

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Messunsicherheiten bei Abnahmemessungen
an energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen
Beispiele, insbesondere Vorbereitung der
Abnahme einer Kombi-Anlage

VDI 2048

Blatt 3 / Part 3

Uncertainties of measurement during acceptance
tests on energy-conversion and power plants
Examples, especially preparation of acceptance of a
gas and steam power plant

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Formelzeichen und Indizes	3	2 Symbols and indices	3
3 Beispiele zu Kovarianzen	6	3 Examples of covariances	6
3.1 Thermoelemente mit gemeinsamer Referenzmessstelle	6	3.1 Thermoelements with common reference measuring point.	6
3.2 Messung von Massenflüssen mittels baugleicher genormter Drosselgeräte	7	3.2 Measurement of mass flows using standardized choke units of identical design.	7
4 Automatisches Erstellen partieller Ableitungen	10	4 Automatic generation of partial deviations	10
4.1 Regeln für das Erstellen partieller Ableitungen	11	4.1 Rules for generating partial deviations	11
4.2 Programmbausteine	11	4.2 Program modules	11
5 Hilfsgrößen	14	5 Auxiliary variables	14
6 Ungleichungen	15	6 Inequalities	15
6.1 Feste obere Schranke	15	6.1 Fixed upper bound	15
6.2 Feste untere Schranke	16	6.2 Fixed lower bound	16
7 Einflüsse auf die Unsicherheit der Ergebnisgrößen	16	7 Influences on the uncertainty of the output variables	16
7.1 Nebenbedingungen	16	7.1 Constraints	16
7.2 Erfasste Messgrößen	18	7.2 Measured variables intercepted.	18
8 Erweiterte Analyse der groben Fehler	19	8 Extended analysis of the gross errors	19
9 Beispiel – Vorbereitung der Abnahme einer Kombi-Anlage	21	9 Example – preparation of the acceptance of a gas and steam power plant	21
9.1 Aufgabenstellung	21	9.1 Task	21
9.2 Tabelle der Messgrößen	24	9.2 Table of measured variables	24
9.3 Ablauf der Auswertung	40	9.3 Evaluation procedure	40
9.4 Eingabedaten	56	9.4 Input data	56
9.5 Auswertung der rohen Daten	59	9.5 Evaluation of the raw data	59
9.6 Auswertung der ausgeglichenen Daten	60	9.6 Evaluation of the corrected data	60
9.7 Einfluss der Nebenbedingungen auf die Verringerung der Unsicherheit der Garantiegrößen	62	9.7 Influence of the constraints on the reduction of the uncertainty of the guaranteed variables	62
9.8 Einfluss der erfassten Messgrößen auf die Unsicherheit der Garantiegröße Netto-Wärmeverbrauch	63	9.8 Influence of the measured variables on the uncertainty of the variable guaranteed net heat consumption	63
Schrifttum	66	Bibliography	66

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)

Fachbereich Energiewandlung und -anwendung

VDI-Handbuch Energietechnik
VDI/VDE-Handbuch Prozessmesstechnik und Strukturanalyse

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Allen, die ehrenamtlich an der Erstellung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei auf diesem Wege gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2048.

Einleitung

In der Richtlinie VDI 2048 Blatt 1 wird ein Verfahren vorgestellt, das gegenüber den bisher angewendeten Verfahren entscheidende Vorteile aufweist. Damit ist es möglich,

- Abnahmemessungen einer mathematisch fundierten Qualitätskontrolle zu unterziehen,
- die Wahrscheinlichkeit der Erfüllung zugesicherter Eigenschaften zu ermitteln und
- bei Nutzung des Verfahrens im Anlagenbetrieb mit der geringstmöglichen Unsicherheit über den wahren Zustand der Anlage informiert zu sein.

Die vorgestellte Methodik ist nicht nur auf Kraftwerksprozesse, sondern auf alle quasistationären Fließprozesse anwendbar.

Anmerkung: Diese Methodik kann z. B. auch zur Auswertung von redundanten Messungen in Rohrnetzen verwendet werden [5].

Die vorliegende Richtlinie liefert praxisorientierte Beispiele für die Ermittlung von Kovarianzen, gibt Hilfen bei der Programmierung und stellt die Anwendung des Verfahrens anhand eines praktischen Beispiels dar. Am Beispiel Vorbereitung der Abnahme einer Kombi-Anlage wird ausgehend von den Auslegungsdaten einer geplanten Anlage und den Anforderungen des Kunden die Planung einer Abnahmemessung gezeigt. Dieses Vorgehen bedingt die Notwendigkeit, die Anzahl, Präzision und Position der Messstellen bereits im Angebotsstadium zu fixieren. Dies liefert auch eine nutzbare Grundlage für die Installation von Systemen zur Prozessgüteüberwachung im Anlagenbetrieb.

Das Beispiel Vorbereitung der Abnahme einer Kombi-Anlage ist auf beiliegendem Datenträger in ablauffähiger Form enthalten, sodass auch ein prakti-

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

A catalogue of all available parts of this series of guidelines can be accessed on the internet at www.vdi.de/2048.

Introduction

The guideline VDI 2048 Part 1 presents a method with a few essential advantages over the methods used up to now. This makes it possible to

- subject acceptance measurements to mathematically well-founded quality control,
- determine the likelihood that guaranteed properties will be fulfilled and to
- be informed of the true state of a plant with the lowest possible uncertainty when the method is used in plant operation.

The method presented cannot only be applied to power station processes but can be used for all quasi-stationary flow processes.

Note: This method can for example also be used to evaluate redundant measurements in pipeline networks [5].

The present guideline gives practice-oriented instances of the calculation of covariances, provides assistance in programming and illustrates the application of the method by way of a practical example. Using the preparation of the acceptance of a gas and steam power plant as an example and on the basis of the design data of a planned plant and the requirements of the customers, the guideline shows how an acceptance measurement is planned. This procedure requires the number, precision and position of the measuring points to be fixed early on in the bidding phase. It also provides a viable basis for the installation of systems for monitoring process quality during plant operation.

The example of the preparation of the acceptance of a gas and steam power plant is included in runnable form on the enclosed data carrier, thus also allowing

scher Einblick durch eigene Durchrechnungen, z.B. mit veränderten Daten, insbesondere mit veränderten Unsicherheiten, gewonnen werden kann.

Informationen über Software nach VDI 2048 können bei der VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf (geu@vdi.de) angefordert werden.

1 Anwendungsbereich

Das in dieser Richtlinie dargelegte Verfahren ist anwendbar auf quasistationäre Fließprozesse, insbesondere bei Anlagen der Energie- und Kraftwerkstechnik, und bezieht sich auf die Planung von Abnahmemessungen auf der Basis der Richtlinie VDI 2048 Blatt 1.

2 Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Benennung
A	Fläche
a	zufällige Einflüsse und/oder unbekannte systematische Abweichungen, Intervalluntergrenze, Anteil
C	Durchflusskoeffizient
c	Geschwindigkeit
$\text{Cov}(X_i, X_k)$ $= \sigma_{i,k}$	Kovarianz
D	Durchmesser
d	relative Dichte, Durchmesser
E, \mathbf{E}	Erwartungswert, Vektor der Erwartungswerte
\mathbf{e}	Einheitsvektor
e	Messabweichung
\mathbf{F}	Funktionalmatrix der Nebenbedingungen
f, \mathbf{f}	Nebenbedingungen, Vektor der Nebenbedingungen
G, \mathbf{G}	Zufallsvariable Ergebnis, Vektor der Zufallsvariablen
g, \mathbf{g}	Ergebniswert, Vektor der Ergebniswerte
h	Ergebniswert, spezifische Enthalpie
h_n	spezifische Enthalpie, bezogen auf das Volumen im Normzustand
h_v	spezifische Enthalpie, bezogen auf das Volumen im Bezugszustand
H_{im}	molarer Heizwert
H_{iv}	volumenbezogener Heizwert

practical insights via calculations of one’s own, for example with altered data and in particular with altered uncertainties.

For information on software in accordance with VDI 2048, please contact VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt, Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf (geu@vdi.de).

1 Scope

The method described in this guideline can be applied to quasi-stationary flow processes, in particular in plants of energy and power station technology, and refers to the planning of acceptance measurements on the basis of the guideline VDI 2048 Part 1.

2 Symbols and indices

Symbols

The following symbols are used throughout this guideline:

Symbol	Term
A	area
a	random influences and/or unknown systematic deviations, lower limit of interval, proportion
C	flow coefficient
c	speed
$\text{Cov}(X_i, X_k)$ $= \sigma_{i,k}$	covariance
D	diameter
d	relative density, diameter
E, \mathbf{E}	expected value, vector of the expected values
\mathbf{e}	unit vector
e	deviation in measurement
\mathbf{F}	derivative matrix of the constraints
f, \mathbf{f}	constrains, vector of the constraints
G, \mathbf{G}	random variable result, vector of the random variable
g, \mathbf{g}	output value, vector of the output values
h	output value, specific enthalpy
h_n	specific enthalpy with reference to the volume in the standard state
h_v	specific enthalpy with reference to the volume in the reference state
H_{im}	molar calorific value
H_{iv}	volume-specific calorific value