

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Kontrolle und Verbesserung der Qualität von
Prozessdaten und deren Unsicherheiten mittels
Ausgleichsrechnung bei Betriebs- und
Abnahmemessungen

VDI 2048

Blatt 1 / Part 1

Control and quality improvement of process data
and their uncertainties by means of correction
calculation for operation and acceptance tests

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4	1 Scope.....	4
2 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes	4	2 Symbols, abbreviations, and indices.....	4
3 Grundlegendes Konzept.....	6	3 Underlying concept	6
3.1 Besonderheiten bei Betriebs-, Kontroll- und Abnahmemessungen.....	6	3.1 Special aspects of operation, control and acceptance tests.....	6
3.2 Erfassung und Verarbeitung von Unsicherheiten	8	3.2 Recording and processing of uncertainties.....	8
3.3 Qualitätskontrolle und optimale Nutzung der erfassten Messwerte	11	3.3 Quality control and optimal utilisation of the obtained measured values.....	11
3.4 Vergleich mit zugesicherten/einzu- haltenden oder erwarteten Eigenschaften.	12	3.4 Comparison with assured/required or expected properties	12
3.5 Planung und Vorbereitung	12	3.5 Planning and preparation	12
4 Physikalische Grundlagen	14	4 Physical principles	14
4.1 Allgemeines	14	4.1 General	14
4.2 Messgrößen.....	14	4.2 Measured variables	14
4.3 Nicht gemessene Größen	17	4.3 Non-measured variables	17
5 Statistische Grundlagen.....	17	5 Statistical principles.....	17
5.1 Messgröße als Zufallsvariable	17	5.1 Measured variables as random variables.....	17
5.2 Varianzen und Kovarianzen.....	25	5.2 Variances and covariances.....	25
5.3 Verteilungsfunktion, Wahrscheinlich- keitsdichte und Konfidenzintervall	26	5.3 Distribution function, probability density and confidence interval	26
5.4 Fortpflanzung von Unsicherheiten.....	28	5.4 Propagation of uncertainties	28
5.5 Konfidenzintervall einer Ergebnisgröße	31	5.5 Confidence interval of an outcome quantity	31
5.6 Praktischer Ablauf der Auswertung	33	5.6 Practical evaluation procedure.....	33
5.7 Ermittlung von Schätzwerten der Messunsicherheit.....	34	5.7 Obtaining estimated values of measurement uncertainties.....	34
6 Qualitätskontrolle und Verbesserung der Messwerte mittels Ausgleichsrechnung	50	6 Quality control and improvement of the measured values by means of a correction calculation	50
6.1 Einführung der Nebenbedingungen	51	6.1 Introducing auxiliary conditions.....	51
6.2 Qualitätsbeurteilung und Erkennen grober Fehler.....	54	6.2 Quality assessment and identifying serious errors.....	54
6.3 Rechenvorschriften	58	6.3 Calculation rules	58
6.4 Mehrfachmessung derselben Größe.....	65	6.4 Repeated measurement of the same variable	65

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)

Fachbereich Energiewandlung und -anwendung

VDI-Handbuch Energietechnik

VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 1: Bewertung/Stoffwerte
VDI/VDE-Handbuch Prozessmesstechnik und Strukturanalyse

Inhalt	Seite
7 Prüfung von zugesicherten oder erwarteten Eigenschaften	66
7.1 Allgemeine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung beim Vergleich zugesicherter Eigenschaften	66
7.2 Verwendung des vollständigen Ergebnisses für den Vergleich zugesicherter Eigenschaften unter Abnahmebedingungen	68
7.3 Spezielle Wahrscheinlichkeitsbetrachtung beim Vergleich unter den Bedingungen der zugesicherten Eigenschaften	68
7.4 Verwendung des vollständigen Ergebnisses für den Vergleich der zugesicherten Eigenschaft mit festen Werten.....	71
7.5 Umrechnung auf Bedingungen der zugesicherten Eigenschaften	72
8 Messunsicherheit von Differenzmessungen	73
9 Hilfsgrößen und nicht gemessene Größen	76
9.1 Hilfsgrößen	76
9.2 Nicht gemessene Größen	77
10 Einflüsse auf die Unsicherheit der Ergebnisgrößen	78
10.1 Nebenbedingungen	78
10.2 Erfasste Messgrößen	80
10.3 Beurteilung des Einflusses von Schätzwerten	81
11 Verwendung von Ungleichungen	81
11.1 Feste obere Schranke	81
11.2 Feste untere Schranke	82
Anhang A Beispiel	83
Anhang B Kriterienkatalog für die Zertifizierung nach VDI 2048	96
Schrifttum	99

Contents	Page
7 Examination of assured and expected properties	66
7.1 General probability considerations when comparing assured properties	66
7.2 Using the complete result when comparing assured properties under acceptance conditions	68
7.3 Special probability consideration in a comparison under the conditions of the assured properties	68
7.4 Using the complete result for comparing the assured property with fixed values	71
7.5 Conversion to conditions of the assured properties	72
8 Uncertainty of difference measurements	73
9 Auxiliary variables and non-measured variables	76
9.1 Auxiliary variables.....	76
9.2 Non-measured variables	77
10 Factors affecting the uncertainty of the result variables	78
10.1 Auxiliary conditions	78
10.2 Registered measured variables.....	80
10.3 Assessing the effect of estimated values	81
11 Using inequalities	81
11.1 Fixed upper limit	81
11.2 Fixed lower limit	82
Annex A Example	83
Annex B Criteria catalogue for certification in accordance with VDI 2048	96
Bibliography	99

Vorbemerkung

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

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

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

Einleitung

Diese Richtlinie wurde ursprünglich für Abnahmemessungen an Anlagen der Energie- und Kraftwerkstechnik und ihren Komponenten erarbeitet. Diese werden häufig für jeden Anwendungsfall neu ausgelegt und gefertigt; sie machen daher den Nachweis der Erfüllung bestimmter zugesicherter technischer Eigenschaften bei vereinbarten Betriebsbedingungen (Wirkungsgrad, spezifischer Energieverbrauch, Leistung, Emissionswerte usw.) einer Anlage oder Komponente erforderlich. Dabei orientierte sich die erste Ausgabe der Richtlinie aus dem Jahr 1978 auf die Berücksichtigung von Unsicherheiten und die Bereinigung einzelner Widersprüche. Nach einer grundlegenden Überarbeitung wurde im Jahr 2000 die bis jetzt gültige Fassung der Richtlinie herausgegeben; sie ermöglicht es, den wahrscheinlichsten Zustand einer Anlage bei einer Abnahmemessung unter Verwendung der Ausgleichsrechnung über redundante Messungen zu ermitteln und die Abnahmemessung einer Qualitätsprüfung zu unterziehen.

VDI 2048 Blatt 2 und Blatt 3 enthalten Anwendungsbeispiele zur Vorbereitung und Auswertung von Abnahmemessungen.

Die nunmehr überarbeitete Richtlinie vervollständigt das theoretische Gerüst des Verfahrens und erweitert den Anwendungsbereich wesentlich.

Softwarelösungen können gemäß dieser Richtlinie auf der Grundlage der Kriterien des Anhangs B zertifiziert werden. Informationen über zertifizierte Software gemäß VDI 2048 sind bei der VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt unter der E-Mail-Adresse geu@vdi.de zu erhalten.

Preliminary note

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

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

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

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

Introduction

This standard was originally written for acceptance tests in power plants and their components. These often are designed and manufactured anew for each application and therefore make it necessary to demonstrate that certain assured technical properties are fulfilled under the agreed operating conditions (efficiency, specific power consumption, power output, emission levels, etc.) of a plant or component. The first edition of the standard dated 1978, focused on taking uncertainties into account and rectifying individual contradictions. Following thorough revision, the version of the current standard in force up until now was issued in 2000, making it possible to calculate the most likely status of a plant during an acceptance test by using a correction calculation via redundant measurements, and to subject the acceptance test to a quality review.

VDI 2048 Part 2 and Part 3 contain examples of practical applications relating to the preparation and analysis of acceptance tests.

This revised standard completes the theoretical framework of the process and significantly extends its scope.

Software solutions can be certified in accordance with this standard, based on the criteria listed in Annex B. Information regarding software certified under VDI 2048 is available from VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt using the e-mail address geu@vdi.de

1 Anwendungsbereich

Unter Messungen werden in dieser Richtlinie Betriebs-, Kontroll- und Abnahmemessungen verstanden, soweit nichts anderes vermerkt ist.

Üblicherweise werden Ergebniswerte samt zugehörigen Messunsicherheiten (vollständiges Messergebnis) angegeben. Bei der Auswertung von Messungen gemäß dieser Richtlinie ist jedoch zusätzlich der Vergleich mit zugesicherten/einzuhaltenden oder erwarteten Eigenschaften und damit eine Aussage über die wahren Werte der technischen Eigenschaften möglich.

Es ist daher Ziel dieser Richtlinie, eine Vorgehensweise für die Auswertung von Messungen in Hinblick auf eine bestmögliche Aussagekraft unter Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten bei Energie-, Chemie- und Kraftwerksprozessen darzulegen.

Diese Richtlinie kann allgemein zur Qualitätssicherung von Messungen, zur Beurteilung von Messergebnissen oder zur Beurteilung der Aussagekraft von Messungen herangezogen werden.

1 Scope

Unless stated otherwise, in this standard, measurements denote operational, control and acceptance measurements.

Usually, results are stated with their associated measurement uncertainties (complete measurement result). However, when analysing measurements in accordance with this standard, it is further possible to compare the current (true) values of the technical properties to the assured or expected properties and indicate measurements which need to be maintained or repaired.

It is therefore the objective of this standard to offer a procedure for analysing measurements in terms of the best possible information content, taking into account the special circumstances prevailing in power plant and chemical engineering processes.

This standard can be used generally for applications relating to the quality assurance of measurements, the assessment of measurement results or the validity or significance of measurements.