystem der Leittechnik. Dabei

handelt es sich um Kenngrößen, die für gewöhnlich durch leittechnische Prozeßbeobachtungssysteme nicht erzeugt werden oder nicht erzeugt werden können. Die Betriebsmannschaft soll gezielt über wichtige aktuelle Werte zur Prozeßoptimierung informiert werden.

BayBIS ermöglicht es der Werkleitung, durch verschiedene Verfahren der Prozeßanalyse wichtige Informationen und Daten auszuwerten. Dadurch können Instandhaltungsmaßnahmen gezielt eingeleitet oder die Betriebsanweisung des Kraftwerks optimiert werden. Maßnahmen leiten sich entweder aus der Analyse von Schäden, von Verschleiß oder der Prozeßgüte ab.

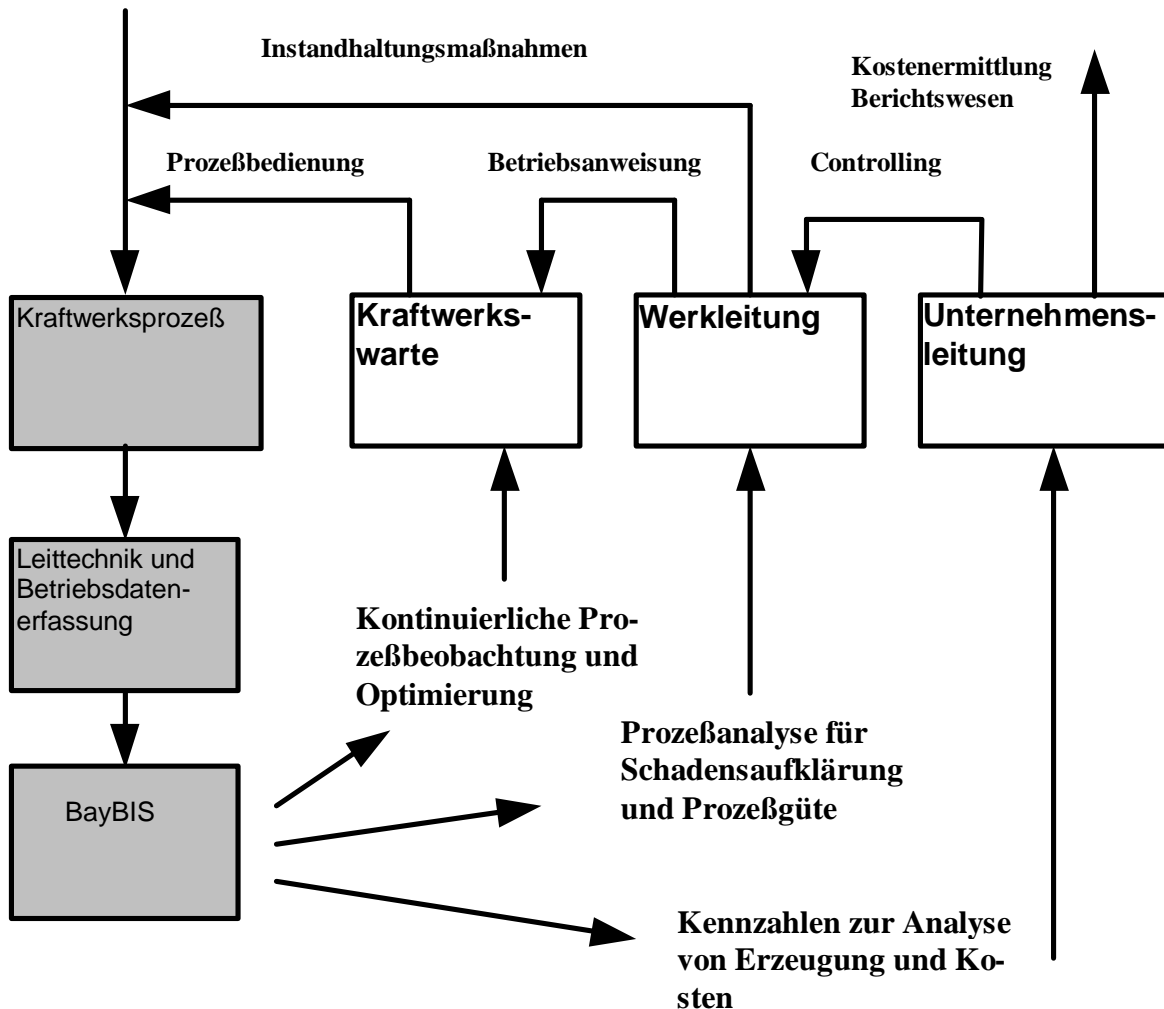


Abbildung 1: Funktionen des datenbankgestützten Betriebsinformationssystems BayBIS

BayBIS liefert die wesentlichen technischen Kennzahlen für die Unternehmensleitung zur Analyse von Erzeugung und Kosten, Abrechnung, Berichtswesen und technischem Controlling. Dazu zählt die Kostenermittlung bei Koppelproduktion (Fernwärme oder Mitverbrennung), die Kontrolle der Erzeugungskosten und die Erhebung statistischer Daten.

Hardware und Softwarestruktur

Die Hardware von BayBIS besteht in seinem Kern aus einem UNIX-Server, der im Kraftwerk aufgestellt wird. Dieser UNIX-Server ist mit einer unidirektionalen Datenverbindung mit dem Leittechniksystem und/oder der Betriebsdatenerfassung verbunden (Abbildung 2).

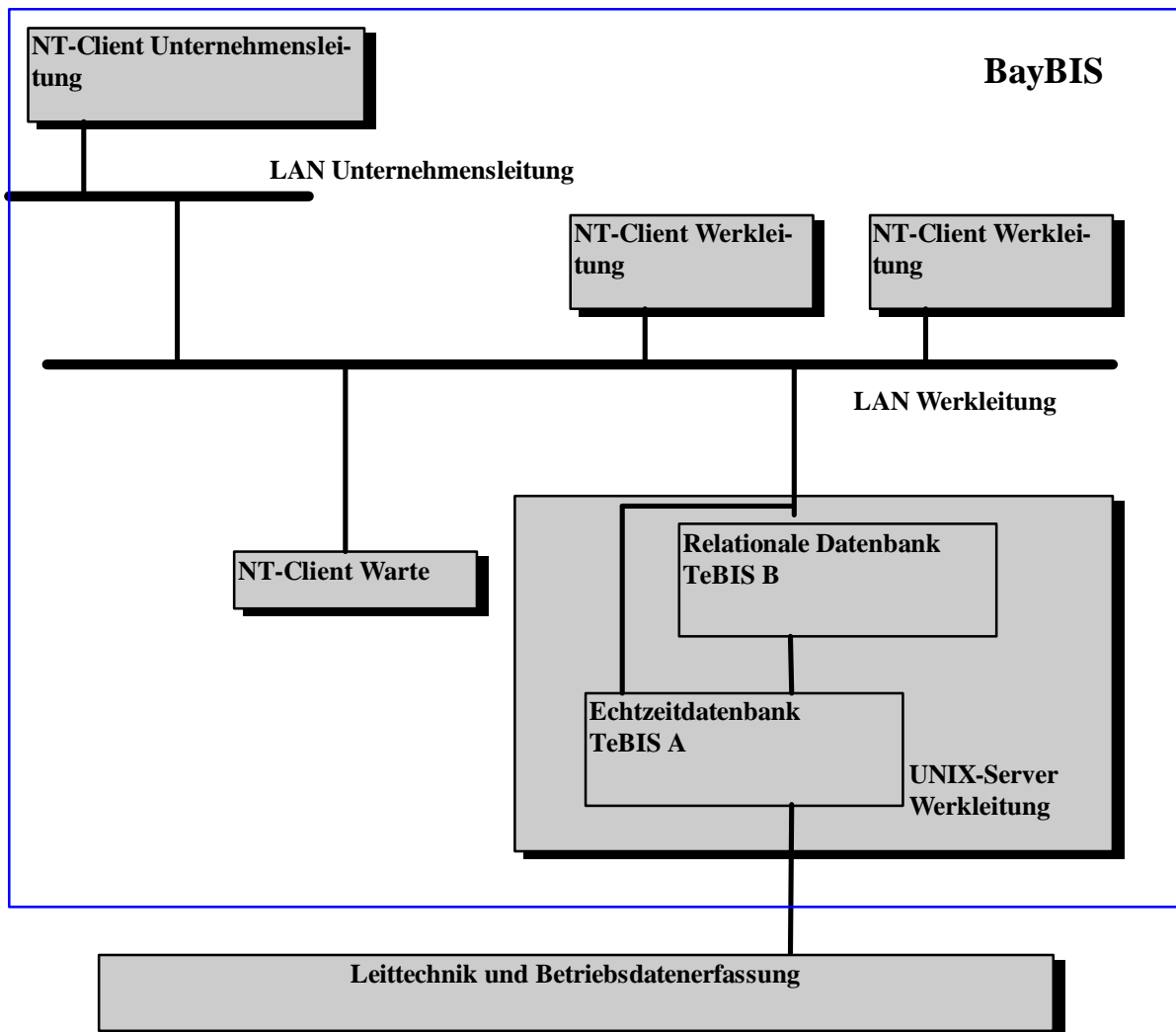


Abbildung 2: Hardware- und Softwarestruktur von BayBIS in einem Kraftwerk

Diese Verbindung arbeitet rückwirkungsfrei. Die Schnittstelle selbst ist in einem selbst dokumentierenden Datenformat kompatibel für Ergänzungen und Änderungen gestaltet. Sofern Leittechniksysteme und Betriebsdatenerfassung nicht mit Datenpuffern für ca. 2 Tage ausgestattet sind, sollten sie nachgerüstet werden, damit ein vorübergehender Ausfall der Schnittstelle oder des UNIX-Servers toleriert werden kann.

Auf der Hardwareplattform des UNIX-Servers ist sowohl eine Echtzeitdatenbank (TeBIS A) als auch eine relationale Datenbank (TeBIS B) /2/ installiert. In der Echtzeitdatenbank werden die Prozessgrößen kompakt gespeichert, in verschiedenen Zeitstufen komprimiert, und es werden Rechengrößen und Kennwerte online berech-

net. Die Echtzeitdatenbank stellt ein universelles Werkzeug der Datenarchivierung dar, das den schnellen und gezielten Zugriff auf Prozeßdaten und Kennwerte ermöglicht. Die relationale Datenbank unterstützt die Replikation von Auswertungen. Der Ersatz ungültiger Prozeßwerte durch Handwerte und die Variation von Auswertungen und Kennwerten erfordert die Bearbeitung über einen in die Vergangenheit zurückgreifenden Zeitraum. Diese Art der Bearbeitung läßt sich hervorragend mit einer relationalen Datenbank realisieren.

Der UNIX-Server ist in das LAN der Werkleitung eingebunden, so daß von jedem Büroarbeitsplatz unter Nutzung der vorhandenen IT-Infrastruktur darauf zugegriffen werden kann. Dazu zählen auch Anwendungen in der Kraftwerkswarte. Dies gilt auch für Büroarbeitsplätze, die sich örtlich weit entfernt, zum Beispiel in der Unternehmensleitung befinden, logisch aber im selben Netzwerk liegen. Mögliche Gefahren des Mißbrauchs werden durch Vergabe von individuellen Zugriffsrechten gehandhabt.

Die eigentliche Anwendung im Arbeitsplatzrechner selbst geschieht mittels Emulation eines grafikfähigen Terminals, alternativ mit Hilfe einer NT-Clientsoftware oder über ODBC-Zugriffe auf die relationale Datenbank aus Anwendungen von gängigen Office-Programmen heraus.

Struktur der Informationsverarbeitung in BayBIS

Die Struktur der Informationsverarbeitung in BayBIS basiert auf einem zentralen Berichtssystem der BAG das seit ca. 20 Jahren im Einsatz ist. Es wurde aber funktionell aufgrund der neuen Aufgaben für einen Kraftwerksbetreiber wesentlich weiter entwickelt (Abbildung 3).

Die Werte von Verbrauchsmessungen (Kohle, Öl, Fremddampf), Erzeugung (Bruttoleistung, Eigenverbrauch, Wärmeauskopplung), Prozeßgrößen (Frischdampfmenge, Parameter des kalten Endes, Zusatzwasser, etc.) und genehmigungsrechtliche Größen (Emissionswerte, Kühlwassermengen) werden durch die Betriebsdatenerfassung oder das Leittechniksystem erfaßt und in einem Zyklus von 10 s in der Echtzeitdatendank von BayBIS abgelegt. In einer ersten Stufe der Vorverarbeitung werden die Daten einer Plausibilitätsprüfung des Wertebereichs unterzogen und wenn nötig numerisch differenziert, um Leistungswerte aus Zählwerten abzuleiten. Im Fehlerfalle werden automatisierbare Methoden der Ersatzwertbildung angewendet.

Die eigentliche Verarbeitung geschieht durch Kennwertberechnungen. Durch Bilanzierung elektrischer Verbraucher und Verbrauchersysteme lassen sich die Kenngrößen „Nettoerzeugung Block“, „Betriebsverbrauch“ und „Nettoerzeugung Kraftwerk“ schaltungsunabhängig ermitteln. Für die Ermittlung von Brennstoffmasse und Brennstoffwärme können unabhängige Meßverfahren und Bilanzierungsmethoden parallel geführt werden. Konsistente Ausgangsdaten für behördenrelevante Berichtspflichten wie Kühlwasserdaten und Emissionsfrachten werden bilanziert.

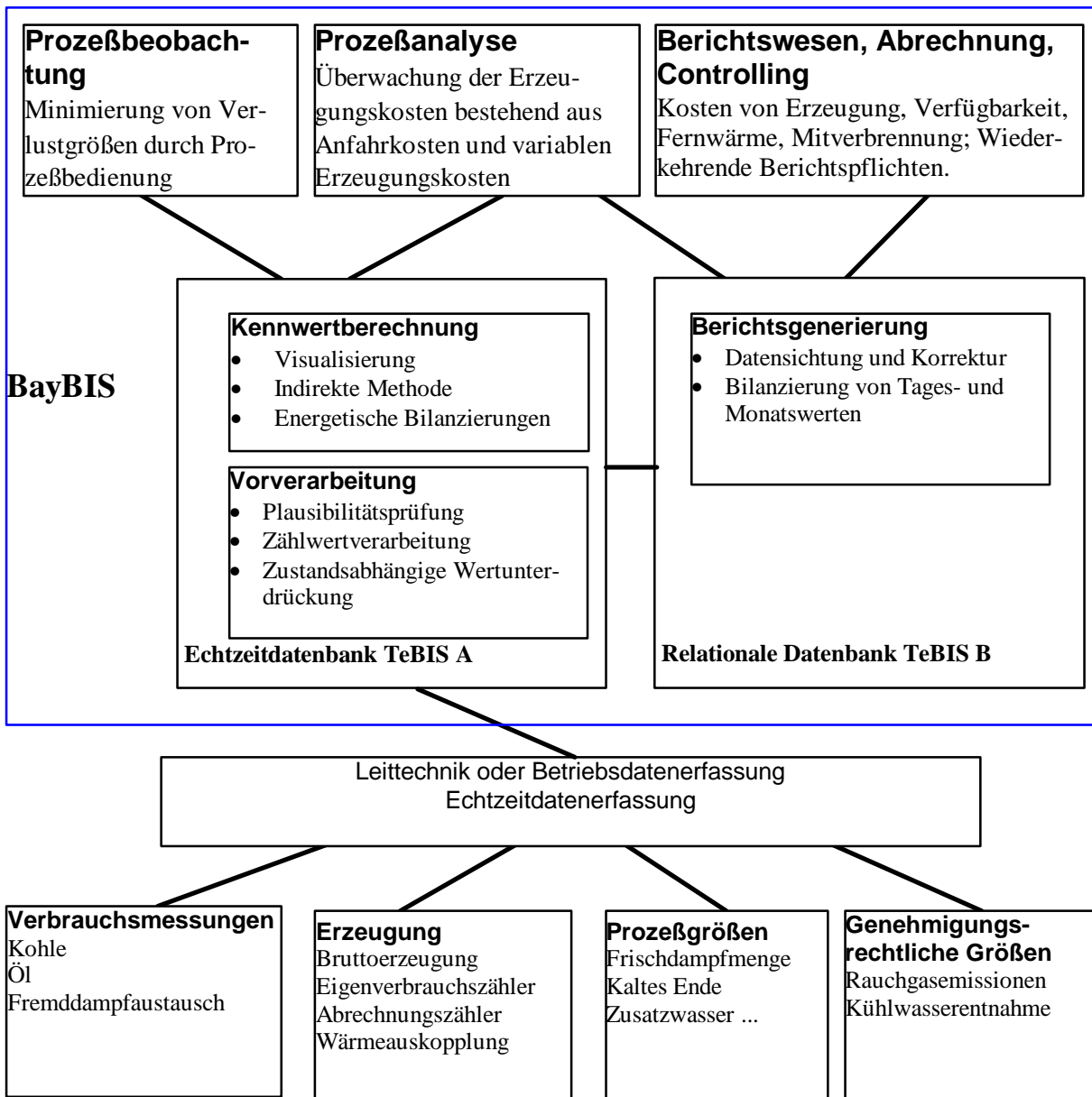


Abbildung 3: Struktur der Informationsverarbeitung in BayBIS

Mit Hilfe der relationalen Datenbank TeBIS B sind die Werkzeuge zum nächsten Schritt der Berichtsgenerierung implementiert. Funktionell erfordern statistische Auswertungen die Verdichtung der Werte über längere Zeiträume wie Tage, Monate und Jahre. Da die Inhalte sich vollständig aus der Echtzeitdatenbank errechnen, ist es möglich, hier in die Vergangenheit zurückreichende Änderungen vorzunehmen. Dies ist zum Beispiel immer dann notwendig, wenn Ersatzwerte oder Laboranalysen in Kennwerte mit eingehen, die oft erst mit einer zeitlichen Verzögerung von mehreren Tagen verfügbar sind. Off-Line Auswertungen, die sich aber auf die relationale Datenbank abstützen, greifen immer auf die z. B. auf Basis von Laboranalysen korrigierten Kennwerte zu. Durch die Durchgängigkeit dieses Konzepts können Inkonsistenzen weitgehend verhindert werden.

Die Anwendungen der Prozeßbeobachtung stützen sich auf die Echtzeitdatenbank, Anwendungen von Berichtswesen, Abrechnung und Controlling auf die relationale

Datenbank und Anwendungen der Prozeßanalyse auf beide Datenbanken. Diese Anwendungen werden im Folgenden näher beschrieben.

Prozeßbeobachtung und Prozeßoptimierung

Das weite Feld der Prozeßbeobachtung läßt sich wie folgt gliedern: Die Werkzeuge zur Prozeßbeobachtung von aktuellen Prozeßgrößen, Steuerungen, Regelungen und Meldungen werden durch hoch verfügbare Leittechniksysteme realisiert.

	Istwert	Sollwert	Abweichung
Nettoleistung (korr.)	386.0 MW		
Wirkungsgrad	39.4 %	39.8 %	-143 TDM/Jahr
Eigenbedarf	32.9 MW	31.9 MW	-41 TDM/Jahr
FD-Temperatur	529.0 °C	531.0 °C	-10 TDM/Jahr
ZUE-Temperatur	530.0 °C	531.0 °C	-3 TDM/Jahr
ZUE-Einspritzmenge	22.0 t/h	20.0 t/h	-55 TDM/Jahr
O2 hi. Kessel	2.0 %	2.0 %	0 TDM/Jahr
RG-Temp. v. SgZug	148.0 °C	143.0 °C	-55 TDM/Jahr
Kondensatordruck	28.0 mbar	28.0 mbar	0 TDM/Jahr
Zusatzwasser	2.4 t/h	2.4 t/h	
Ungeklärter Rest (Beharrungsverluste)			22 TDM/Jahr

Abbildung 4: Prozeßbeobachtung mit BayBIS

Komplexere Anwendungen wie etwa die Lebensdauernachrechnung oder die Schwingungsanalyse werden, soweit vorhanden, als Einzelsysteme den Leittechniksystemen beigestellt. Ergänzend übernimmt BayBIS die Aufgabe, durch Bedienung, Wartung oder Instandhaltung beeinflussbare Größen darzustellen und gleichzeitig kommerziell zu bewerten. Im Unterschied zu Leittechniksystemen ist es einfach und ohne spezielle Systemkenntnisse durch Anwender konfigurierbar.

Beispielhaft ist die Prozeßbeobachtung kostenbewerteter Einflußgrößen dargestellt (Abbildung 4). Korrigiert man die Nettoleistung um Nebenprodukte wie Wärmeauskopplung, Dampfaustausch und Außeneinflüsse wie die Kühlwassertemperatur, so ergibt sich ein Wert der „Nettoleistung (korr.)“, der für den normierten Wärmeverbrauch gemäß Wärmeverbrauchskurve maßgeblich ist. Gemäß Wärmeverbrauchs-

kurve läßt sich ein von dieser Nettoleistung abhängiger Sollwert des Wirkungsgrads ableiten.

Der Istwert des Wirkungsgrads ist eine der wesentlichen Kenngrößen, die Online durch BayBIS bestimmt werden. Die Differenz von Sollwert und Istwert läßt sich als Abweichung mit BayBIS auch kommerziell bewerten. Sie ist ein Gesamtmaß aktueller Verluste, das sich, mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, als Summe einzelner Verlustkomponenten darstellen läßt. Diese hier acht Verlustkomponenten wurden aufgrund von thermodynamischen Kreislaufrechnungen identifiziert. Durch Variation der Kreislaufrechnungen lassen sich die Einflußfaktoren dieser Verlustkomponenten auf den Wirkungsgrad quantitativ errechnen.

Die Genauigkeit dieser Darstellung spiegelt sich in der Größe „ungeklärter Rest“. Dynamische Effekte (Beharrungsverluste), Grenzen der Darstellbarkeit der Gesamtverluste durch diese acht Verlustkomponenten, aber auch Fehler der Meßtechnik und in der Anlagentechnik summieren sich in der Größe „ungeklärter Rest“.

Es lassen sich mit BayBIS aber auch in bekannter Art und Weise verfahrenstechnische Schaltbilder darstellen, wie dies auch mit Leittechniksystemen mit Bildschirmbeobachtung möglich ist.

Analyse des Wärmeverbrauchs als Beispiel der Prozeßanalyse mit BayBIS

Abbildung 5 zeigt die Prozeßanalyse des Wärmeverbrauchs eines Kraftwerksblocks in der typischen Fahrweise im Mittellastbereich.

Der nominelle Wärmeverbrauch zur Stromerzeugung läßt sich aus der spezifischen Wärmeverbrauchskurve, abhängig von der momentanen Nettoerzeugung, bestimmen. Zusammen mit einem von der vorhergehenden Stillstandszeit abhängigen Anfahrwärmeverlust ergibt er den variablen Kostenanteil der Stromerzeugung und geht in dieser Form in die optimierte Einsatzplanung des Kraftwerksblockes innerhalb des Kraftwerksparks ein. Für den Kraftwerksbetrieb selbst stellt er den Sollwert des Wärmeverbrauchs (Abbildung 5) dar.

Unter Saldierung der Brennstoffwärme von Hauptbrennstoff, Hilfsbrennstoff und Energieaustausch in Form von Hilfsdampf und Eigenbedarf läßt sich der Istwert des Wärmeverbrauchs online bestimmen und über den Sollwert legen. Da die Modellierung durch spezifischen Wärmeverbrauch und Anfahrverluste sehr genau ist, liegen beide Kurven fast deckungsgleich übereinander.

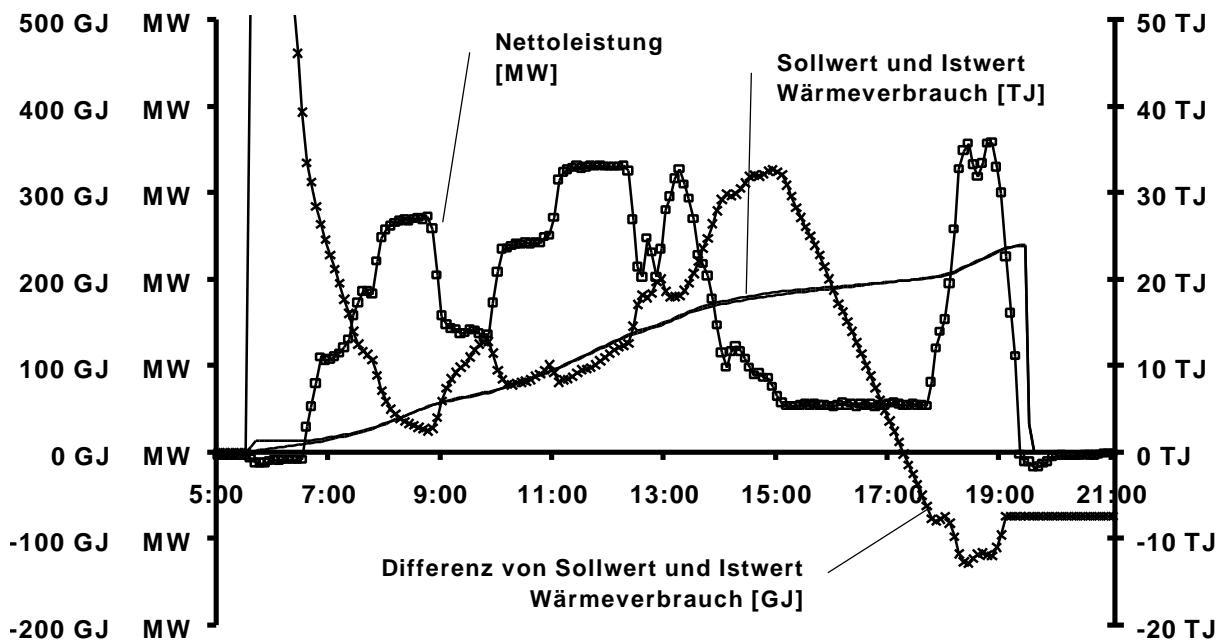


Abbildung 5: Analyse des Wärmeverbrauchs mit BayBIS


Um die Differenzen herauszuheben, ist die Differenz als eigene Kurve, 100-fach vergrößert dargestellt (linke Skala in Abbildung 5). Da dem Sollwert des Wärmeverbrauchs bereits beim Anfahren der volle Anfahrwärmeverbrauch zugeschlagen wird, der Wärmeverbrauch als Istwert aber erst mit Ende des Anfahrens verbraucht wird, läuft diese Differenz virtuell zunächst über den Darstellungsbereich. Mit Ende des Anfahrenvorgangs um 9:00 Uhr erreicht die Differenz ein Minimum. Im Laufe des Tages steigt sie wieder an, d.h. der Istwert des spezifischen Wärmeverbrauchs ist kleiner als der Sollwert. Am Nachmittag fällt die Differenz, wenn der Block in Mindestlast betrieben wird. Nach dem Abstellen verbleibt eine negative Differenz. Über die gesamte Lastfahrt gesehen ist der Istwärmeverbrauch also etwas höher als der Sollwärmeverbrauch.

Durch gezielte Analyse lassen sich die Ursachen näher untersuchen. Zum Beispiel könnte aber auch die nominelle Wärmeverbrauchskurve angepaßt werden. Ein Vorteil des Verfahrens ist, daß sich Ein- und Ausspeichervorgänge sowie Beharrungsverluste kompensieren bzw. richtig dargestellt werden, obwohl die Betriebsweise im gezeigten Beispiel kaum als stationär bezeichnet werden kann.

Energielieferungsbericht als Beispiel für das Berichtswesen mit BayBIS

Kennzahlen zur Analyse von Erlösen und Kosten, Kennzahlen für statistisch oder behördlich geforderte Berichte, und Kennzahlen zur Beurteilung des Anlagenzustands werden an Dritte weitergegeben. Man stellt hohe Anforderungen an die Qualität, d.h. Genauigkeit und Schlüssigkeit dieser Werte.

Dies erfordert, daß diese Kennzahlen gesichtet, auf Plausibilität geprüft und eventuell manuell korrigiert werden müssen. Die Form der Darstellung in Listenform des „Energieförderberichts“ zeigt eine Office-Anwendung von BayBIS, die über ODBC-Treiber auf die relationale Datenbank des Berichtssystems TeBIS B zugreift. Es hat sich als nützlich erwiesen, eine Gliederung in sechs Kategorien einzuführen (Abbildung 6). Beispielhaft ist für jede Kategorie eine Größe angeführt. Es lassen sich mit einem derartigen Formular sowohl Tages-, Monats- und Jahresberichte erzeugen. Als Hilfsmittel zur Datensichtung und Korrektur wird generell der Tagesbericht genutzt. Die mit dem täglichen Energieförderbericht gesichteten und geprüften Daten dienen als Datenquelle für alle darauf folgenden Anwendungen von BayBIS.



Energieförderbericht				
Tagesbericht				
24.02.2000				
		Block A	Block B	Summe
Elektrische Erzeugung				
Bruttoerzeugung	MWh	3.489,6	3.537,3	7.026,9
Spezifische Werte				
Eigenverbrauch	%	10,7	9,9	
Kühlwasser und Luft				
Kühlwasser-Entnahme (Max)	m³/s			18,6
Brennstoffe				
Brennstoffwärme Heizöl -S-	GJ	30.994,4	30.769,3	61.763,7
Emissionen				
CO-Konzentration Kamin	mg/m³	4,88	8,12	
Betriebsverlauf				
Hilfskessel 1/2/3	tBges h	2,38	1,05	11,22

Abbildung 6: Beispiel für den täglichen „Energieförderbericht“ mit BayBIS.

Programmierbeispiel für eine Kennzahl von BayBIS

Anhand des folgenden Beispiels (Abbildung 7) für die Temperatur des Kühlwassers soll die vollständige Art der Konfigurierung von Rechenwerten erläutert werden.

TeBIS A **16** `_0_PAA00_CT001` °C **0 30** **Fluß Temperatur**
10202 `_0T_Einlauf` °C **Rechn** **Kühlwasser Einlauf**temperatur
ifinvalid(`_0_PAA00_CT001,_0T_Einlauf[1 hist 1]`)

TeBIS B `_0T_Einlauf_H` °C **0.0 30.0** **Einlauf**temperatur (**Donau**)
`_0T_Einlauf_B` °C **mw** **T** **Kühlwasser Einl. Donau Mitw**
ifinvalid(`_0T_Einlauf_H,_0T_Einlauf`)
(_3Feuer_Ein>0) or (_4Feuer_Ein> 0)

SQL-Sequenz/ **SELECT rep_v_4.l_time, rep_v_4.“_0T_Einlauf_B”,**
MS-Query **FROM capoadm.rep_v_4 rep_v_4**

MS-Excel **=MITTELWERT(F4:F6)**

Abbildung 7: Programmierbeispiel für eine Kenngröße in BayBIS

Durch die Echtzeitdatenbank TeBIS A wird die Kühlwassertemperatur „_0_PAA00_CT001“ aus dem Betriebsdatenerfassungssystem oder der Leittechnik unter der internen Nummer „16“ eingelesen werden. Es ist hinterlegt, daß die Einheit dieser Größe „°C“ ist und ein plausibler Wert zwischen „0“ und „30“ liegen muß. Fällt die Messung aus oder wird ein nicht plausibler Wert eingelesen, so wird im Rechenkanal 10202 „_0T_Einlauf“ dieser Wert durch den letzten vorhergehenden plausiblen Wert ersetzt („ifinvalid“).

In der relationalen Datenbank (TeBIS B) wird die Größe „_0T_Einlauf_H“ definiert, um Handeingaben für Ersatzwerte zu kennzeichnen. Durch die Vorgabe des Wertebereichs zwischen 0.0 und 30.0 werden Fehleingaben weitgehend unterbunden. Die Größe „_0T_Einlauf_B“ übernimmt den Tagesmittelwert (mw) derjenigen Stundenmittelwerte (_0T_Einlauf), die der Bedingung genügen, daß in einem der beiden Blöcke des Kraftwerks Feuer gezündet wurde ((_3Feuer_Ein>0) or (_4Feuer_Ein>0)). Ist ein Handwert vorhanden, wird vorzugsweise dieser verwendet („ifinvalid“).

Mit Hilfe von MS-Query werden SQL-Sequenzen erzeugt, die die Größe „_0T_Einlauf_B“ für einen definierten Zeitraum über ODBC abrufen. Zur Verrechnung im EXCEL-Dokument selbst werden gewöhnliche Funktionen wie „MITTELWERT“ benutzt.

Wichtige Aspekte zur Einführung von BayBIS

Ziel der Entwicklung von BayBIS war es, Investitions- und Betriebskosten und den Systemnutzen zu optimieren. Die folgenden Aspekte haben sich dabei als besonders wichtig herausgestellt.

Die Entwicklung auf Basis eines im industriellen Einsatz erprobten Systems (TeBIS A und TeBIS B) ist einer vollständigen Neuentwicklung vorzuziehen. Viele Funktionalitäten von BayBIS sind zwar in ihrer Anwendung für die Kraftwerkstechnik spezifisch,

sie können aber mit denselben Methoden (TeBIS A und TeBIS B) realisiert werden, die sich auch im industriellen Einsatz für andere Branchen bewährt haben.

Durch die Einführung desselben Systems BayBIS in mehreren Anlagen können sowohl System- als auch verfahrenstechnisches Know-how effizient eingesetzt werden. Methoden, Verfahren und zum Teil auch Algorithmen können direkt übernommen werden.

Es hat sich gezeigt, daß die Schnittstellenproblematik zwischen einerseits Leittechniksystemen, Betriebsdatenerfassungssystemen und andererseits Office-Anwendungen mit vertretbarem Aufwand lösbar ist. Durch Archivierung, Auswertung und Komprimierung der Daten schafft BayBIS somit ein Bindeglied zwischen Betriebsdatenerfassung, Leittechnik auf der einen und Office-Anwendungen auf der anderen Seite.

Die Erstprogrammierung und Konfiguration von BayBIS kann bei geeigneter Eingrenzung der Aufgabenstellung gut durch IT-Dienstleister erstellt werden. Es kann aber nicht geleugnet werden, daß für die Einführung und zumindest für die anfängliche Betriebsphase einschlägige Vorkenntnisse und Erfahrungen zur Strukturierung der kraftwerkspezifischen Anwendung notwendig sind. Grundsätzlich ist BayBIS aber für den Anwender so offen angelegt, daß es vom Anwender ohne fremde Hilfe betrieben und funktionell weiter entwickelt werden kann.

Ein Wartungsvertrag mit dem Systementwickler ergänzt das notwendige DV-technische Wissen zum Betreiben eines derartigen Systems.

Literatur

- [1] C. Reents, W. Woyke: A Process Information Management System; POWER-GEN Europe 99, Frankfurt
- [2] M. Stoll, H. Steinhaus, W. Woyke, K. Hirnsberger: Anforderungen an ein technisches Betriebsinformationssystem; Sonderdruck zur Fachtagung „Optimierung in der Energieversorgung“ der VDI-Gesellschaft Energietechnik, Oktober 1999, Heidelberg.