

# VALI III – Prozessdaten mit der Güte einer Abnahmemessung – Stündlich verfügbar und VDI 2048 konform

Autoren:

Langenstein M., Dr. J. Jansky

BTB-Jansky GmbH

Gerlingerstraße 151

71229 Leonberg

Tel.: 07152-3087-0

FAX: 07152-3087-22

e-mail: [btb@btbjansky.com](mailto:btb@btbjansky.com)

Internet: [www.btbjansky.com](http://www.btbjansky.com)

## 1. Zusammenfassung

Abnahmemessungen an energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen können auf Basis der VDI 2048 durchgeführt werden. Damit kann die Unsicherheit von Ergebnisgrößen im Vergleich zu konventionellen Abnahmemessungen wesentlich verringert werden. Dies hat für den Anlagenbetreiber den Vorteil, dass die zugesicherten Eigenschaften mit einer höheren Sicherheit erfüllt werden.

Die Prozessdatenvalidierung wird bei Kernkraftwerken, GUD-Kraftwerken, Kohlekraftwerken, Müllverbrennungsanlagen, Gasverbundnetzen sowie in der chemischen und der petrochemischen Industrie zur Prozessüberwachung und Prozessoptimierung eingesetzt. Sie ist eine Methodik zur Ermittlung eines widerspruchsfreien Prozessbildes unter Berücksichtigung von geschlossenen Massen-, Energie- und Stoffbilanzen. Sie ersetzt

- kostenintensive Abnahmemessungen
- sowie einen Teil der Instrumentierung innerhalb der Prozesse.

Wird sie online installiert, liefert sie ständig Ergebnisse mit der Güte einer Abnahmemessung, die Fehlentwicklungen in Betrieb und Anlage quantitativ aufzeigen. Die Datenvalidierung liefert auch Informationen über Betriebszustände in nicht oder nicht ausreichend instrumentierten Anlagenbereichen. Wird die Datenvalidierung in der Projektierungsphase als Bestandteil der Installation eingesetzt, kann die Zahl der bisher als erforderlich angesehenen Messstellen reduziert werden. Bei ca. 15.000 EURO je eingesparte Messstelle kann dies eine beachtliche Reduzierung der Investitionskosten für die Anlage bedeuten. Weiter können, abhängig vom Anlagentyp und Anlagengröße, bis zu 125.000 EURO jährlich an Kosten für die Kalibrierung wichtiger Messstellen eingespart werden.

## 2. Einleitung

Die Prozessdatenvalidierung ist eine Methodik zur Ermittlung eines widerspruchsfreien Prozessbildes aus Mittelwert-Messwertdatensätzen unter Berücksichtigung von geschlossenen Massen-, Energie- und Stoffbilanzen. Die Methodik beruht auf einem Verfahren zur Ermittlung des im mathematisch-statistischen Sinne wahrscheinlichsten Prozesszustandes und wird in der VDI 2048 /1/ beschrieben.

Für die Abbildung eines realen Prozesses bedeutet dies, dass sämtliche zur Verfügung stehenden Messgrößen, d.h. auch alle redundante Messgrößen, in einem Anlagenmodell zusammengeführt werden. Das so entstehende überbestimmte Gleichungssystem wird mit Hilfe der Gauss'schen Ausgleichsrechnung gelöst. Die mit einer Wahrscheinlichkeit von größer als 95 % errechneten "wahren" Werte geben den wahrscheinlichsten physikalischen Zustand des Prozesses wieder. Vor allem im Bereich der Prozessüberwachung und Prozessoptimierung wird diese Methodik eingesetzt /2//3//4//5/.

In dem hier vorliegenden Beitrag wird auf die Vorgehensweise bei der Verwendung von VALI III /6/ für Abnahmemessungen eingegangen. Weiter wird gezeigt, wie VALI III über Abnahmemessungen hinaus eingesetzt werden kann. Erfahrungen mit der Online Prozessdatvalidierung werden dabei vorgestellt. Die Auswirkungen der ONLINE-Validierung auf eine effizientere Betriebsführung sowie damit erzielbare Kosteneinsparungen bei Kalibrierarbeiten werden quantifiziert.

### 3. Theoretische Grundlage der VDI 2048

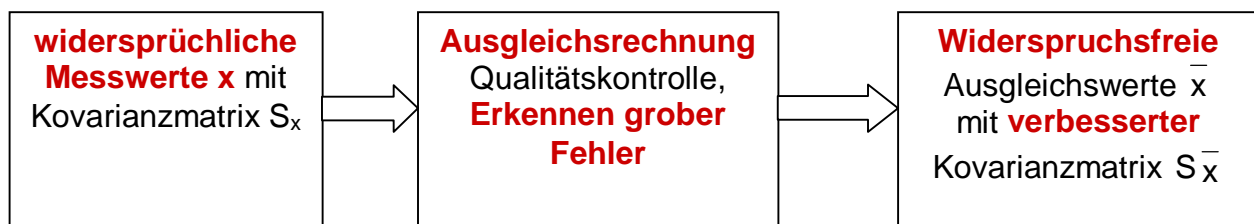
Mit der Gauss'schen Ausgleichsrechnung, unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen, liegt seit über 200 Jahren ein Schätzverfahren im statistischen-mathematischen Sinne vor, mit dem Messfehler erkannt werden können.

Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist es, nicht nur die für eine Lösung benötigte Mindestmenge an Messgrößen zu verwenden, sondern darüber hinaus alle erreichbaren Messgrößen samt den zugehörigen Varianzen und Kovarianzen zu erfassen. Weiter müssen die wahren Werte der Messgrößen die Nebenbedingungen

- Massenbilanzen,
- Energiebilanzen und
- Stoffbilanzen (stöchiometrische Gesetze)

erfüllen.

Dieses Verfahren wird in der VDI 2048 (Fassung 10/2000) beschrieben und ist die bestmögliche Qualitätskontrolle zum Erkennen von groben Messfehlern. Mit dieser Methodik erhält man aus widersprüchlichen Messwerten widerspruchsfreie Schätzwerte für die wahren Werte der Messgrößen. Diese widerspruchsfreien Schätzwerte entsprechen dann mit einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit den wahren Werten.



**Abbildung 1:** Vorteile der Anwendung einer Ausgleichsrechnung

#### Gauss'sches Ausgleichsprinzip

An den Messwerten  $x$  werden gemäß **VDI 2048 Gleichung 106** Verbesserungen  $v$  angebracht, so dass man Schätzwerte (validierte Werte)  $\bar{x}$  erhält.

$$\bar{x} = x + v \quad \text{(VDI 2048 Gleichung 106)}$$

Die Verbesserungen  $v$  sind so zu bestimmen, dass die quadratische Form

$$\xi_0 = v \cdot S_x^{-1} \cdot v \Rightarrow \text{Min} \quad \text{(VDI 2048 Gleichung 107)}$$

$S_x^{-1}$  ... invertierte Kovarianzmatrix

$\xi_0$  ... Fehlerquadratsumme

zu einem Minimum wird. Die empirische Kovarianzmatrix  $S_x$  ist der Schätzwert für die Unsicherheit der Messgrößen  $X$ . Diese allgemeine Formulierung deckt auch das Vorhandensein von Kovarianzen, d.h. die

Abhängigkeiten der Messstellen untereinander, ab. Die **VDI 2048 Gleichung 107** stellt die allgemeine Form des Gauss'schen Ausgleichsprinzips dar.

### Qualitätskontrolle, Erkennen grober Fehler

Wenn die Bedingung

$$\left| \frac{v_i}{\sqrt{s_{v,ji}}} \right| \leq 1,96 \quad (\text{VDI 2048 Gleichung 128})$$

nicht erfüllt ist, liegt für die Messstelle oder den Schätzwert der zugehörigen Varianz ein grober Fehler vor. Dieser Messwert bzw. Schätzwert ist dann anzuzweifeln. In dieser Bedingung wird die Verbesserung des Messwerts  $v_i$  auf die Kovarianzmatix der Verbesserungen bezogen. Um falsche Aussagen aufgrund numerischer Schwächen zu vermeiden, wird der Nenner aus der VDI 2048 Gleichung 107 sinnvoll begrenzt, siehe **VDI 2048 Gleichung 141**.

$$\left| \frac{v_i}{\sqrt{\max\left(s_{v,ji}, \frac{s_{x,ji}}{10}\right)}} \right| \leq 1,96 \quad (\text{VDI 2048 Gleichung 141})$$

Die Validierungssoftware VALI III /6/ basiert ebenfalls auf der beschriebenen Theorie und wird seit mehr als 20 Jahren in der chemischen und petrochemischen Industrie sowie im Kraftwerksbereich angewendet.

Zur Bestimmung der thermodynamischen Zustandsgrößen für den Wasser/Dampf Prozess ist in VALI III unter anderem die Dampftafel der IAPWS-IF 97 hinterlegt. Im nächsten Release von VALI III können dann auch die nach VDI 2048 geforderten Tafelunsicherheiten der Enthalpien berücksichtigt werden.

Weiter können mit VALI III beliebige chemische Reaktionsgleichungen (z. B. wichtig für die Berücksichtigung von Stoffbilanzen bei Verbrennungsvorgängen) abgebildet und in das Modell integriert werden. Die gesamte Funktionalität von VALI III kann dem Handbuch /6/ entnommen werden.

## 4. Vorgehensweise beim Einsatz von VALI III für Abnahmemessungen nach VDI 2048

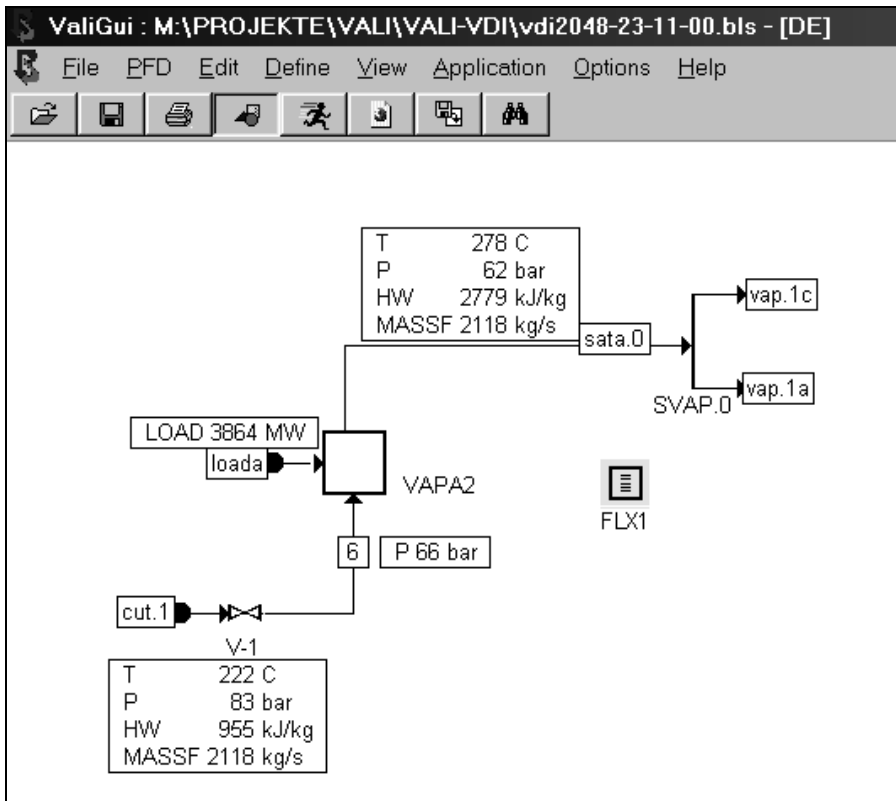
Wird VALI III für Abnahmemessungen gemäß VDI 2048 eingesetzt, ist die folgende Vorgehensweise zu empfehlen:

- Erstellen des Anlagenmodells mit VALI III
- Finetuning der Betriebsmessinstrumentierung und des Modells
- Abnahmemessung durchführen (Stundenmittelwerte bei stationärem Prozess aufnehmen)
- Umrechnung auf Normbedingungen innerhalb des VALI III-Modells
- Dokumentation der Ergebnisse mit VDI-Option von VALI III (enthält Ausweisung der installierten Leistung mit zugehöriger Ergebnisunsicherheit)
- Dokumentation der gesamten Abnahmemessung (extra Bericht)

Zur Dokumentation der Vorgehensweise und der Ergebnisdarstellung wurde das im Entwurf der VDI 2048 Blatt 2 aufgeführte Beispiel einer Retrofit-Maßnahme mit VALI III abgebildet. Die folgenden Ergebnisdarstellungen beziehen sich auf dieses Beispiel.

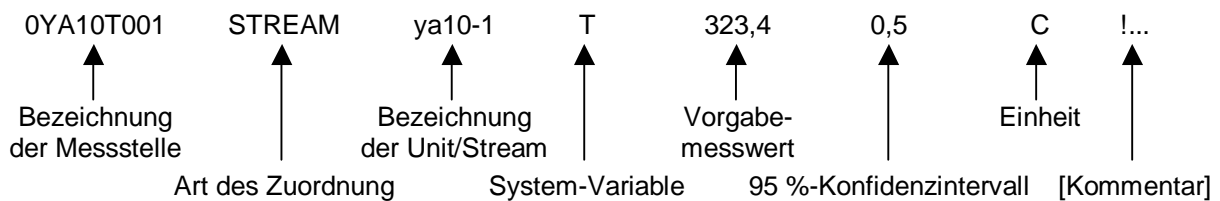
### Erstellen des Anlagenmodells mit VALI III

Das Anlagenmodell wird in VALI III mit dem Graphical User Interface kurz GUI erstellt. Hierzu stehen 35 UNITS zur Verfügung. In **Abbildung 2** ist das Dampferzeugermodell des Retrofit-Beispiels in der GUI-Oberfläche dargestellt.



**Abbildung 2:** Darstellung von Dampferzeugermodell in der GUI-Oberfläche

Die Zuordnung der Messstellen zum Modell erfolgt im sogenannten TAG-File. In **Abbildung 3** wird die Zuordnung beschrieben.



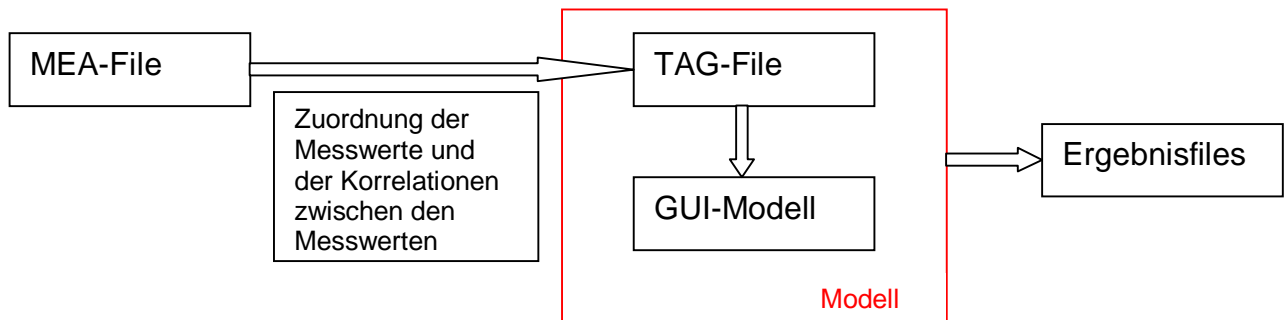
**Abbildung 3:** Beispiel aus TAG-File

Das 95 %-Konfidenzintervall wird dabei

- für Temperaturmesswerte auf +/- 0,15 % des Messwertes in [° C],
- für Druckmesswerte auf +/- 0,15 % des Messwertes in [bar],
- für gemessene Massenströme nach der Durchflussmessregel,
- für geschätzte Massenströme auf +/- 100 % des Schätzwertes,
- die elektrische Leistung auf +/- 0,2 % des Messwertes
- für innere Wirkungsgrade auf +/- 10 %,
- für den Dampfgehalt beim Frischdampfventil auf +/- 0,002 (absolut)
- für sonstigen Dampfgehalt auf +/- 0,2 (absolut)

festgelegt.

Im MEA-File werden die Messwerte von der Abnahmemessung den Tags (Messstellen) zugeordnet. Weiter können im MEA-File Korrelationen zwischen Messwerten und die Form der Ausgabedatei definiert werden. In **Abbildung 4** ist der Filetransfer bis zur Ergebnisausgabe schematisch dargestellt.



**Abbildung 4:** Filetransfer VALI III

### Umrechnung auf Normbedingungen

Für die Einbindung der Umrechnung auf Normbedingungen in VALI III steht eine Programmiersprache, dem sogenannten Flexcode, mit vordefinierten Funktionen zu Verfügung. Damit können beliebige Kurven und Funktionen definiert und mit den sogenannten FLXVAL-Units in das Modell integriert werden, siehe **Abbildung 5**.

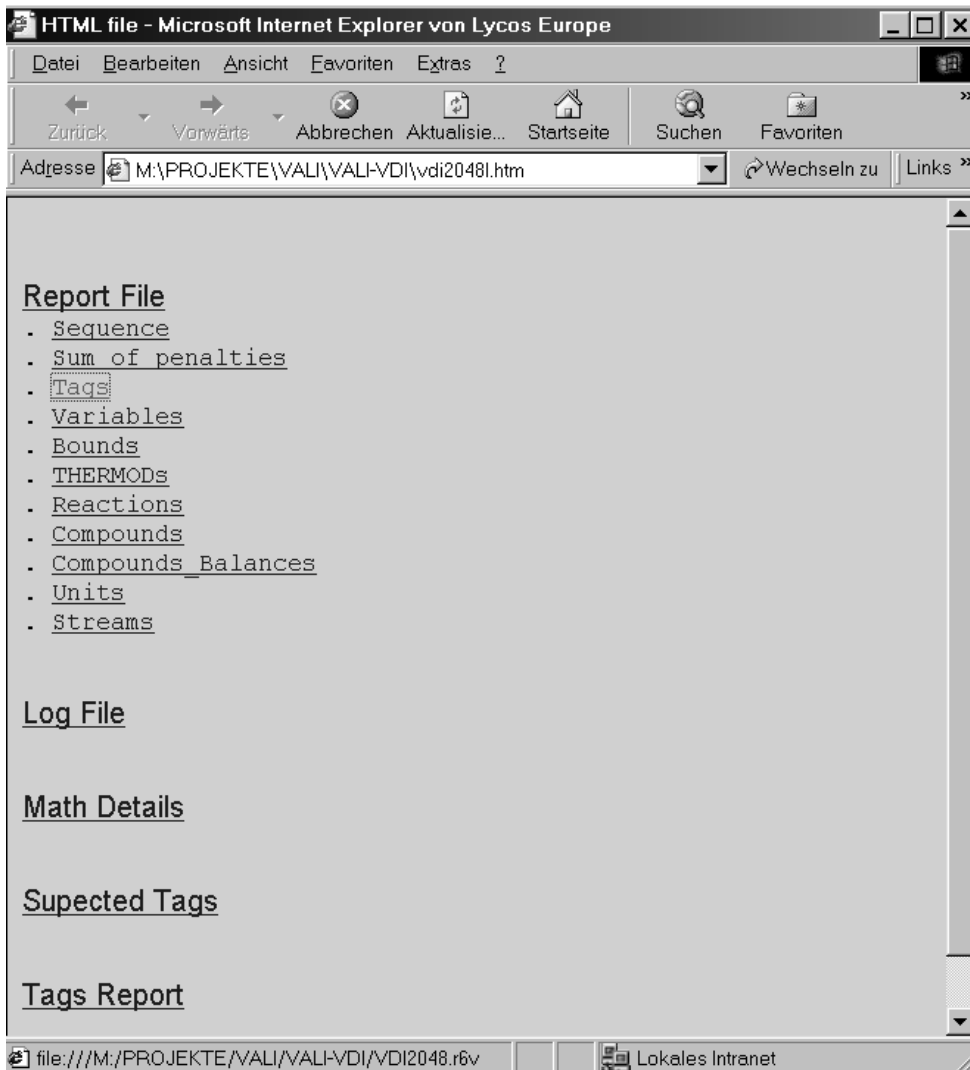
The screenshot shows the ValiGui interface with a process diagram on the left and a data table on the right. The process diagram includes a unit labeled 'POWER 1464 MW' and 'wtot', with a note 'Validierte Generatorleistung aus Messung'. The data table lists several variables (VAR1 to VAR6) with their values and physical units.

Name	Description	Value	Physical Unit	Status
VAR1	Equation result	0,378807		Measurable
VAR2	Equation result	1460,22		Measurable
VAR3	Equation result	1421,75		Measurable
VAR4	Equation result	38,471		Measurable
VAR5	Equation result	0		Measurable
VAR6	Equation result	0		Measurable

**Abbildung 5:** FLXVAL-Unit und validierte Generatorleistung aus Messung – Retrofit-Beispiel

## Dokumentation der Ergebnisse mit VDI-Option von VALI III

In VALI III können mit Hilfe der VDI Option „-vdi“ die nach VDI 2048 geforderten Ausgabefiles direkt erzeugt werden. Die Navigation durch das abgebildete Modell und die Ergebnisfiles ist über ein HTML-Dokument möglich, welches von VALI III erzeugt wird, siehe **Abbildung 6**.



**Abbildung 6:** HTML-Dokument zu VALI III-Modell

Die Inhalte der vier wichtigsten Ausgabefiles wird im Folgenden kurz beschrieben:

- **Datei Nr. 1** (VALI III Filebezeichnung: \*.r6v und in HTML-Dokument **TAGS REPORT**) enthält die Messwerte und die validierten Werte aller Messgrößen und Hilfsgrößen. Hierin erfolgt auch die Dokumentation der Ergebnisse von der Ausgleichsrechnung. Beispielhaft ist in **Abbildung 7** ein r6v-File dargestellt.
- In der **Datei Nr. 2** (VALI III Filebezeichnung: \*.r5v und in HTML-Dokument **SUSPECTED TAGS**) werden die nach einer Ausgleichsrechnung gefundenen groben Messfehler erfasst. Kriterium hierfür ist die Gleichung Nr. 141 aus der VDI 2048 /1/.
- In der dritten **Datei Nr. 3** (VALI III Filebezeichnung: \*.cov) wird die Kovarianzmatrix der in der Datei Nr. 2 befindlichen Mess- und Hilfsgrößen dokumentiert. Beispielhaft ist in **Abbildung 8** ein Auszug zu erkennen.
- In der vierten **Datei Nr. 4** (VALI III Filebezeichnung: \*.r4v und in HTML-Dokument im **REPORT FILE**) werden die Massen- und Energiebilanzen über die einzelnen Komponenten und die thermodynamischen Zustandsgrößen an den im Prozess befindlichen Messstellen ausgewiesen. Beispielhaft ist in **Abbildung 9** ein Auszug dokumentiert.

```

=====
BELSIM s.a. 07/11/2001 10:07 DATA RECONCILIATION version III/9.09b(PC)
Hot Line : +32.4.259.88.88
E-mail : hotline@belsim.com
Web Site : www.belsim.com
=====
File Name : vdi2048-23-11-00.bls
Main PFD : VDI2048
=====
    
```

```

NUMBER OF EQUATIONS : 302
NUMBER OF UNMEASURED VARIABLES : 264
NUMBER OF MEASURED VARIABLES : 138
NUMBER OF VARIABLES CONSIDERED CONSTANT : 58
OBVIOUS NUMBER OF REDUNDANCIES : 38
TOTAL NUMBER OF REDUNDANCIES : 38
NUMBER OF TRIVIAL REDUNDANCIES : 0
    
```

Modellinformationen

Convergence achieved

```

* OBJECTIVE FUNCTION = 108.394
CHI-SQUARE = 53.3900
SUM OF SQUARE RESIDUES = 0.525380E-09
NUMBER OF BOUNDS ACTIVATED BY SOLVER = 0
NUMBER OF VARIABLES CLOSE TO BOUNDS = 0
    
```

CHI-SQUARE gebildet nach VDI 2048 Gleichung (126)

PENAL. : Penalty according to VDI-2048 = ( Correction / SQRT( Max ( Variance(correction) , Variance(measure) / 10. ) ) \*\* 2

Penalty-Wert gebildet nach VDI 2048 Gleichung (141)

Bezeichnung	Messwert	Absolute Korrektur		Validierter Wert			
TAG NAME	MEA.VAL.	Correction	REC.VAL.	Rel.Corr.	PENAL.	P.U.	
VMHK	1224.0	10.663	1234.7	0.86362 %	0.814	kg/s	
VTHK	39.160	0.42330E-04	39.160	0.13554E-04%	0.000	C	
VPHK	17.360	0.19967E-06	17.360	0.11502E-05%	0.000	bar	

Abbildung 7: Darstellung der Ergebnisse in r6v-File – Retrofit-Beispiel

Messstellenbezeichnung

Measurement	Tag Name	Value	Abs.Acc.	Rel.Acc.	Penal.	P.U.
T	S FEED.3C	Reconciled	141.00	0.16534	0.04%	C
	TSPNP2		140.70	0.21100	0.05%	19.71 C

Kovarianzen zwischen dem validierten Ergebniswert und weiteren verwendeten Messwerten

Corrections	Tag Name	Cov.Fact.	Covariance	Rel.Gain	Penal.	P.U.
T	S FEED.3A	TSPNP1	98.72%	-0.44569E-02	21.87%	16.34 C
P	S FEED.3C	PSPNP2	95.66%	-0.19445E-04	0.00%	0.00 bar
EFFIC	U PUMPHPC	SPWP2_VN	89.38%	0.43798E-03	5.61%	27.25 -
EFFIC	U PUMHPA	SPWP1_VN	89.20%	-0.53287E-03	8.46%	29.80 -
EFFIC	U VPUMPHPC	VSPWP2_VN	78.53%	0.38236E-03	5.53%	28.86 -
EFFIC	U VPUMHPA	VSPWP1_VN	78.26%	-0.46518E-03	8.37%	31.34 -
P	S FEED.1	PSSPWB	53.70%	-0.86418E-08	0.00%	0.00 bar
T	S VFEEED.3C	VTSPNP2	39.15%	0.17883E-02	21.98%	24.95 C
T	S VFEEED.3A	VTSPNP1	39.02%	-0.17989E-02	22.21%	22.49 C
P	S VFEEED.3C	VPSNP2	38.66%	-0.76748E-05	0.00%	0.00 bar

Abhängige Messstellen

Kovarianzen

Abbildung 8: Auszug der Ergebnisse aus cov-File – Retrofit-Beispiel

### Massenbilanzdarstellung

VTANK COLVAL

Equations		All equations			
	Mea.Val	95%Conf	Rec.Val	95%Conf	
VMANZ4	50.0000	50.0000	59.7290	1.14509	kg/s
*VMHDNK	660.470	9.11449	671.189	3.33896	kg/s
VLP.6A	1389.82	?	1389.82	12.5861	kg/s
Total Mass In	2100.29	?	0.521329E	15.0758	kg/s
VFEED.1	2120.74	?	2120.74	15.0758	kg/s
Total Mass Out	2120.74	?	2120.74	?	kg/s
MASS BALANCE	-20.4478		0.000000E+00		kg/s

Massenbilanz mit Messwerten  
**(nicht geschlossen)**

Massenbilanz mit validierten  
Werten **(geschlossen)**

### Energiebilanzdarstellung

VA4	262.137	114.298	311.438	5.79393	MW
VEX.1	2033.64	18.5711	2066.62	10.3545	MW
VLP.6A	4067.48	?	4067.48	36.8767	MW
Total Heat In	6363.26	?	0.212200E	15.0758	MW
VFEED.1	6445.52	?	6445.52	45.8723	MW
VQWVSPWB	0.200000E-01	0.200000E-01	0.199936E-01	0.200000E-01	MW
Total Heat Out	6445.54	?	6445.54	?	MW
HEAT BALANCE	-82.2866		-0.110049E-09		MW

Energiebilanz mit Messwerten  
**(nicht geschlossen)**

Energiebilanz mit validierten  
Werten **(geschlossen)**

### Thermodynamischer Zustand (hier Frischdampf nach Dampferzeuger)

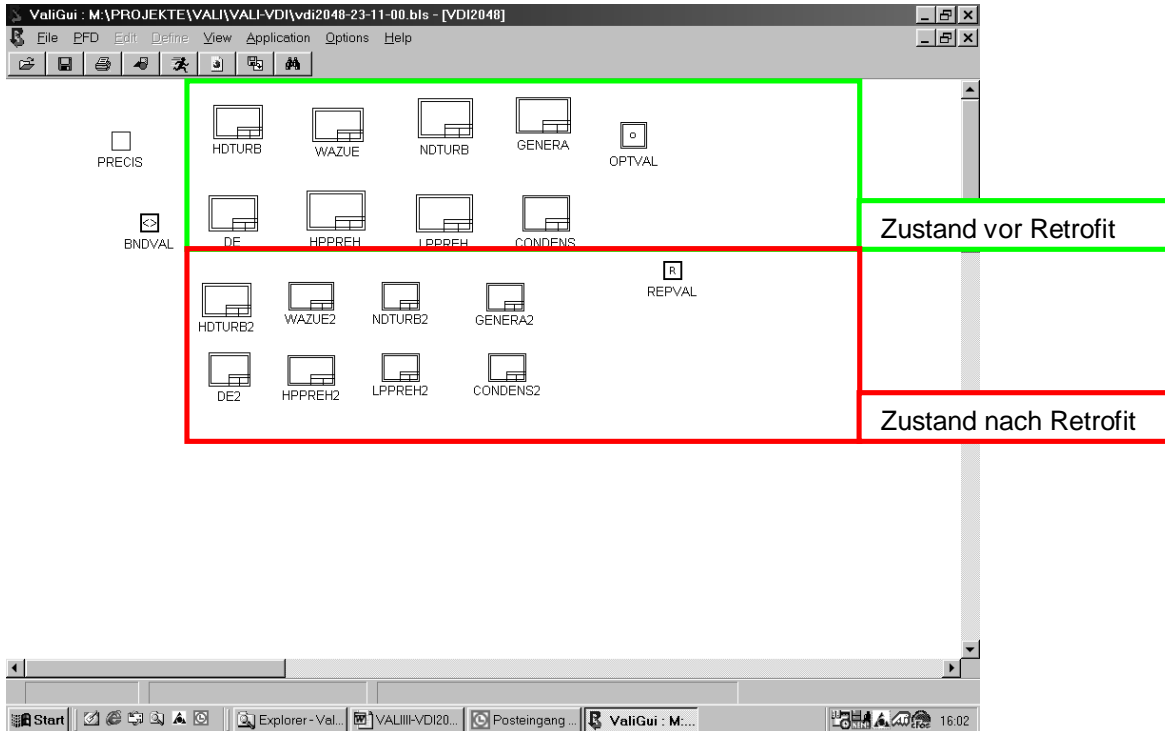
VSATA.0 WATER1 LV		From : VVAPA2		To : S-2	
	Mea.Val	95%Conf	Rec.Val	95%Conf	
T			277.691	0.000000E+00	C
VPDFV	61.9700	0.929550E-01	61.9594	0.915889E-01	bar
*VXFDFV	0.996500	0.200000E-02	0.997778	0.192676E-02	-
VHFDV	50063.0	?	50063.0	54.0991	kJ/kmol
HW	2778.90	?	2778.90	3.00294	kJ/kg
MASSF	2120.74	?	2120.74	15.0758	kg/s
HFLOW	11070.7	?	11070.7	78.9951	MW

Messwerte

Validierte Werte

Abbildung 9: Auszug aus r4v-File – Retrofit-Beispiel

Abweichend zu der Modellerstellung von Abnahmemessungen in Neuanlagen werden bei Retrofitmaßnahmen im GUI zwei gleiche Modelle erstellt, siehe **Abbildung 10**. Diese Vorgehensweise ist notwendig, damit eine Zuordnung von Korrelationsfaktoren zwischen den Messwerten vor und nach einer Retrofitmaßnahme möglich ist. Korrelationsfaktoren werden in VALI III im „\*.mea-File“ wie in **Tabelle 1** dargestellt zugeordnet.



**Abbildung 10:** Modell bei Retrofit-Maßnahme

VALI-Befehl	Messwert vor Retrofit	Messwert nach Retrofit	Korrelationskoeffizient	Bemerkung
CORREL	vpSPVDE	pSPVDE	0.5	Druckmesswert
CORREL	vPel	Pel	0.5	Elektrische Leistung
CORREL	vtSPVDE	tSPVDE	0.5	Temperaturmesswert
CORREL	vmZUHD	mZUHD	0.75	Mengenmesswert
CORREL	vmAnz4	mAnz4	0.9	Schätzwert Menge
CORREL	vDeltapZUHDL	DeltapZUHDL	0.9	Schätzwert Druckdifferenz
CORREL	vCONDP__VN	CONDP__VN	0.9	Schätzwert Pumpenwirkungsgrad
CORREL	vEtaianz4	Etaianz4	0.5	Schätzwert Turbinenwirkungsgrad
CORREL	vqWVSPWB	qWVSPWB	0.9	Schätzwert Wärmeverluste
CORREL	vPSpP1	PSpP1	0.9	Schätzwert Druck
CORREL	vxFDVfV	xFDVfV	0.9	Schätzwert Dampfgehalt

**Tabelle 1:** Korrelationsfaktoren bei Retrofit-Maßnahmen

In **Tabelle 2** sind Ergebnisse einer Retrofitmaßnahme dargestellt, die mit VALI III nachgerechnet wurde.

Bezeichnung Ergebnis/ Meßgröße	Messwert	95% Konf.- Intervall	Val. Wert	Val. 95% Konf.- Intervall	Einheit	Bemerkung
PEL	1464,10	2,928	1463,44	2,919	MW	el. Leistung nach Retrofit
VPEL	1402,50	2,805	1401,97	2,796	MW	El. Leistung vor Retrofit
PTHDEN	-	-	3863,56	28,176	MW	Th. Leistung nach Retrofit
VPTHDEN	-	-	3867,90	28,363	MW	Th. Leistung vor Retrofit
PELNACH	-	-	1460,11	10,888	MW	Umrechnung Normbed.
PELVOR	-	-	1421,27	10,651	MW	Umrechnung Normbed.
<b>DELTA-PEL</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>38,8398</b>	<b>7,949</b>	<b>MW</b>	<b>Leistungssteigerung</b>

**Tabelle 2:** Zusammenstellung der Ergebniswerte der Nachrechnung einer Retrofit-Maßnahmen

In **Abbildung 11** ist die Flow-Sheet Darstellung der Abnahmemessung nach der Retrofitmaßnahme dargestellt. Darin sind validierte Daten, Hilfsgrößen und die Messwerte farblich unterschiedlich gekennzeichnet.

## 5. Weitere Einsatzgebiete von VALI III

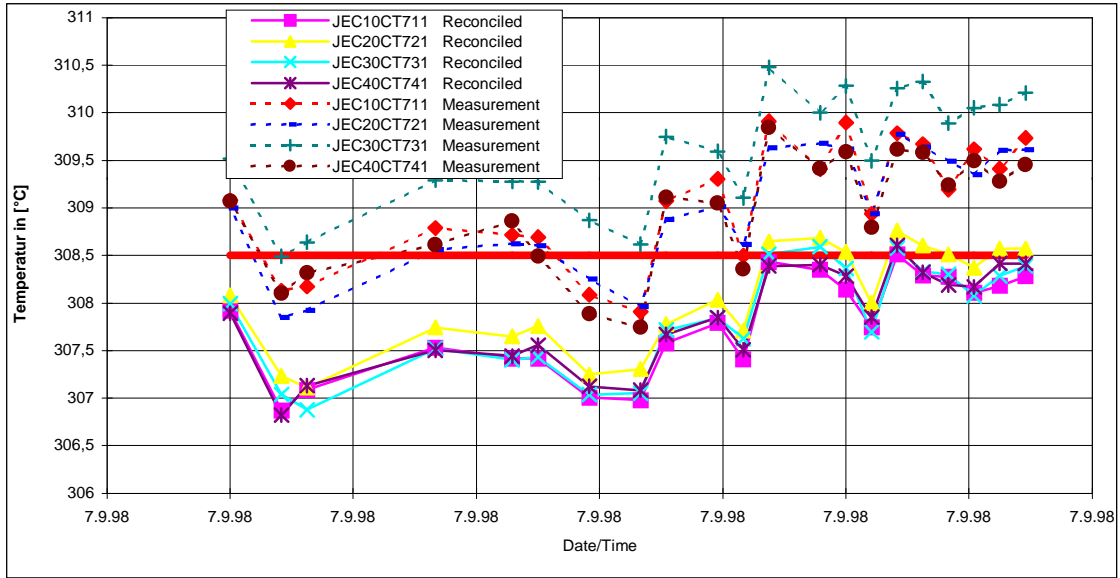
Die Methodik der Datenvalidierung wird neben Abnahmemessungen auch für die Prozessüberwachung, die Komponentenüberwachung und die Prozessoptimierung eingesetzt. Hierzu liegen eine Vielzahl von Erfahrungen und Ergebnissen vor. Beispielhaft werden hier für Kernkraftwerke und GUD-Anlagen einige Ergebnisse vorgestellt.

Die Prozessdatenvalidierung wird in Kernkraftwerken dazu verwendet,

- die Anfahrvorgänge der Anlagen zu verfolgen
- die mittlere Kühlmitteltemperatur exakter zu ermitteln
- die thermische Reaktorleistung genauer bestimmen zu können
- die Ergebnisse der Validierung als Kalibriernormal einsetzen zu können
- die Kosten für die Kalibrierung von Messstellen zu reduzieren.

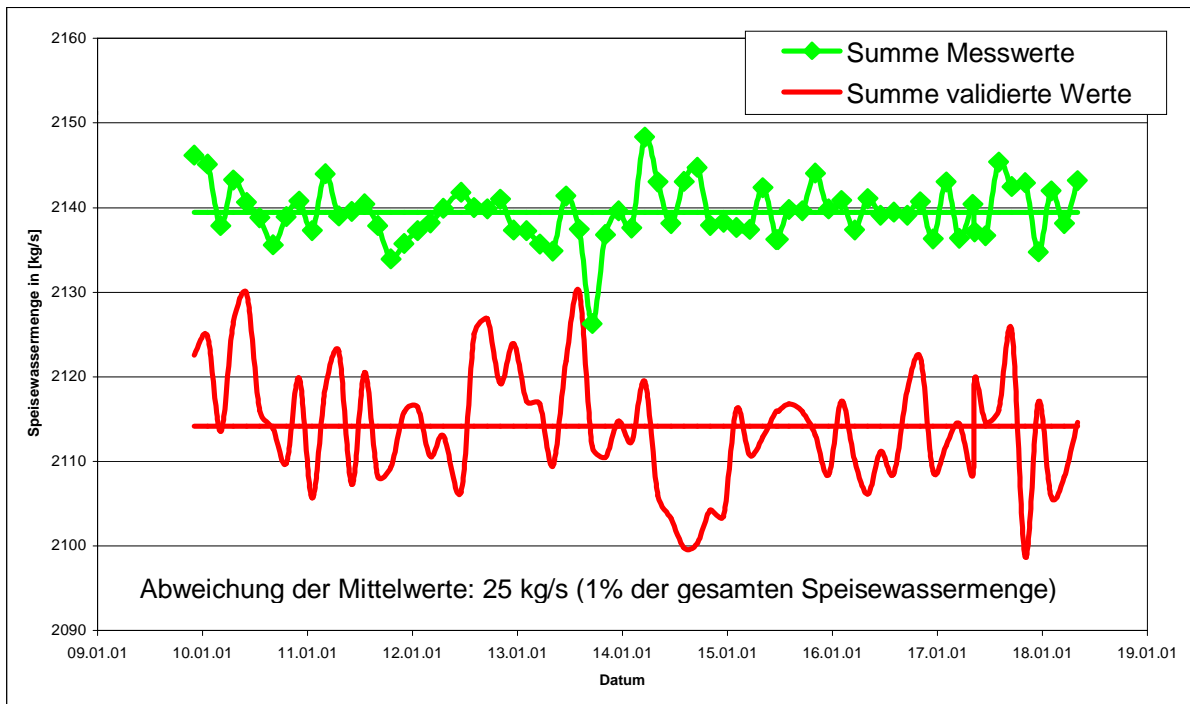
In den **Abbildungen 12 bis 14** sind Ergebnisse aus der Validierung in einem Kernkraftwerk dargestellt.



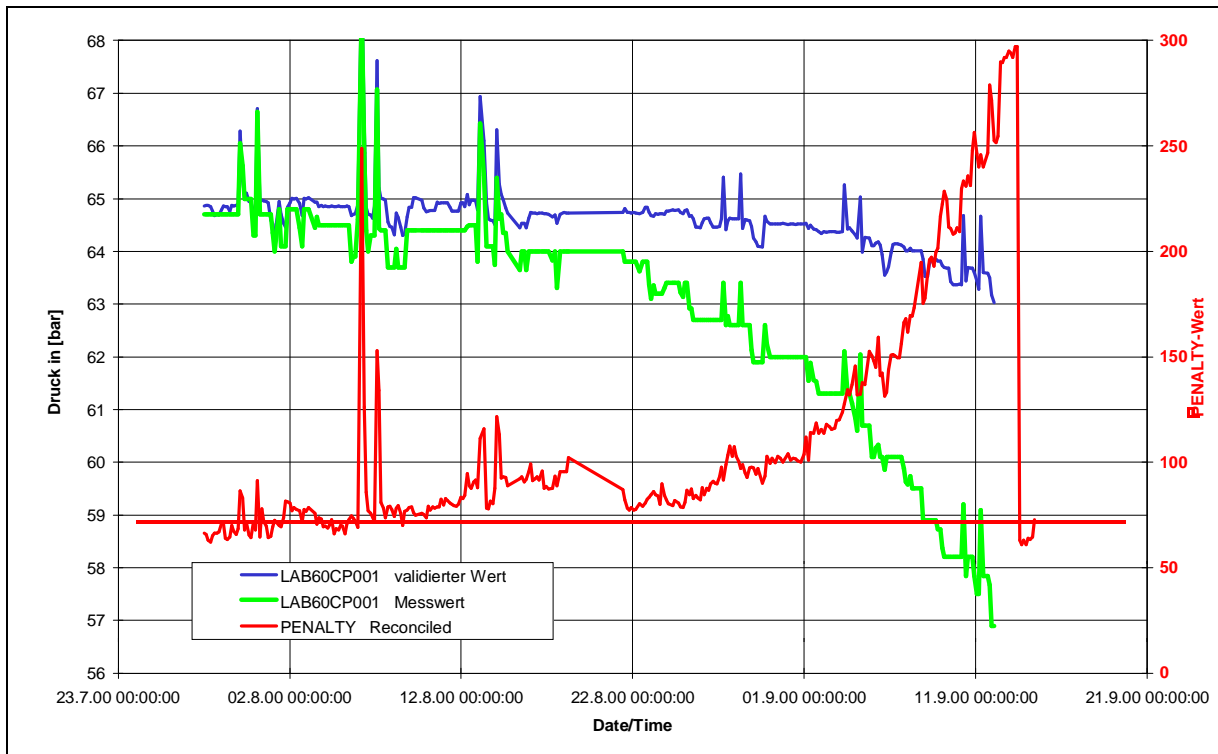


**Abbildung 12:** Darstellung der mittleren Kühlmitteltemperatur

In **Abbildung 12** erkennt man, dass die gemessenen mittleren Kühlmitteltemperaturen (KMT) bis zu 2 K höher anzeigen als die validierten Werte. Da die mittlere KMT eine wichtige Regelgröße des Prozesses darstellt, ist die genaue Bestimmung der wahren Temperaturen von großer Bedeutung. Davon kann abhängen, ob das KKW seine 100 % Leistung überhaupt erreichen kann.



**Abbildung 13:** Gesamte Speisewassermenge vor Dampferzeuger



**Abbildung 14:** Wegdriftende Messstelle

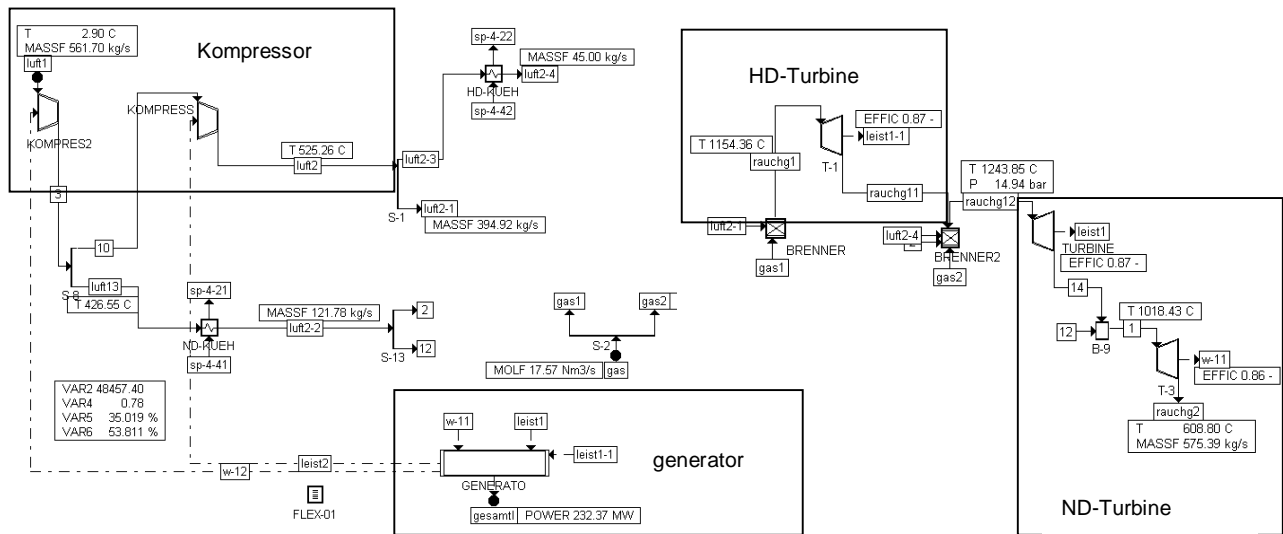
In **Abbildung 13** ist die mittels Mengemessblenden gemessene Speisewassermenge vor den vier Dampferzeugern den validierten Werten gegenübergestellt. Die Abweichung der gemessenen zur validierten Speisewassermenge beträgt 25 kg/s, was 1 % der gesamten Menge entspricht (Bereich der Messgenauigkeit der Messblenden). Ziel ist es, die validierten Werte als Kalibriernormal zu verwenden und die Messblenden so zu kalibrieren, dass die Messwerte den validierten Werten entsprechen. Da es sich bei der Speisewassermengenmessungen um sicherheitstechnisch relevante Messungen handelt, ist die Zustimmung des Gutachters notwendig. Dieses Verfahren ist abgeschlossen, was einen Einsatz der Ergebnisse aus der Datenvalidierung als Kalibriernormal ermöglicht. Im vorliegenden Fall ergibt sich eine Erhöhung der elektrischen Leistung von 13 MW<sub>el</sub>.

In **Abbildung 14** ist das Wegdriften der Speisewasserdruckmessung vor einem Dampferzeuger dargestellt. Im gleichen Diagramm ist die PENALTY-Funktion über den Zeitraum des Wegdriften erfasst. Die PENALTY-Funktion ist die Summe aller Abweichungen des gesamten Modelles. Im 100 % Leistungsbetrieb liegt der PENALTY-Wert für dieses KKW bei 70. Über das Wegdriften der Messstelle steigt der PENALTY-Wert bis auf 300 an. Dies wird vom System direkt angezeigt mit einem Hinweis auf die fehlerhafte Messstelle, die den Anstieg verursacht. Die Datenvalidierung ist somit ein hervorragendes Instrument für die Prozessüberwachung, womit die Kalibrierung von Messstellen zustandsorientiert durchgeführt werden kann. Wird die Kalibrierung zustandsorientiert durchgeführt, können bei einem KKW jährlich 125.000 EURO an Kosten eingespart werden. Die Amortisation für ein Datenvalidierungssystem mit VALI III liegt somit bei einem Jahr.

Zielsetzung bei **GUD-Kraftwerken** ist es, mit der Datenvalidierung

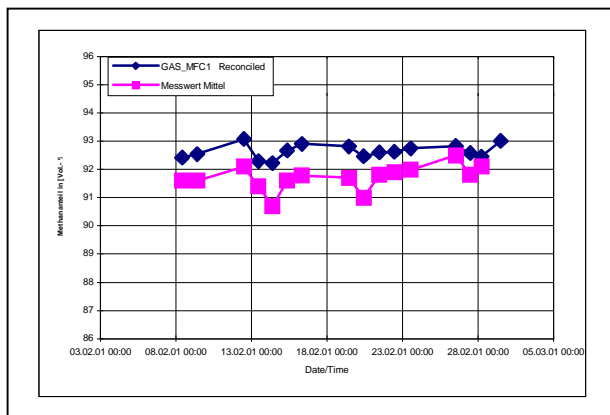
- geschlossene Massen- und Energiebilanzen zu erhalten (wichtig bei Lieferung von Fernwärme)
- besser den Prozess überwachen zu können
- mehr Detailinformationen über die Gasturbine zu erhalten
- sich anbahnende Probleme in den Brennkammern frühzeitig zu erkennen
- den Erdgasbezug und die vom Lieferanten verrechnete Heizenergie zu überwachen
- die Kosten für die Kalibrierung von Messstellen zu reduzieren.

In **Abbildung 15** ist eine Gasturbine in der GUI-Oberfläche von VALI III dargestellt.

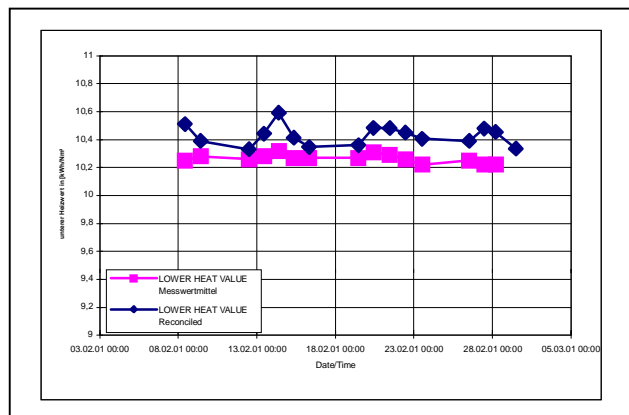


**Abbildung 15:** Gasturbinenmodell in VALI III-GUI-Oberfläche

In **Abbildung 16** ist der analysierte und der validierte Methananteil des Gases erfasst. In **Abbildung 17** ist der auf Analysewerte basierende und der validierte untere Heizwert dargestellt. Diese Werte können ohne eine Validierung nicht ONLINE verfolgt werden, da Analyseergebnisse immer erst zeitversetzt vorliegen.



**Abbildung 16:** Methananteil aus Analyse und validiert (blaue Kurve)



**Abbildung 17:** Unterer Heizwert aus Analyse und validiert (blaue Kurve)

In **Abbildung 18** sind die gemessenen und validierten Frischdampftemperaturen dargestellt. Die maximal gemessene Temperatur liegt um bis zu 5 K höher als die validierte Temperatur. Das bedeutet, dass die Anlage nicht in ihrem best möglichen Wirkungsgrad betrieben wird. Um dies jedoch erkennen zu können, müssen validierte Daten vorliegen.

In **Abbildung 19** ist die gemessene und die validierte EV-Brennkammertemperatur erfasst. Der gemessene Wert liegt um ca. 20 K niedriger als der validierte Wert, was einer 2 %-igen Abweichung entspricht.

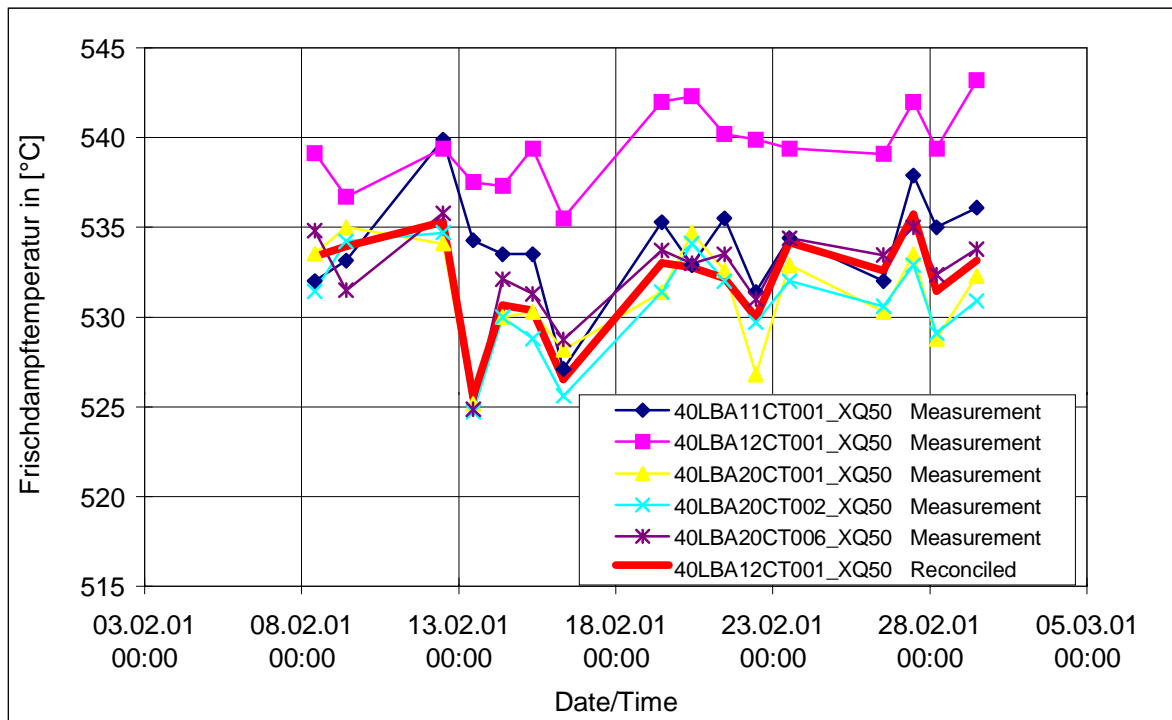


Abbildung 18: Darstellung der gemessenen und validierten Frischdampfperatur

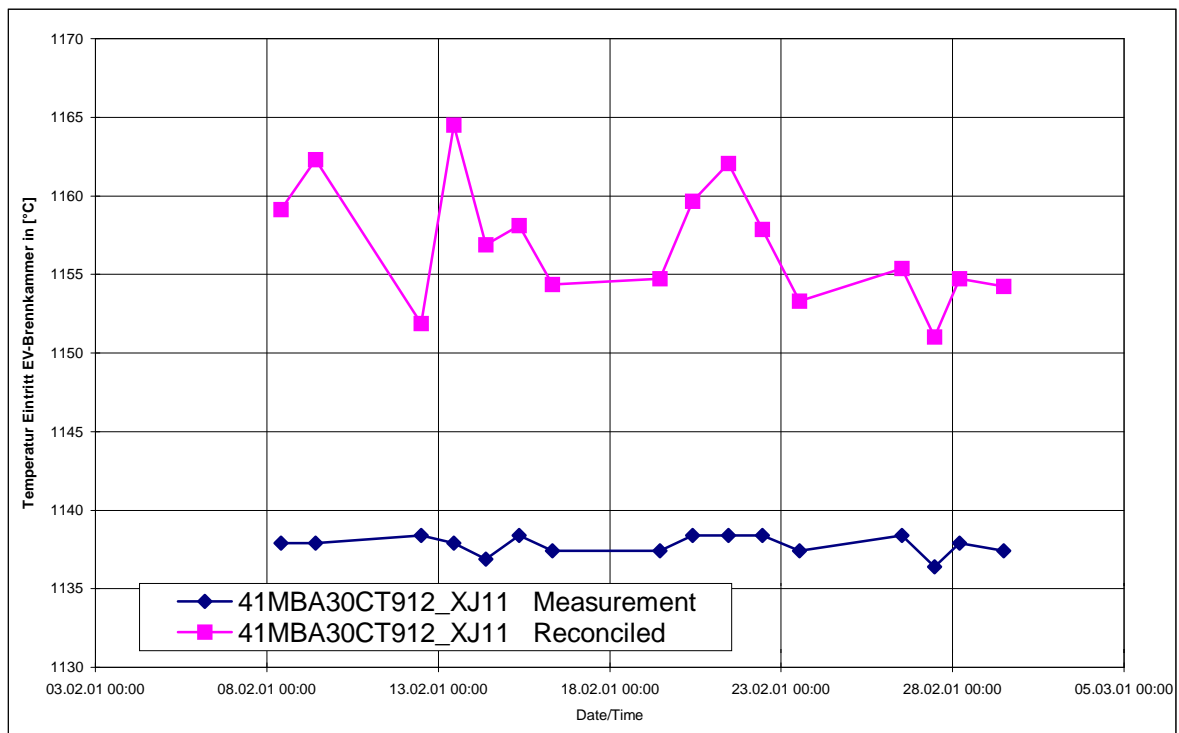


Abbildung 19: Gemessene und validierte EV-Brennkammertemperatur

## 6. Schlussfolgerungen

Werden Abnahmemessungen nach VDI 2048 durchgeführt, ist dies zur Zeit das bestmögliche Verfahren zur Bestimmung von Garantiewerten und deren Messunsicherheiten. Werden andere Methoden verwendet, führt dies unweigerlich zu einer Unschärfe des Endergebnisses, was größere finanzielle Verluste für Betreiber von energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen bedeuten kann. Mit VALI III liegt ein kommerziell genutztes Programm vor, mit dem nach der angestrebten VDI-Zertifizierung Abnahmemessungen nach VDI 2048 durchgeführt werden können.

Nur mit genauer Kenntnis aller verfahrenstechnischen Werte kann eine Prozessoptimierung überhaupt erst durchgeführt werden. Speziell bei größeren Kraftwerken (KKW, 1300 MW; GUD, 500 MW) können Messungenauigkeiten große finanzielle Verluste hervorrufen. Zum Beispiel das nicht völlige Ausnutzen der thermischen Reaktorleistung über mehrere Jahrzehnte mit 40 MW<sub>th</sub> bedeutet heute ein Verlust von hunderten von Millionen EURO. Auch die nicht optimierten Fahrweisen von GUD-Anlagen können solche Verluste verursachen. Aus diesem Grund wird allen Anlagenbetreibern empfohlen, eine kontinuierliche Datenvalidierung in ihrer Prozessüberwachung zu implementieren.

## 7. Quellen

- /1/ VDI 2048, "Messunsicherheiten bei Abnahmemessungen an energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen-Grundlagen", Oktober 2000
- /2/ U. Brockmeier: "Validierung von Prozeßdaten in Kraftwerken" VGB-Kraftwerkstechnik Heft 9/99 Seite 61-66
- /3/ E. Grauf, J. Jansky, M. Langenstein: "Investigation of the real process data on basis of closed mass- and energy balances in Nuclear power plants (NPP)"; SERA-Vol. 9, Safety Engineering and Risk Analysis-1999, Page 23-40; edited by J.L. Boccio; ASME 1999
- /4/ Grauf, E., Jansky, J., Langenstein, M.: "Reconciliation of process data in Nuclear Power Plants (NPPs)", 8 th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE) April 2-8,2000 Baltimore, MD USA
- /5/ Jansky J., Langenstein M.: „Process data validation in CCGT and nuclear power plants“; SMIRT 16, Washington DC, Paper 1635, August 2001
- /6/ Vali III USER GUIDE, BELSIM S.A., Liege, Belgium, October 2000