

Datenvalidierung als Instrument zur Effizienzsteigerung in Kernkraftwerken (KKW)

E. Grauf *), M. Langenstein - Vortragender **)

*) Gemeinschaftskernkraftwerk
Neckarwestheim Block 2
Postfach 11 62
D-74380 Neckarwestheim
Tel.: 0 71 33/13 30 38

**) BTB-Jansky GmbH
Gerlingerstraße 151
D-71229 Leonberg
Tel.: 0 71 52/30 87-0
FAX: 0 71 52/30 87-22

INHALTSVERZEICHNIS		SEITE
1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	2
3	MODELLAUFBAU	2
4	EINGABEWERTE	3
5	DATENFLUSS UND WEITERVERARBEITUNG	3
5.1	Trenddarstellung	3
5.2	Sensitivitätsanalyse	5
6	ORGANISATORISCHE EINBINDUNG IM KKW	5
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN	6
8	LITERATURVERZEICHNIS	6

1 Zusammenfassung

In vorliegendem Beitrag wurde die mathematische Gesamtbilanzierung des Kernkraftwerk (KKW)-Prozesses als funktionale Redundanz zu den Betriebsmessungen und Reaktorleistungsberechnungen vorgestellt.

Mit Hilfe der VALI-Software konnten speziell beim Anfahren der Anlage bedeutende Abweichungen der mittleren Kühlmitteltemperatur (KMT)-Werte gegenüber angezeigten Werten verifiziert werden. Die Korrekturen der Fahrweise, die auf der Basis der Validierungsdaten vorgenommen wurde, führten zum schnelleren Erreichen der maximalen Leistung.

Die Trendverfolgung der aus den validierten Daten ermittelten Komponentenleistungsdaten ergibt direkte Hinweise auf verfahrenstechnische Schwachstellen. Mit Hilfe der Sensitivitätsbetrachtung kann ein fehlerhaftes Verhalten der Messketten erkannt werden. Hierzu wurden automatisch erzeugte Berichtsformulare erstellt, die in der Instandhaltung der Messketten verwendet werden.

Der Ersatz von Gerätekalibrierung durch die funktionale Redundanz zu den Betriebsmesswerten ergibt ein Einsparungspotential bei Instandhaltungsaktivitäten wie Wiederkehrende Prüfungen (WKP) und Wiederkehrende Maßnahmen (WIM) von ca. 0,5 Mio. DM je LWR-Block/Jahr.

2 Einleitung und Zielsetzung

Zur Übertragung einer thermischen Leistung von ca. 3.850 MW_{th} vom Primärkreis an den Sekundärkreis über Wärmetauscher (Dampferzeuger) muss eine große Menge von Kühlmittel umgewälzt werden. Die thermische Leistung der KKW's ist genehmigungspflichtig und darf deshalb nicht überschritten werden. Deshalb liegt es im Interesse der Betreiber, die Anlage bis an die Grenze zu betreiben, um möglichst die maximale elektrische Leistung und somit die Kilowattstunde mit niedrigsten spezifischen Kosten zu produzieren.

Die thermische Reaktorleistung wird mittels empirischer Gleichung aus den Betriebsmessdaten ermittelt, wobei diese mit Messfehlern behaftet sind. Die größten Messfehler treten bei Mengemessungen auf. Kleiner ist der Fehler bei Druckmessungen. Der kleinste Messfehler ist bei Temperaturmessungen zu erwarten. Diese Abweichungen können in den Messketten, die vor Regelungen oder vor den Prozessrechnern angeordnet sind, noch vergrößert werden. Somit ist die errechnete thermische Reaktorleistung mit Messwertabweichungen behaftet.

Eine gerätetechnische Redundanz zur Erfassung der tatsächlichen Betriebsparameter wird zur Zeit mit umfangreichen Wiederkehrenden Prüfungen (WKP's) und Wiederkehrenden Instandhaltungsmaßnahmen (WIM's) in der Messtechnik „gewährleistet“. Diese Maßnahmen kosten eine Menge Geld und sind nur diskontinuierlich durchführbar (überwiegend beim Brennelementwechsel).

Zur Beurteilung des Prozesses wird jedoch eine sehr genaue Information über die Betriebsparameter, die während des Betriebes und hier insbesondere beim Wiederanfahren der Anlage auftreten benötigt.

Aus diesem Grund bietet sich als Ersatz für die gerätetechnische Redundanz die mathematische Gesamtbilanz der Anlagenprozesse – eine sog. funktionale Redundanz -, die die Gültigkeit der Prozessdaten überprüft. Diese Grundlage wurde beim Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim, Block2 (GKN 2, vier LOOP-Anlage) mittels dem Programm VALI III der Firma IOTA GmbH (Hersteller der Software: Fa. Belsim) /1/ erzielt. Die mathematische Grundlage für die funktionale Redundanz ist in der VDI 2048 (Entwurf) /2/ beinhaltet.

Die Datenvalidierung arbeitet mit Messwerten, die in einem Anlagenmodell thermodynamischen Zustandsgrößen einzelner Ströme zugeordnet werden. Das so entstehende überbestimmte Gleichungssystem wird unter Berücksichtigung von Massen- und Energiebilanz mit Hilfe des Gauss'schen Ausgleichsprinzips gelöst. Das Prinzip der Datenvalidierung mit einer nachvollziehbaren Handrechnung ist in den **BEILAGEN 2.01 bis 2.03** zusammengestellt. Hierbei wird nur, zum besseren Verständnis der Theorie, als Nebenbedingung die Erfüllung der Massenbilanz berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Validierungsrechnungen mit angeschlossener Sensitivitätsbetrachtung ermöglichen „online“-Korrekturen der Betriebsdaten und über die Zeit auch eine Trendverfolgung von einzelnen Anlagenkomponenten auf deren Funktionalität im System.

Hierzu sollen in vorliegendem Beitrag einige Beispiele gezeigt werden, wobei auch die Behandlung der gewonnenen Daten in der Kraftwerksorganisation angesprochen wird. Eine mögliche Auswirkung auf die Instandhaltungskosten wird angegeben.

3 Modellaufbau

Das Datenvalidierungsmodell für GKN 2 wurde mit dem Programm VALI III /1/ erstellt und ist in **BEILAGE 3.01** als Fließbild und in der **BEILAGE 3.02** als Abbildung in VALI dargestellt. Modelliert wurden:

- der **Primärkreis** mit Reaktordruckbehälter (RDB), vier Hauptkühlmittelpumpen (HKMP), vier Dampferzeugern (DE), den verbindenden Rohrleitungen und dem Reaktorwasserreinigungssystem (KBA-System)
- der **Sekundärkreis** mit HD-Turbine, zwei ND-Turbinen, zwei Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer, zwei Kondensatoren, Kondensatpumpe, zwei Vorwärmstrecken mit ins-

gesamt sechzehn Wärmetauschern, den drei Speisewasserpumpen, dem Speisewasserbehälter und die verbindenden Rohrleitungssysteme inklusive der vier Abschlämmleitungen der Dampferzeuger.

4 Eingabewerte

Als Eingabewerte gehen insgesamt

- 147 aktive Messwerte und
- 152 PSEUDO-Messwerte

in das Validierungsmodell ein. Um über diese Werte hinaus noch weitere Prozessinformationen und Prozessdaten wie z. B.

- Aufteilung der Wärmemengen über die vier Dampferzeuger,
- Frischdampf-oder Speisewasserwärmemengen,
- Wirkungsgrade von Pumpen,
- Grädigkeiten von Wärmetauschern,
- Drücke, Temperaturen und Massenströme in Bereichen, in denen keine Messungen vorhanden sind,

werden noch zusätzlich insgesamt 154 sonstige Variablen definiert.

Messwerte werden vom Prozessrechner als Stundenmittelwerte an das Modell übergeben.

PSEUDO-Messwerte sind Werte, die für den Validierungsvorgang benötigt werden, im Prozess an diesen Stellen jedoch keine Messungen vorhanden sind. PSEUDO-Messwerte werden mit festen Startwerten versehen.

Bei den **sonstige Variablen** handelt es sich z. B. um errechnete Werte wie der Dampferzeugerleistung oder um Drücke, Massenströme oder Temperaturen an Stellen im Prozess, an denen keine Messungen vorhanden sind.

Die sonstigen Variablen werden nur zur Auswertung benötigt und haben im Vergleich zu den Messwerten und den PSEUDO-Messwerten auf den Validierungsvorgang keinen Einfluss.

5 Datenfluss und Weiterverarbeitung

Der Datenfluss ist in **BEILAGE 5.01** dargestellt. Der Messwertdatensatz (Stundenmittelwerte) wird in das VALI-Modell eingelesen. Nachdem das Konvergenzkriterium

Summe der kleinsten Fehlerquadrate kleiner als 1×10^{-6}

erfüllt ist, wird ein REPORT-FILE, der für die Trenddarstellung benötigt wird und optional ein SNS-FILE, der die Sensitivitätsanalyse enthält, erstellt.

5.1 Trenddarstellung

Der REPORT-FILE wird in eine ACCESS-Datenbank eingelesen. Im REPORT-FILE sind

- die Messwerte, oder die Startwerte der PSEUDO-Messwerte,
- die Standardabweichung der Messwerte,
- die validierten Werte der Messwerte oder der PSEUDO-Messwerte,
- die Standardabweichung der validierten Werte und

- die PENALTY Funktion

enthalten. Mit dem VALI-RESULT-BROWSER, siehe **BEILAGE 5.1.01**, der EXCEL als Oberfläche nutzt, können dann die Trendverläufe einzelner Daten dargestellt werden.

Die mit dem VALI-Programm errechnete **PENALTY-Funktion** kann als ein Maß für die Güte des Modells verstanden werden. Sie stellt die folgende Summe dar:

$$\sum_i \left(\frac{\text{Meßwert}_i - \text{zugehöriger validierter Wert}_i}{\text{Standardabweichung des Meßwertes}_i} \right)^2$$

Die Trenddarstellung der PENALTY-Funktion für den vorliegenden Modellaufbau ist in **BEILAGE 5.1.02** wiedergegeben. In dieser Darstellung ist auch die elektrische Generatorleistung dargestellt, um die Abhängigkeit der PENALTY-Funktionswertschwankungen zwischen 50 und 100 von der Generatorleistung zu zeigen. Der starke Anstieg der PENALTY-Funktion am 01.06.98 ist auf eine Leistungsreduzierung auf ca. 1100 MW (ca. 80 %-Leistung) zurückzuführen.

In den **BEILAGEN 5.1.03 bis 5.1.06** sind für den Anfahrvorgang am 07.09.98 und die weitere Trendentwicklung bis zum 23.09.98

- die thermische Reaktorleistung
- die mittlere Kühlmitteltemperatur
- die elektrische Generatorleistung und
- die thermischen Leistungen der Abschlämzung, des Speisewassers und des Frischdampfes

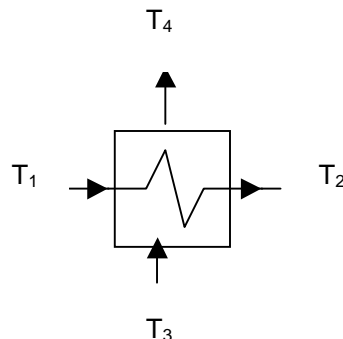
graphisch dargestellt. Ziel dieser Darstellungen ist es, den Anfahrvorgang quasi-online zu verfolgen, um bei eventuell auftretenden Problemen während des Anfahrvorganges so schnell wie möglich Hinweise zu bekommen, wo die Ursachen der Abweichungen von den zu erwartenden Werten liegen könnten.

Die in den Diagrammen eingezeichneten Linien sind die Zielwerte, die für einen 100 %-Betrieb erreicht werden müssen. Weichen einzelne Werte von diesen Zielwerten ab, so kann in diesem Bereich mit Hilfe weiterer Variablen die ebenfalls in der Datenbank vorliegen, die Ursache ermittelt werden.

In **BEILAGE 5.1.07 und 5.1.08** sind die Messwerte und die validierten Werte der Speisewassermengen in den Speisewasserleitungen LAB 60 bis LAB 90 graphisch dargestellt. Hier sind deutliche Unterschiede zwischen den validierten Werten und den Messwerten zu erkennen.

In **BEILAGE 5.1.09** ist das zur Bewertung von Wärmetauschern gewählte Temperaturdifferenzverhältnis für einen ausgewählten Wärmetauscher dargestellt.

$$ETA_T = \frac{T_4 - T_1}{T_2 - T_1}$$



$T_2 > T_1$ und $T_4 < T_3$

und $T_{1,2,3,4}$ in [K]

In den **BEILAGEN 5.1.10 und 5.1.11** sind die Prozessabbilder des Primär- und des Sekundärkreises mit validierten und gemessenen Werten dargestellt.

5.2 Sensitivitätsanalyse

Optional kann auch eine **Sensitivitätsanalyse** durchgeführt werden. Diese wird nach einer Aufarbeitung ebenfalls in die ACCESS-Datenbank eingespielt. Damit ist es unter Verwendung eines Kriteriums (Einzel-PENALTY > als gewähltes Kriterium, z. B. 1) möglich, alle Messstellen die dieses Kriterium erfüllen aufzulisten und die Abhängigkeiten anderer Messstellen auf die Ermittlung des validierten Wertes dieser Messstellen zu zeigen. Dies ist vorallem bei Kalibriervorgängen, die durch die Messtechnik eingeleitet werden sollen, zu berücksichtigen. Ein Beispielbericht ist in **BEILAGE 5.2.01** dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass der validierte Wert der Messstelle JEC20CT003A basierend auf insgesamt sieben Messwerten errechnet wird und diese Messwerte zu gleichen Anteilen (11,7 %) an der Ermittlung des validierten Wertes beteiligt sind. Die Summe dieser Anteile ergibt 82 %. Die fehlenden 18 % sind Werte, die intern von VALI errechnet werden und die nicht in der Sensitivitätsanalyse angezeigt werden (in der Sensitivitätsanalyse werden nur Messwerte und PSEUDOMesswerte angezeigt).

6 Organisatorische Einbindung im KKW

Die Validierung der gemittelten Prozessdaten wird von der Abteilung „Leittechnik“ mittels der Rechneranlage KRIS durchgeführt. Die validierten Daten werden entweder auf die Blockwarte geleitet, wo sie auf einer hierzu aufgebauten Graphik der Anlage im Falle von großen Abweichungen angezeichnet werden oder auf einem PC (Abteilung „Betrieb“) so aufbereitet, dass die Werte in Form von Trendkurven dargestellt werden können. Des Weiteren werden einzelne Werte so zusammengefasst, dass

- die thermische Reaktorleistung,
- der Wirkungsgrad der Anlage,
- der Eigenverbrauch und
- die Wirkungsgrade einzelner Wärmetauscher

abgebildet wird /3/. Diese Daten werden von einem Betriebsingenieur begutachtet. Sich abzeichnende Abweichungen werden mit dem Betriebsleiter besprochen. Hier wird entschieden, ob und in welcher Form die Systemingenieure oder die Instandhaltung eingeschaltet werden. Für die Leittechnik werden Berichte von Messstellen mit großer PENALTY-Funktion automatisch generiert um Hinweise zu geben, wo eine Kalibrierung durchgeführt werden muss. Die Zielsetzung dieser Vorgehensweise ist es,

- nur Messstellen zu kalibrieren bei denen es auch notwendig ist und
- eine VALI-Modelloptimierung zu erreichen.

Um ein sensitives VALI-Modell zu erreichen, wird eine Penaltyfunktion im stationären Betrieb von unter 40 angestrebt.

Werden mit Hilfe der Datenvalidierung Abweichungen in Messwernerfassung oder Messwertverarbeitung identifiziert, eröffnen sich mehrere Korrekturmöglichkeiten

- die Nachkalibrierung der betroffenen Messwerte
- Modifizierung des Messortes
- Korrektur des Messwertes in der Messwernerfassung an geeigneter Stelle z. B. im Prozessrechner.

Die erste Option wird in der Regel immer dann ergriffen, wenn es sich um typische Messfehler handelt z. B. bei Messumformerdriften. Mit Hilfe der Datenvalidierung kann man damit zu einer echten „zustandsorientierten“ Instandhaltungsstrategie bei Messketten übergehen.

Hier verspricht die Datenvalidierung kurz- und mittelfristig ein erhebliches Kostensenkungspotential. Die Prüf- und Instandhaltungsmaßnahmen bei Messwerterfassung und –verarbeitung liegen derzeit bei ca. 1,0 Mio. DM pro Jahr und Block. Bei konsequentem Übergang auf eine zustandsorientierte Prüf- und Instandhaltungsstrategie bei Messketten mit Hilfe der Datenvalidierung wird eine Kostenreduzierung in der Größenordnung von 50 % erwartet.

Da die Mehrzahl der Prüftätigkeiten im KKW in Prüf- und Instandhaltungsvorschriften durch Behörde und Gutachter fixiert sind, kann dieses Potential wohl nur dann voll erschlossen werden, wenn die Datenvalidierung als „funktionale Redundanz“ und damit als „Kalibriergrundlage“ von Behörde und Gutachter akzeptiert wird.

Dies ist seit einiger Zeit in schweizerischen Kernkraftwerken der Fall, entsprechende Initiativen werden auch nach erfolgreichem Abschluss der Erprobungsphase in Deutschland erfolgen.

Ist die Datenvalidierung qualifiziert, kann auch die dritte Option an manchen Stellen zur Anwendung gelangen – die Messwertkorrektur in der Messwertverarbeitung. So werden z. B. die Parameter zur Leistungsmessung im Kernkraftwerk Leibstadt auf Basis der Datenvalidierung im Prozessrechner korrigiert. Diese Möglichkeit ist einfach, sie reduziert Strahlenexposition des Personals, das keine Vor-Ort-Tätigkeiten erforderlich sind und dies ohne jegliche Reduzierung des Sicherheitsniveaus.

In speziellen Bereichen z. B. bei der Temperaturmessung der Looptemperaturen ist seit langem bekannt, dass durch Strahlenbildung im Medium je nach Lage des Messortes abweichende Temperaturen angezeigt werden. Mit Hilfe der Datenvalidierung können - solange eine Kalibrierung der Werte in der nachgeschalteten Messwertverarbeitung nicht möglich ist – diejenigen Messfühler identifiziert werden, die den Anlagenzustand am ehesten widerspiegeln und dann für die Verarbeitung im Prozess aufgeschaltet werden. Dieser Anwendungsfall ist ein typisches Beispiel für die zweite der oben genannten Optionen.

7 Schlussfolgerungen

Die funktionale Redundanz zu den betrieblichen Messwerten, die mit der Validierung erreicht wird, ermöglicht

- ein schnelles Erkennen der verfahrenstechnischen Abweichungen und die Einleitung von Korrekturschritten beim Anfahren der Anlage,
- über die Trenddatenentwicklung eine schnelle Lokalisierung der sich aufbauenden Schwachstellen im Bereich der Prozesseinrichtungen,
- Fahrweisen zu optimieren,
- eine unkomplizierte Kalibrierung der Messketten während des Betriebes und
- ein erhebliches Potential zur Absenkung der Instandhaltungskosten (WKP, WIM).

Die für die Installation der Validierungs- und Auswertungssoftware benötigte Investition in Höhe von 400.000 DM /4/ wird somit binnen Monaten durch oben aufgeführte Parameter eingespart.

Dass durch die Validierung der Prozessdaten auch die Sicherheitsaspekte in der Tiefe verbessert werden, spricht eindeutig für die Investition.

8 Literaturverzeichnis

- /1/ Vali III-USER GUIDE, BELSIM S.A., Liege, Belgium, September 1997
- /2/ VDI 2048 ENTWURF vom Juni 1998
- /3/ GKN 2 – Beschreibung und Dokumentation der für die graphische Darstellung der VALI-Ergebnisse durchgeführten Änderungen am GKN2-VALI-Modell
BTB-Jansky GmbH-Bericht Nr. 760 vom 5. August 1998
- /4/ GKN I – Validierung der betrieblichen Messdaten in Kernkraftwerken
BTB-Jansky GmbH-Bericht Nr. 759 vom 21. Juli 1998

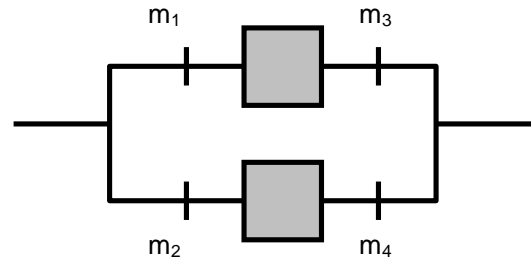
Messwerte mit festgelegter Standardabweichung

$$m_1 = 250 \pm v_{x1} \text{ wobei } v_{x1} = 2 \text{ kg / s entspricht}$$

$$m_2 = 245 \pm v_{x2} \text{ wobei } v_{x2} = 2 \text{ kg / s entspricht}$$

$$m_3 = 270 \pm v_{x3} \text{ wobei } v_{x3} = 4 \text{ kg / s entspricht}$$

$$m_4 = 250 \pm v_{x4} \text{ wobei } v_{x4} = 4 \text{ kg / s entspricht}$$



$$s_{xi}^2 = \left(\frac{v_{xi}}{t} \right)^2 \text{ mit } t = 1,96 \text{ für } 95\% \text{ - Vertrauensintervall (1)}$$

Kovarianzmatrix

$$S_x = \begin{bmatrix} s_{x1}^2 & s_{x1i} & s_{x1k} & s_{x1n} \\ s_{x1i} & s_{xi}^2 & s_{xik} & s_{xin} \\ s_{x1k} & s_{xki} & s_{xk}^2 & s_{xkn} \\ s_{x1n} & s_{xni} & s_{xnk} & s_{xn}^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Vektor der Messwerte

$$\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 250 \\ 245 \\ 270 \\ 250 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Nebenbedingungen

$$\begin{aligned} m_1 - m_3 &= 0 \\ m_2 - m_4 &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Vektor der Nebenbedingungen

$$f(\bar{x}) = \begin{pmatrix} m_1 - m_3 \\ m_2 - m_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$f(\bar{x}) = f(x) + \frac{\partial f}{\partial x} v \text{ mit } f(x) \text{ - Vektor der Widersprüche, } v \text{ - Verbesserungsvektor}$$

im vorliegenden Beispiel ist

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \text{ und } f(x) = \begin{pmatrix} m_1 - m_3 \\ m_2 - m_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -20 \\ -5 \end{pmatrix} \quad (6)$$

und S_x

BEILAGE 2.01: Handrechnung

$$S_x = \begin{bmatrix} 1,0412 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,0412 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,1649 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,1649 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Das Minimierungsproblem

$$v \cdot S_x^{-1} \cdot v - 2\lambda \cdot f(\bar{x}) = \xi_0 \rightarrow \text{Min} \quad (8)$$

ergibt nach einigen Umstellungen und der Linearisierung von $f(\bar{x}) = f(x) + \frac{\partial f}{\partial x} v$ (9)

den Korrekturvektor

$$v = - \left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \right)^T \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^T \right)^{-1} \cdot f(x) \quad (10)$$

Mit den oben angegebenen Werten errechnet sich

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \right)^T \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^T \right)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 0,2 \\ -0,8 & 0 \\ 0 & -0,8 \end{bmatrix} \quad (11) \text{ und}$$

$$v = - \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 0,2 \\ -0,8 & 0 \\ 0 & -0,8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -20 \\ -5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ -16 \\ -4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

und damit die nebenbedingungserfüllenden Messwerte

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{m}_1 \\ \bar{m}_2 \\ \bar{m}_3 \\ \bar{m}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 250 \\ 245 \\ 270 \\ 250 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ -16 \\ -4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 254 \\ 246 \\ 254 \\ 246 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Die Kovarianzmatrix der Verbesserungen errechnet sich

$$S_v = - \left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \right)^T \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^T \right)^{-1} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} S_x \right) \quad (14)$$

und mit dem hier gerechneten Beispiel

BEILAGE 2.02: Handrechnung – Fortsetzung 1

$$S_v = \begin{bmatrix} 0,2082 & 0 & -0,83298 & 0 \\ 0 & 0,2082 & 0 & -0,83298 \\ -0,83298 & 0 & 3,3333 & 0 \\ 0 & -0,83298 & 0 & 3,3333 \end{bmatrix} \quad (15)$$

daus lässt sich nun die verbesserte Kovarianzmatrix errechnen

$$S_x^- = S_x - S_v = \begin{bmatrix} 1,0412 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,0412 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,1649 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,1649 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,2082 & 0 & -0,83298 & 0 \\ 0 & 0,2082 & 0 & -0,83298 \\ -0,83298 & 0 & 3,3333 & 0 \\ 0 & -0,83298 & 0 & 3,3333 \end{bmatrix} =$$

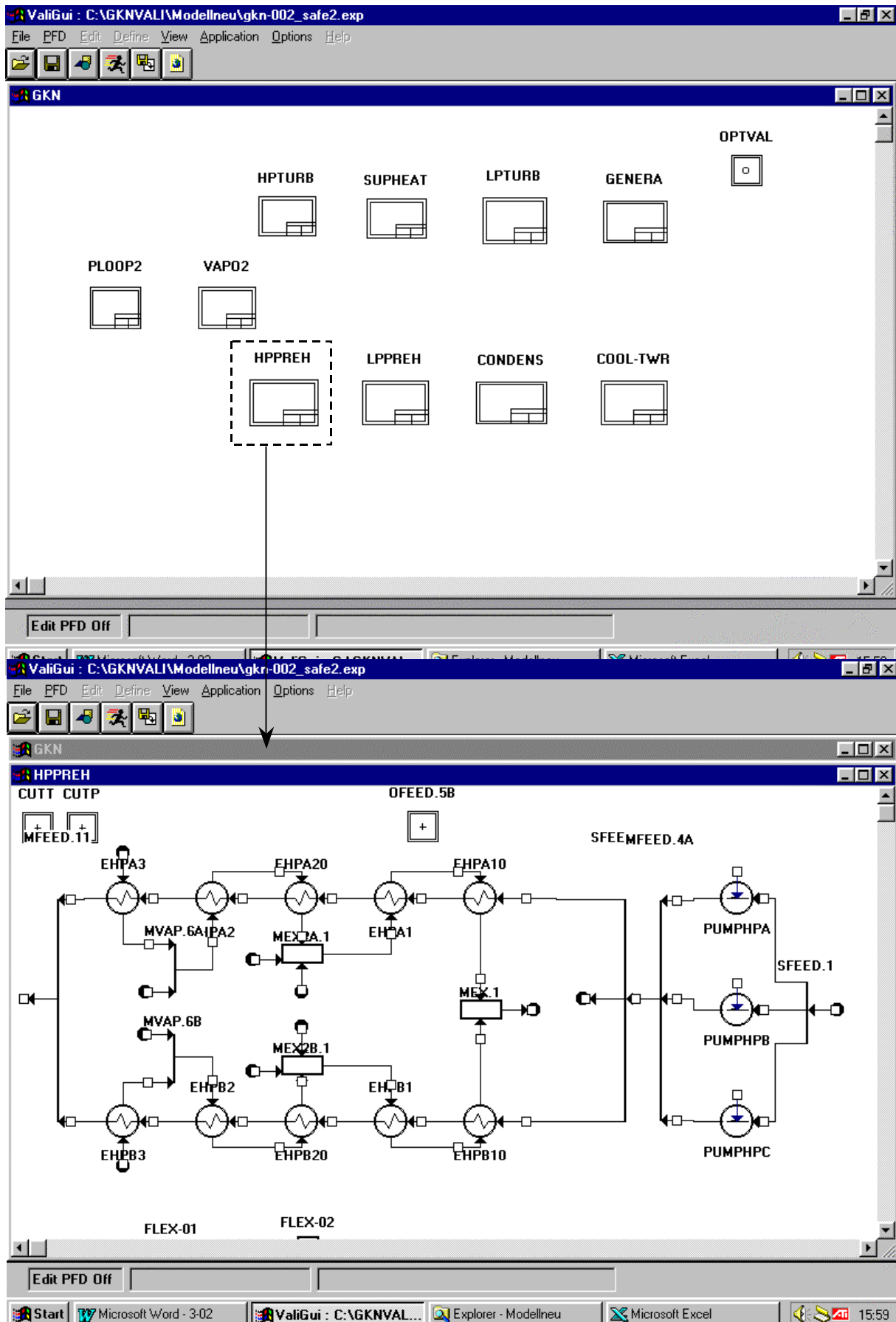
$$S_x^- = \begin{bmatrix} 0,833 & 0 & 0,83298 & 0 \\ 0 & 0,833 & 0 & 0,83298 \\ 0,83298 & 0 & 0,831 & 0 \\ 0 & 0,83298 & 0 & 0,831 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Mit der verbesserten Kovarianzmatrix und Gleichung 1 lassen sich die neuen, verbesserten Vertrauensintervalle errechnen.

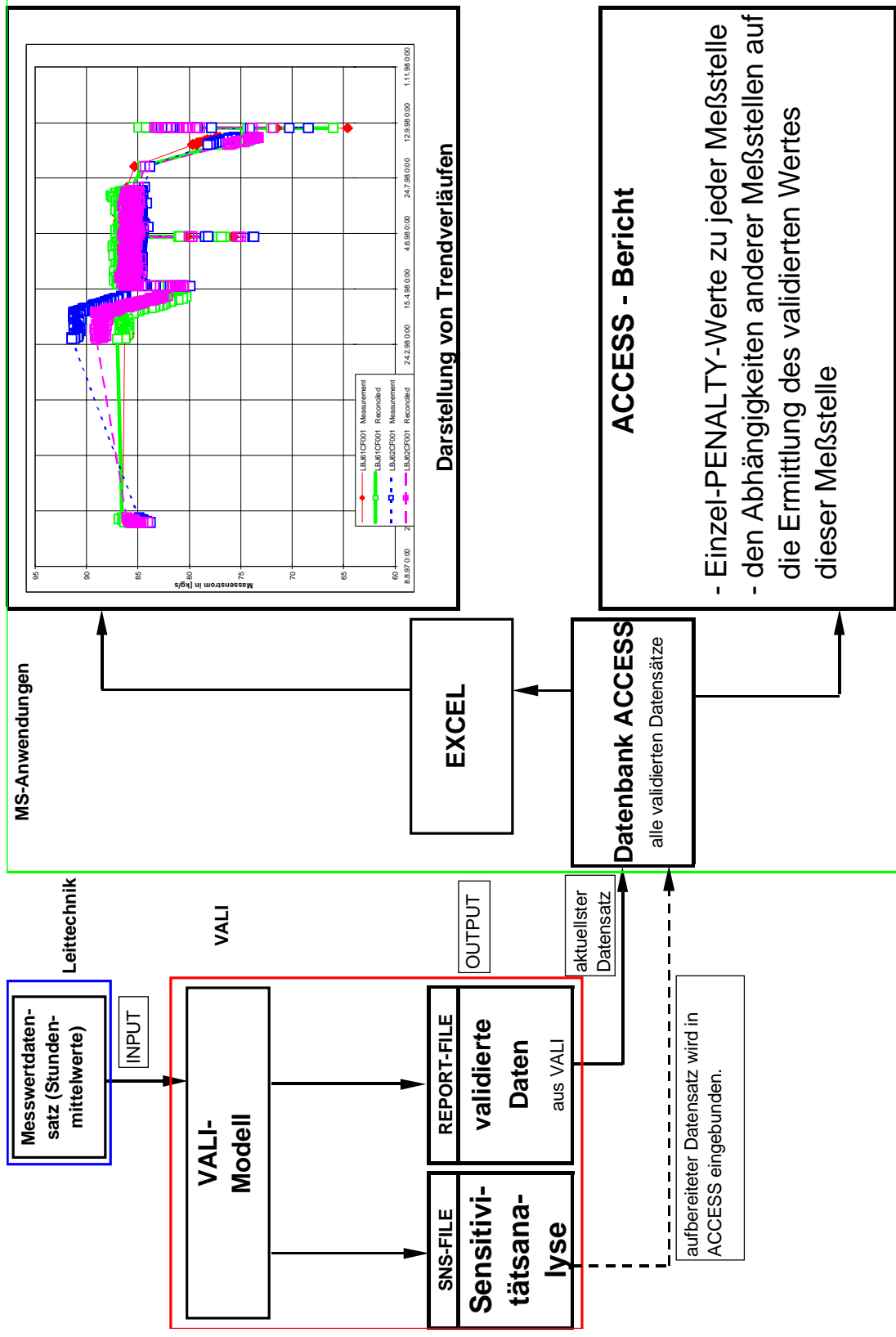
$$v_{xi} = \sqrt{s_{xi}^2} \cdot t \text{ mit } t = 1,96 \text{ für } 95\% \text{ - Vertrauensintervall (17)}$$

errechnen sich in diesem Beispiel neue Vertrauensintervalle von

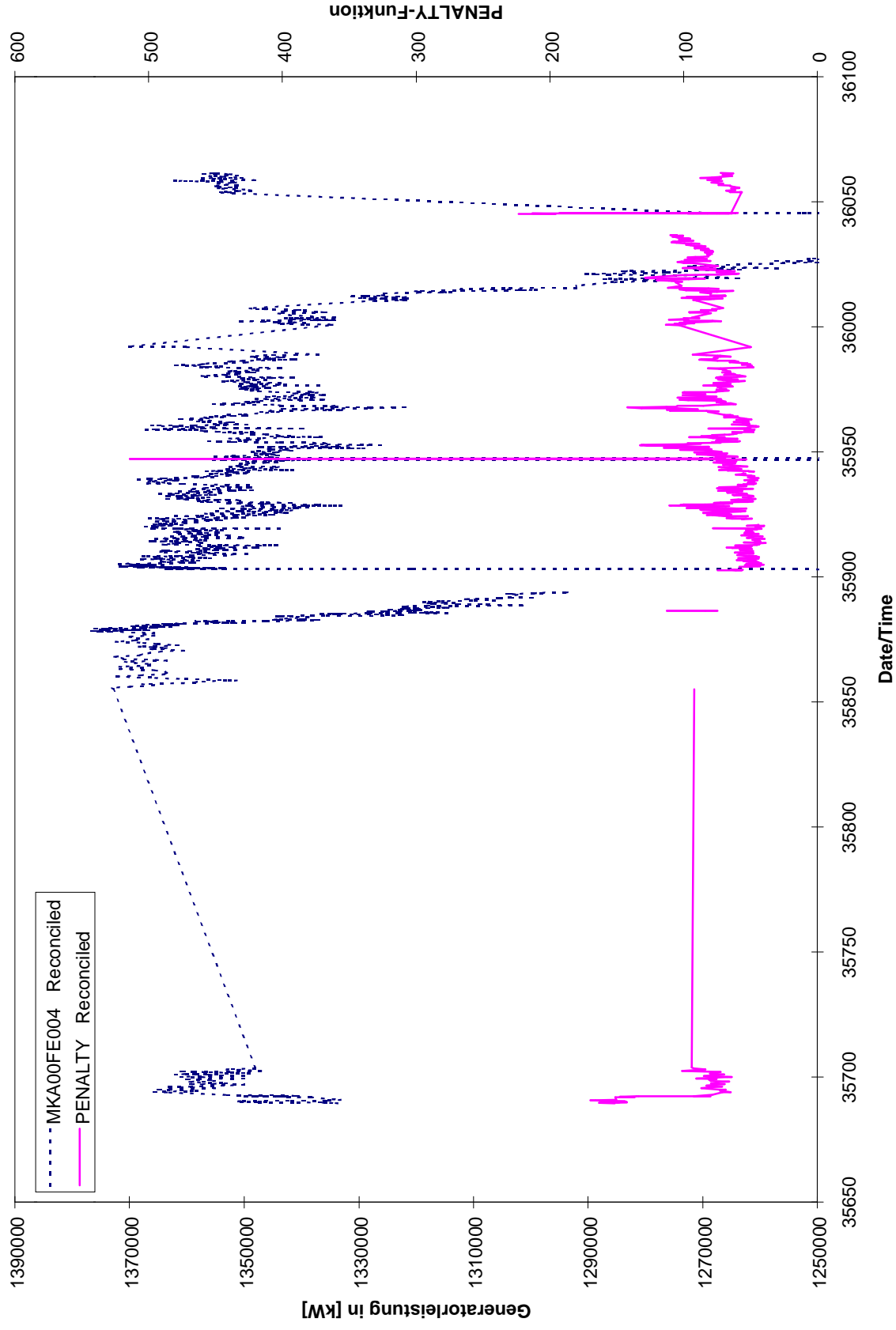
$$v_{xi} = \pm 1,788869$$



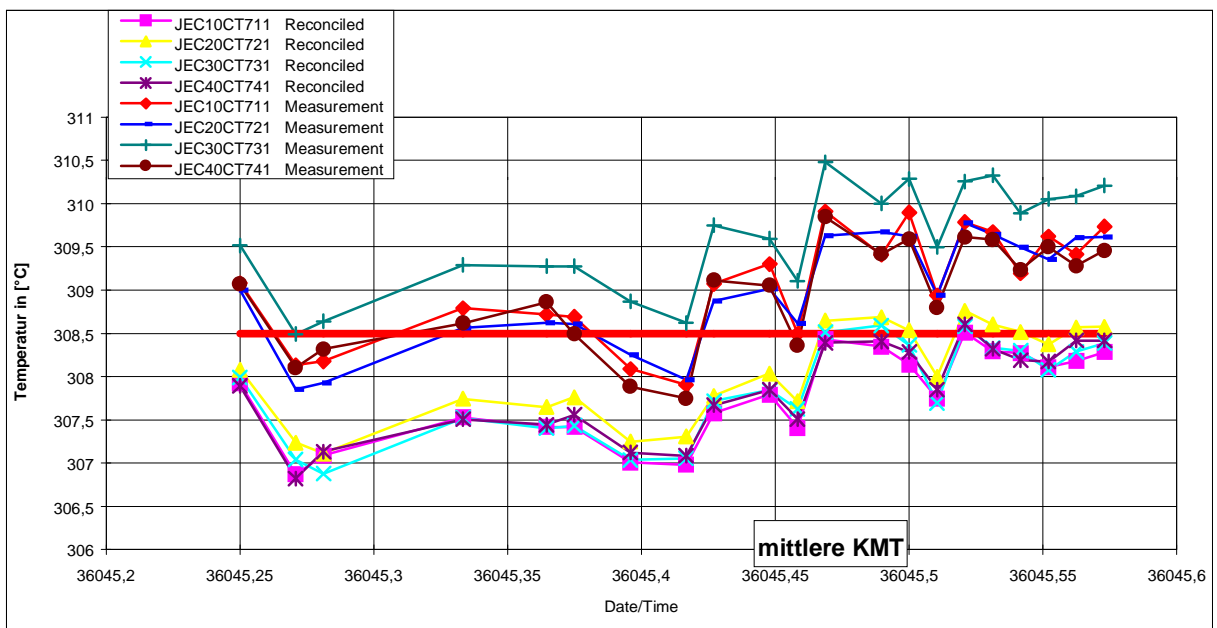
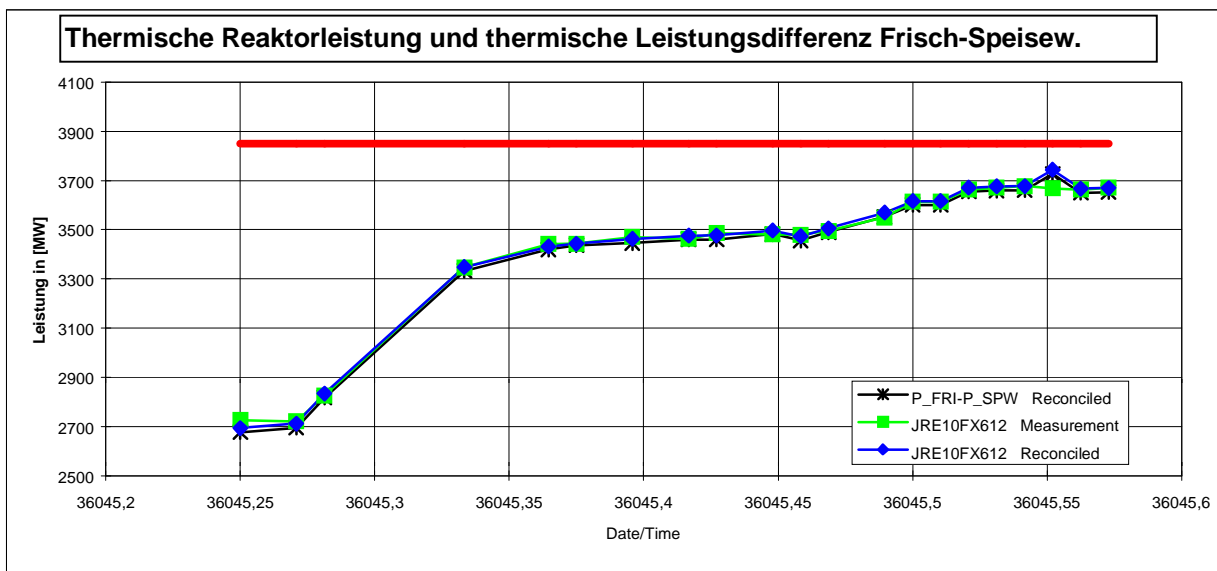
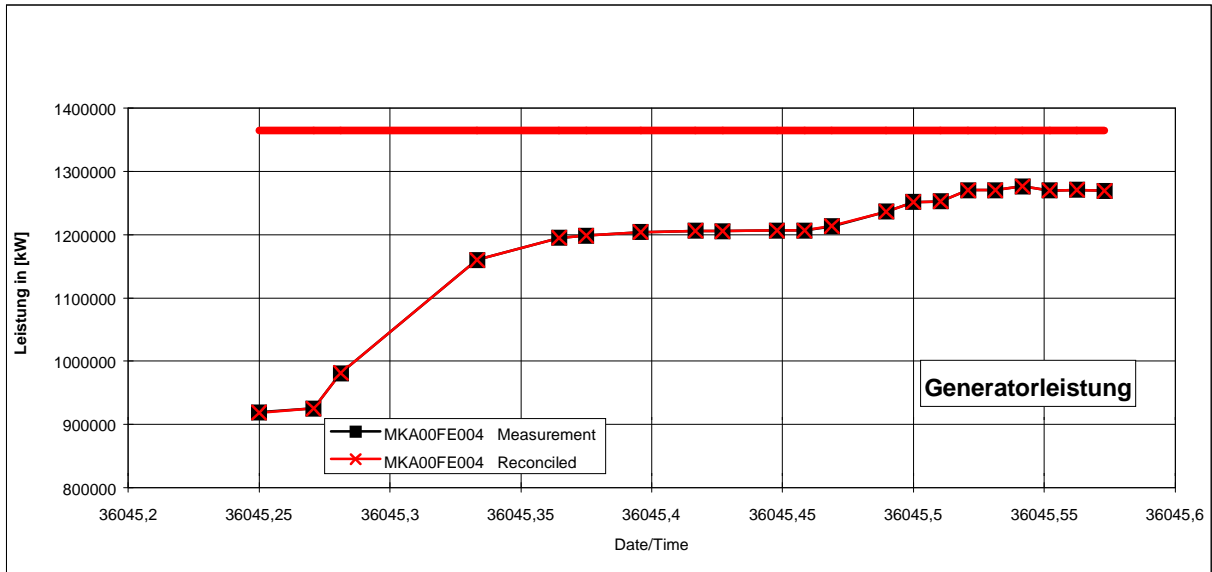
BEILAGE 3.02: Darstellung des GKN2-Modells im VALI-Fenstre



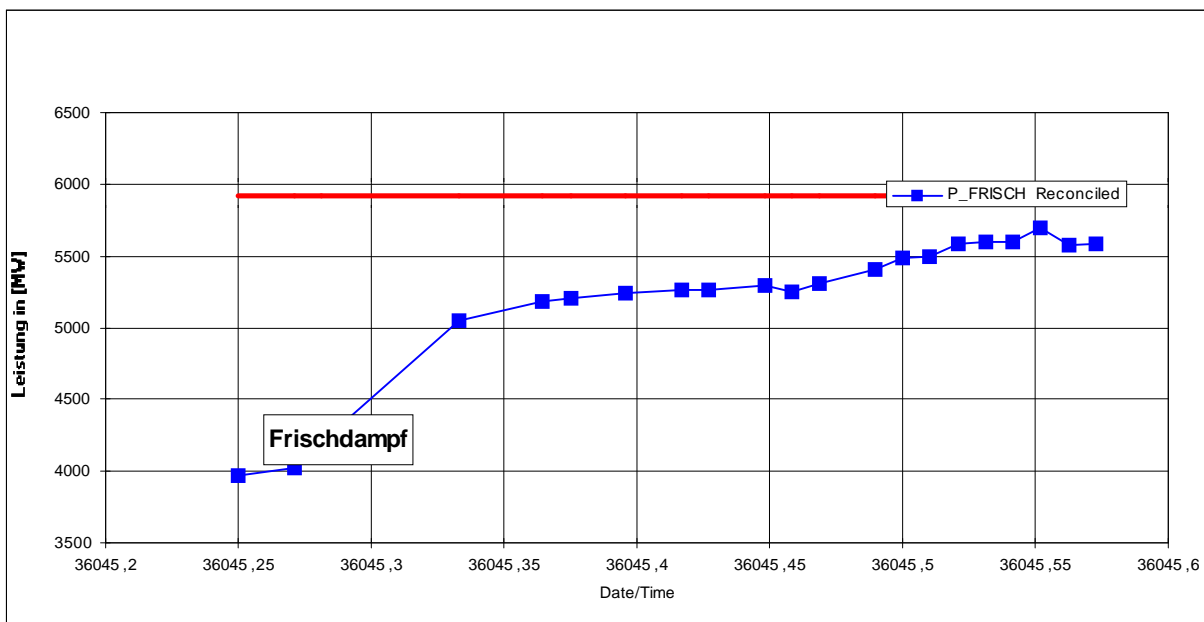
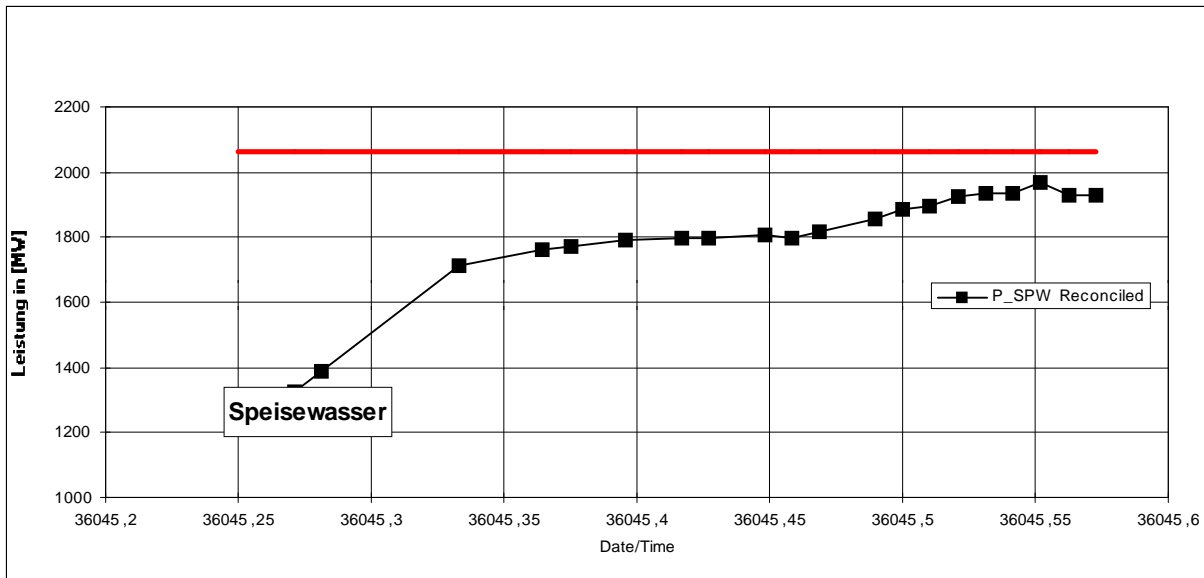
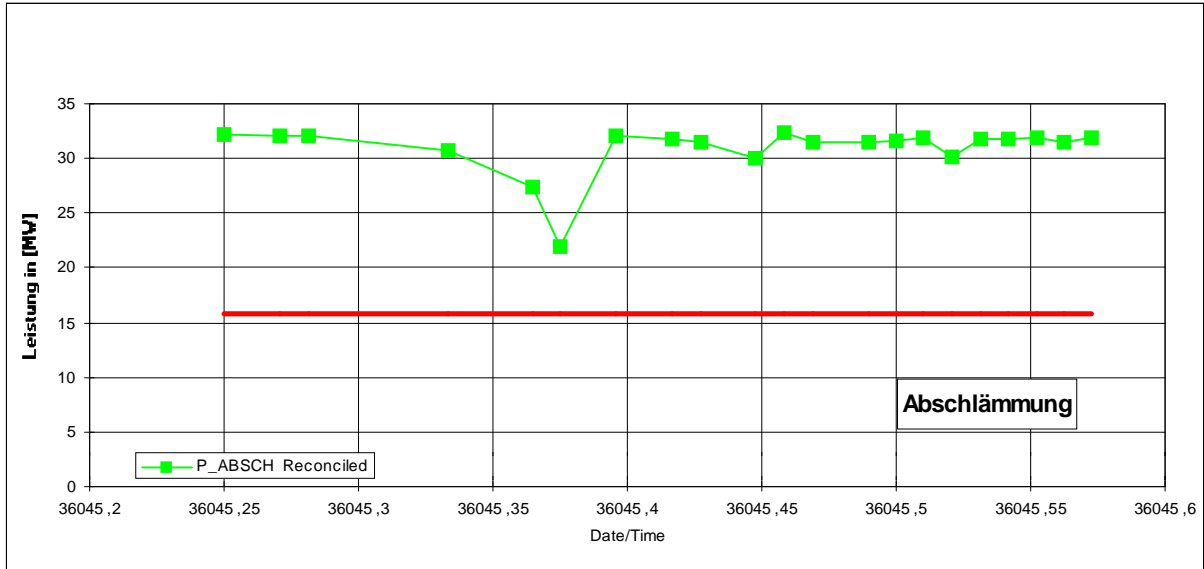
BEILAGE 5.01: Datenfluß



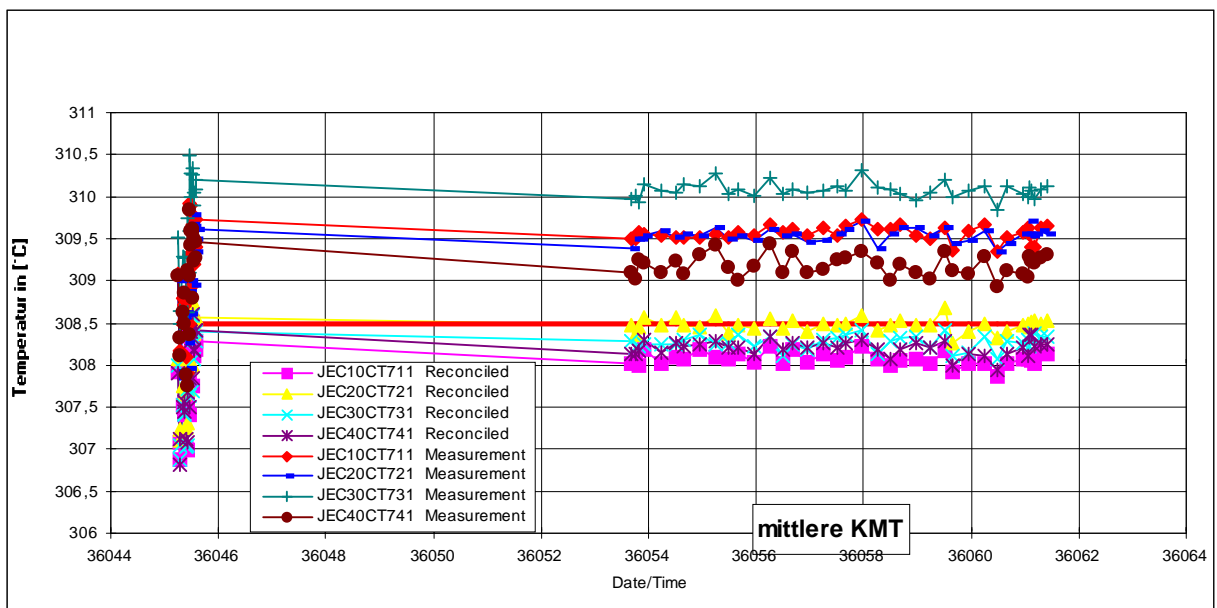
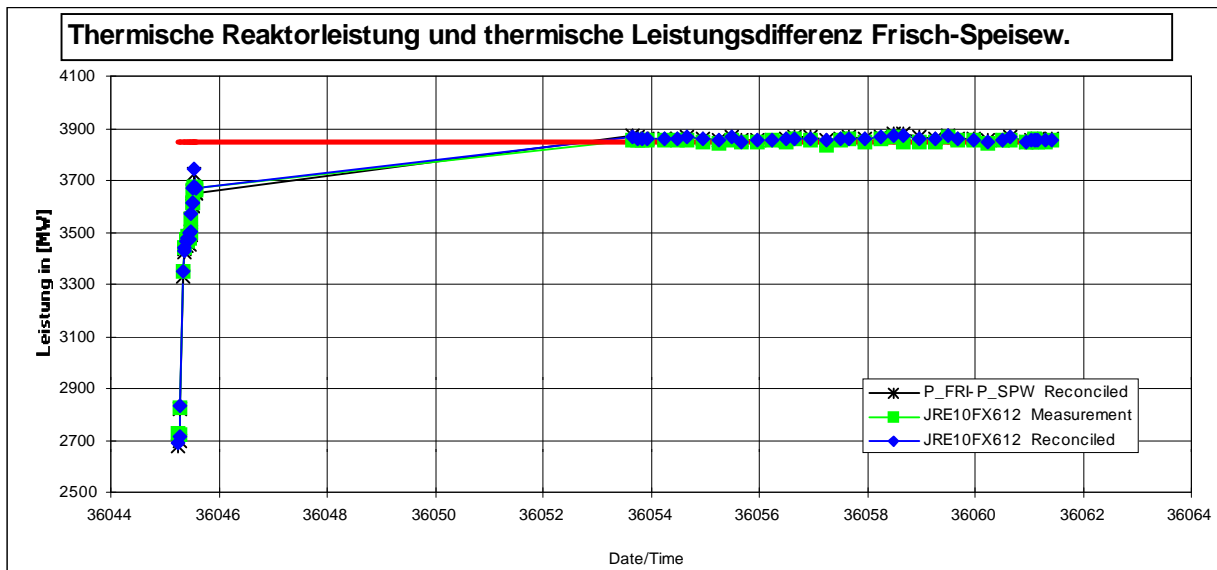
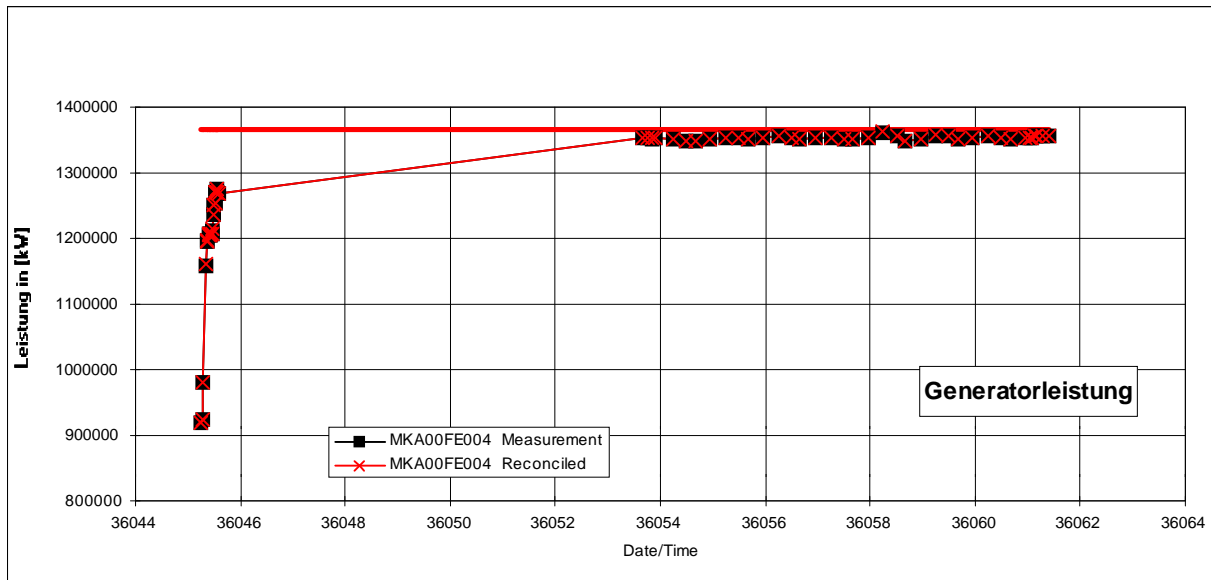
BEILAGE 5.1.02: Abhängigkeit der PENALTY-Funktion von der Generatorleistung



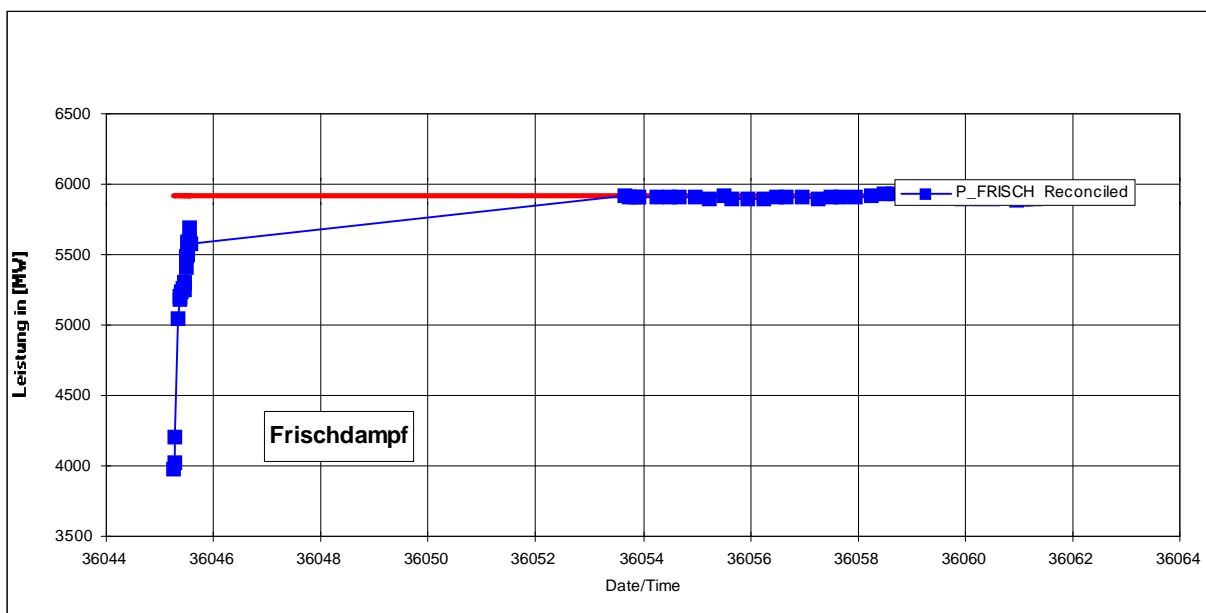
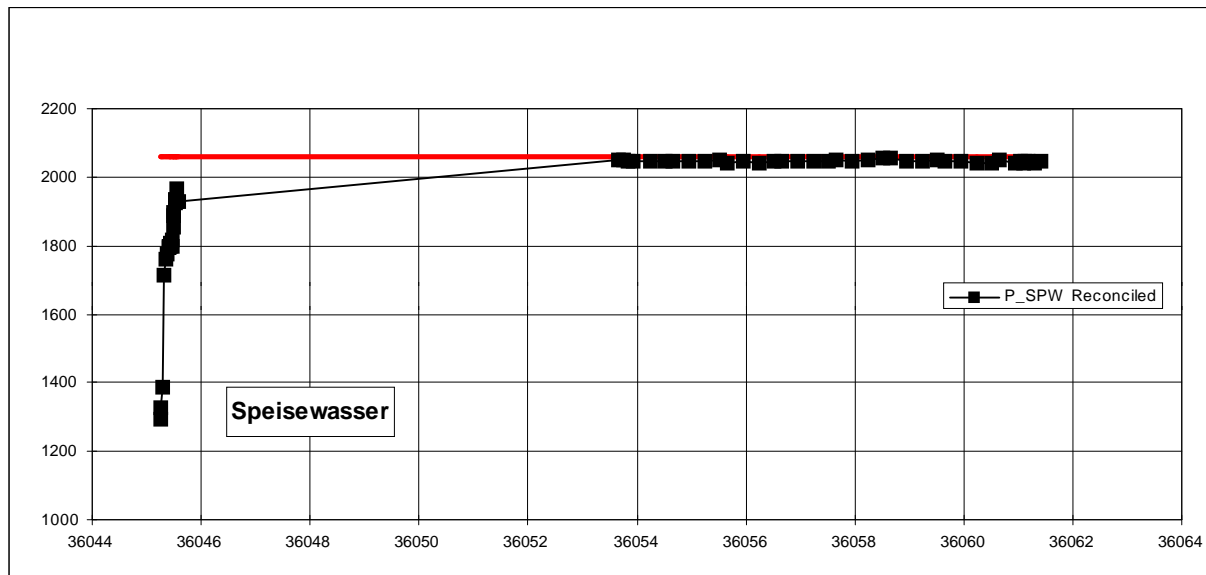
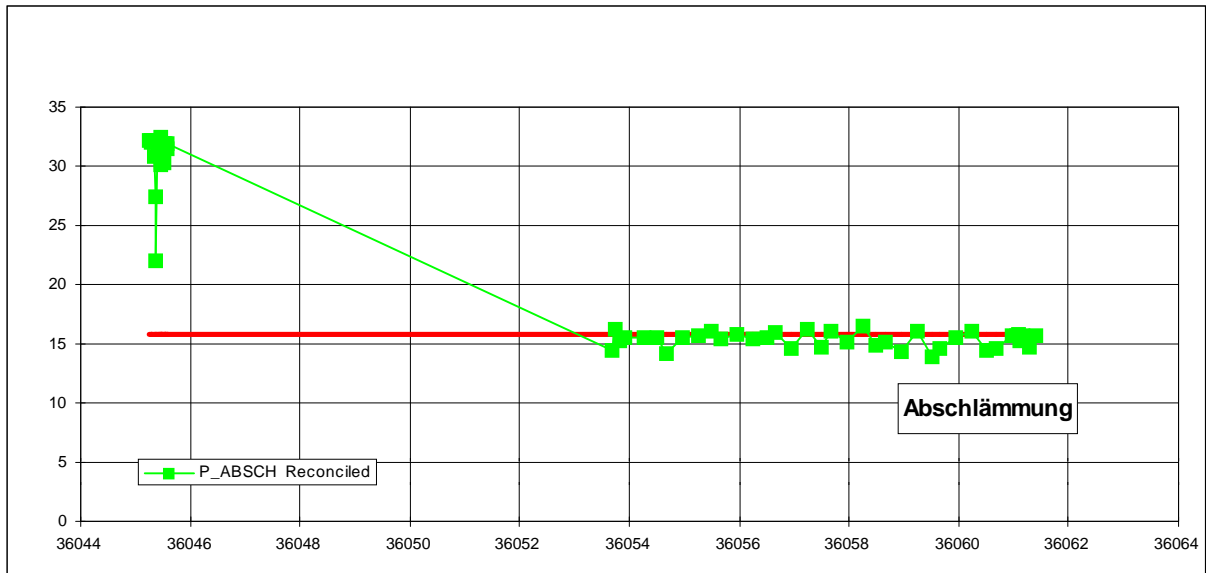
BEILAGE 5.1.03: Anfahrvorgang 07.09.98



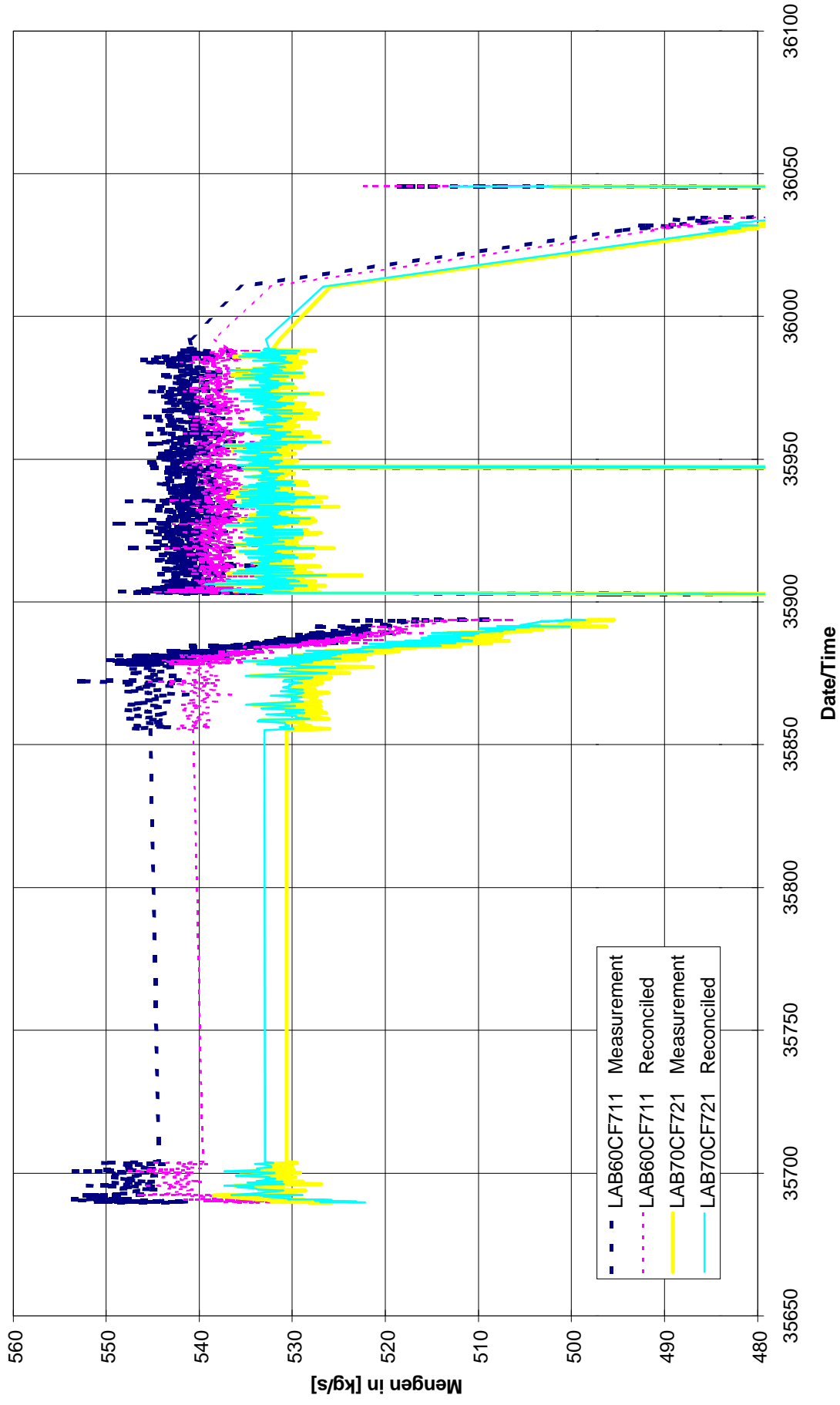
BEILAGE 5.1.04: Anfahrvorgang 07.09.98



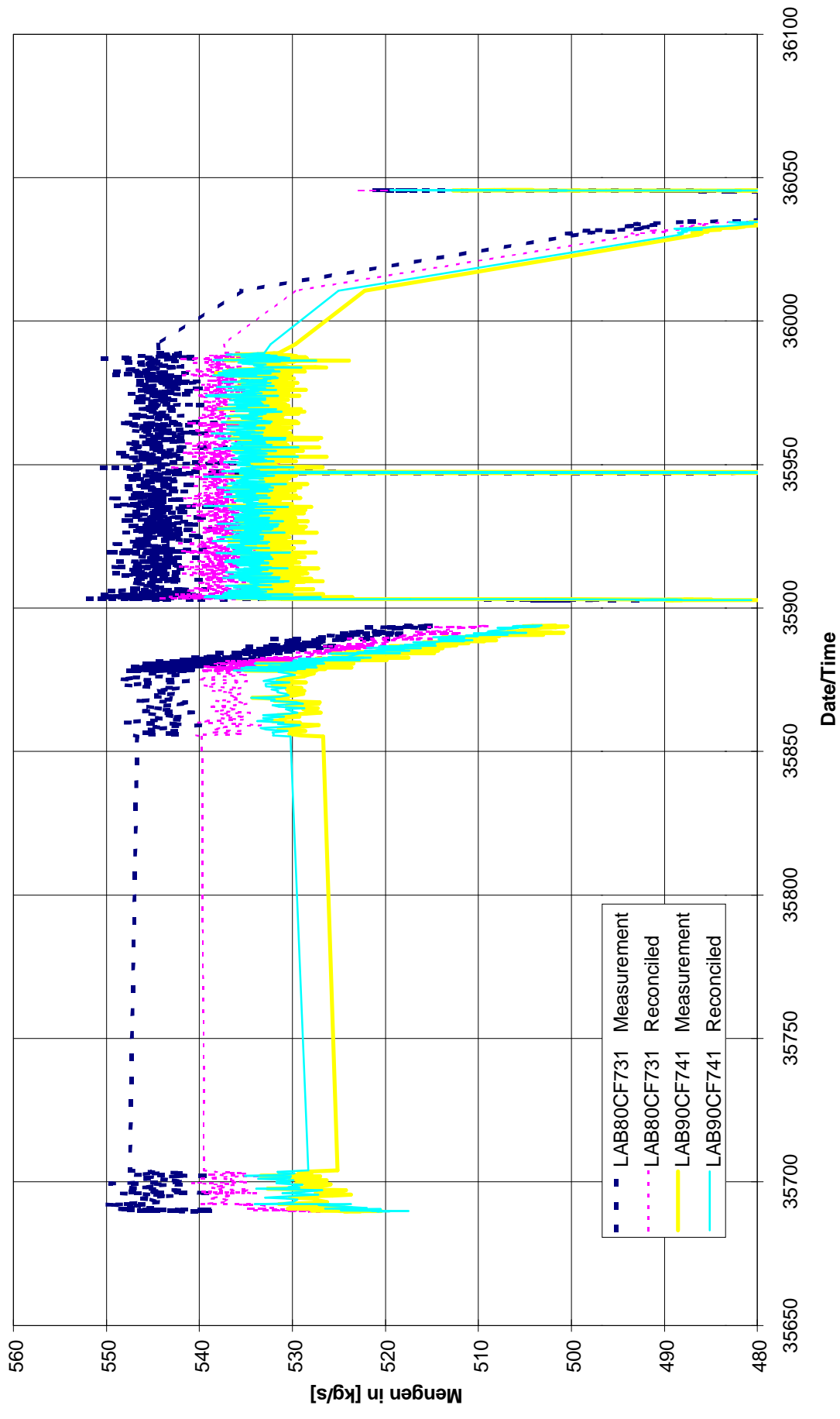
BEILAGE 5.1.05: Betrieb von 07.09.98 bis 23.09.98



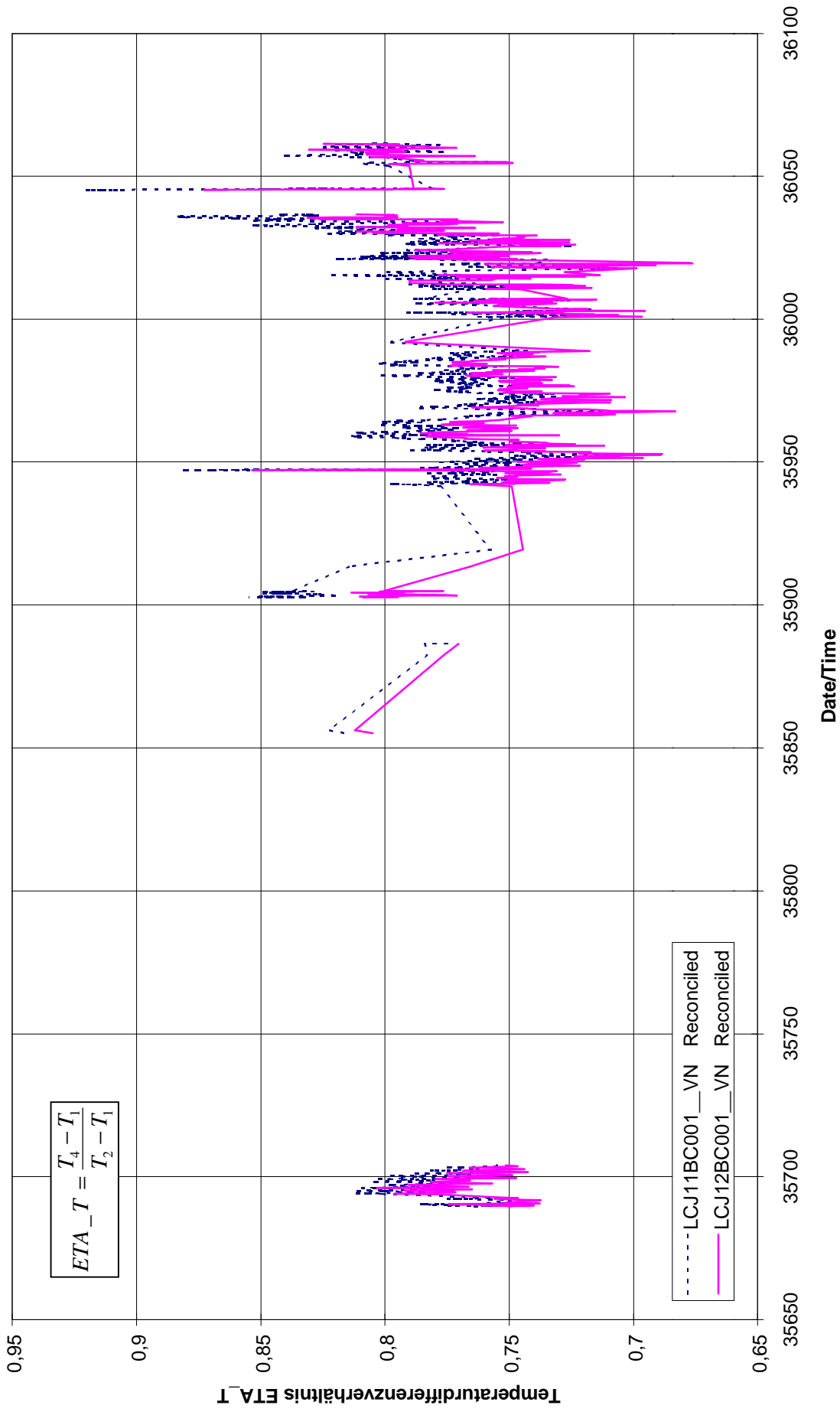
BEILAGE 5.1.06: Betrieb von 07.09.98 bis 23.09.98



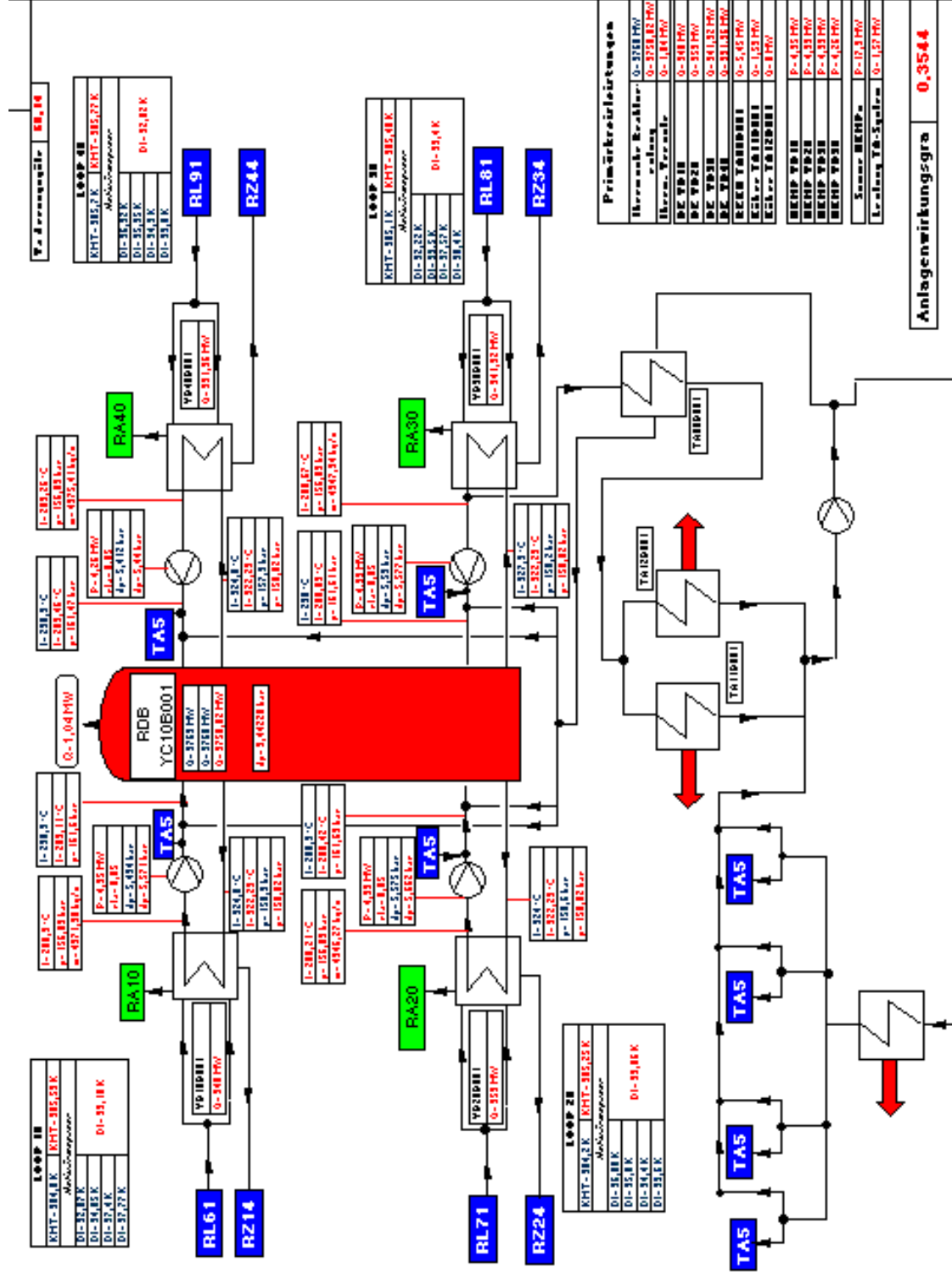
BEILAGE 5.1.07: Speisewassermengen LAB 60 und LAB 70



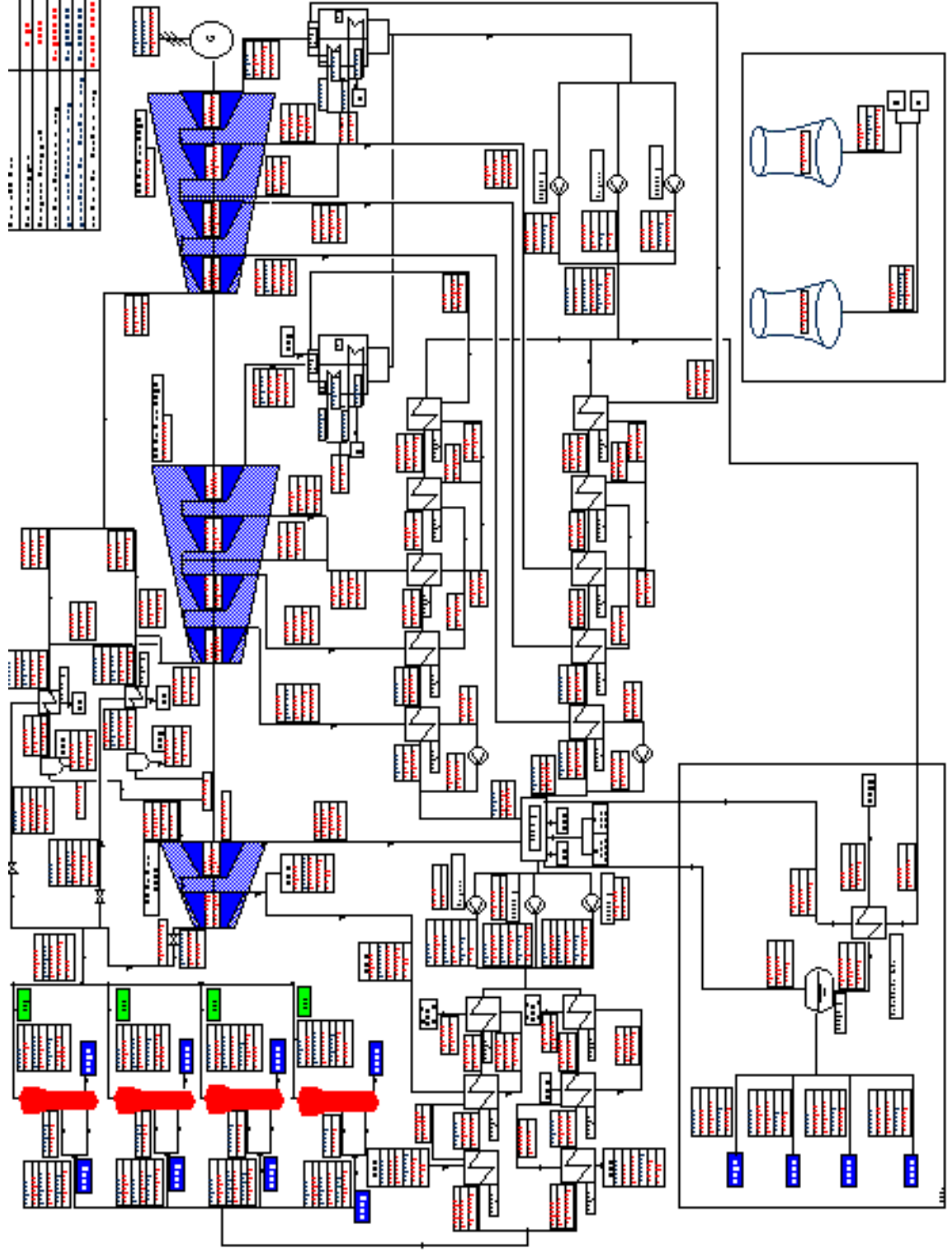
BEILAGE 5.1.08: Speisewassermengen LAB 80 und LAB 90



BEILAGE 5.1.09: Temperaturdifferenzverhältnis der Wärmetauscher LCJ11/21BC001



BEILAGE 5.1.10: Fließbild Primärkreis



BEILAGE 5.1.11: Fließbild Sekundärkreis

Einzel-Penalty > 4

Datum: 23.09.98 10:00:00

9 Name	Einzel-PENALTY
JEC20CT003A	4,91

measurement:	323,84	C
reconciled value:	326,06	C

Standardabw.
± 1,000 C

Abhängige Messstellen Anteil in [%]

JEC10CT723	11.73 %
JEC20CT733	11.72 %
JEC40CT003	11.72 %
JEC40CT713	11.72 %
JEC30CT003A	11.72 %
JEC20CT003A	11.72 %
JEC10CT003A	11.72 %

10 Name	Einzel-PENALTY
MAG20CP005	4,66

measurement:	-0,90
reconciled value:	-0,91

Standardabw.
± 0,005 -

Abhängige Messstellen Anteil in [%]

MAG20CP005	48.73 %
MAC20CT017A	10.46 %
MAC10CT071A	10.40 %
MAG10CP005	8.82 %

GESAMT PENALTY	Summe der hier ausgewählten PENALTY-Werte	
72,61	9,57	13,18 %

Anzahl der Meßstellen mit PENALTY > 4 2

Messwerte mit den Einheiten ° C, bar, barg, kg/s oder ohne Einheit (-).

BEILAGE 5.2.01: ACCESS-Bericht mit Kriterium "Einzelpenalty > 4"