

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Messunsicherheiten bei Abnahmemessungen
an energie- und kraftwerkstechnischen Anlagen
Grundlagen

VDI 2048

Blatt 1 / Part 1

Uncertainties of measurement during acceptance
tests on energy-conversion and power plants
Fundamentals

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	4	Preliminary note	4
Wichtige Formelzeichen und Indizes	4	Important symbols and indices.	4
1 Zweck und Geltungsbereich	6	1 Objective and scope	6
1.1 Zielsetzung	6	1.1 Objective	6
1.2 Besondere Gegebenheiten bei Abnahmemessungen	6	1.2 Special conditions during acceptance measurements	6
1.3 Erfassung und Verarbeitung der Messunsicherheiten	8	1.3 Determining and processing measurement uncertainties	8
1.4 Qualitätskontrolle und optimale Nutzung der erfassten Messwerte.	11	1.4 Quality control and optimum use of the determined measured values.	11
1.5 Garantievergleich	12	1.5 Comparison of guaranteed characteristics.	12
2 Planung und Vorbereitung von Abnahme- messungen	12	2 Planning and preparation of acceptance measurements	12
3 Physikalische Grundlagen	13	3 Physical fundamentals	13
3.1 Allgemeines	13	3.1 General remarks	13
3.2 Messgrößen bei Abnahmemessungen	14	3.2 Measured variables during acceptance measurements	14
3.2.1 Feldgrößen	14	3.2.1 Field variables.	14
3.2.2 Flussgrößen.	15	3.2.2 Flow variables.	15
3.2.3 Elektrische Größen.	15	3.2.3 Electrical variables	15
3.2.4 Chemisch-physikalische Größen.	16	3.2.4 Chemico-physical variables.	16
3.2.5 Geometrische Größen	16	3.2.5 Geometric variables.	16
4 Rechnerische Erfassung der Messunsicherheiten	17	4 Calculation of measurement uncertainties	17
4.1 Betrachtung der Messgrößen als Zufallsvariable.	17	4.1 Measured variables regarded as random variables	17
4.1.1 Betrachtung einer einzelnen Messgröße als eindimensionale Zufallsvariable	18	4.1.1 Single measured variable regarded as a one-dimensional random variable	18
4.1.2 Erwartungswert und Varianz einer eindimensionalen Zufallsvariablen	19	4.1.2 Expected value and variance of a one-dimensional random variable	19
4.1.3 Gemeinsame Betrachtung zweier Messgrößen als zweidimensionale Zufallsvariable	20	4.1.3 Two measured variables jointly regarded as a two-dimensional random variable	20

VDI-Gesellschaft Energietechnik

Ausschuss VDI 2048

VDI-Handbuch Energietechnik
VDI/VDE-Handbuch Messtechnik I

	Seite		Page
4.1.4 Erwartungswert, Varianz und Kovarianz einer zweidimensionalen Zufallsvariablen	20	4.1.4 Expected value, variance and covariance of a two-dimensional random variable	20
4.1.5 Gemeinsame Betrachtung aller Messgrößen als mehrdimensionale Zufallsvariable	23	4.1.5 All measured variables jointly regarded as a multi-dimensional random variable	23
4.2 Varianzen und Kovarianzen, Kovarianzmatrix, Unsicherheit der Messgrößen	25	4.2 Variances and covariances, covariance matrix, uncertainty of the measured variables	25
4.3 Verteilungsfunktion, Wahrscheinlichkeitsdichte, Konfidenzintervall und 95 %-Konfidenzintervall	27	4.3 Distribution function, probability density, confidence interval and 95 % confidence interval	27
4.4 Fortpflanzung von Unsicherheiten	29	4.4 Propagation of uncertainties	29
4.4.1 Unsicherheit einer einzelnen Ergebnisgröße	29	4.4.1 Uncertainty of a single result variable	29
4.4.2 Unsicherheit mehrerer Ergebnisgrößen.	31	4.4.2 Uncertainty of several result variables.	31
4.5 Verteilungsfunktion und Konfidenzintervall einer Ergebnisgröße, Ergebnis-Konfidenzintervall, vollständiges Ergebnis	33	4.5 Distribution function and confidence interval of a result variable, result confidence interval, complete result	33
4.6 Praktischer Ablauf der Auswertung	34	4.6 Practical evaluation procedure	34
4.7 Ermittlung eines Schätzwertes der Messunsicherheit der Messgrößen	35	4.7 Determining an estimated value of the measurement uncertainty of measured variables.	35
4.7.1 Zufällige und systematische Messabweichung.	36	4.7.1 Random and systematic measurement deviation	36
4.7.2 Ermittlung der Schätzwerte der Varianzen der Messgrößen.	37	4.7.2 Determining the estimated values of the variances of the measured variables.	37
4.7.3 Berücksichtigung von Ergebnissen früherer Messungen sowie von Tabellenwerten.	45	4.7.3 Consideration of results of earlier measurements and of table values	45
4.7.4 Ermittlung der Schätzwerte der Kovarianzen der Messgrößen zur Berücksichtigung ihrer stochastischen Abhängigkeiten	46	4.7.4 Calculation of the estimated values of the covariances of the measured variables in order to take account of their stochastic dependences.	46
5 Qualitätskontrolle und Verbesserung der Messwerte mittels Ausgleichsrechnung	51	5 Quality control and improvement of measured values by means of a correction calculation	51
5.1 Allgemeine Form des Gauß'schen Ausgleichsprinzips	51	5.1 General form of the Gaussian correction principle	51
5.2 Einführung der Nebenbedingungen	52	5.2 Introduction of the auxiliary conditions	52
5.3 Beurteilung der Qualität der erfassten Messwerte und Erkennen grober Fehler	55	5.3 Assessing the quality of the measured values obtained and detecting serious errors	55
5.4 Rechenvorschriften für den praktischen Einsatz.	57	5.4 Calculation instructions for practical application	57
5.5 Mehrfachmessung derselben Größe	63	5.5 Multiple measurement of the same variable	63

6 Beurteilung der Erfüllung einer Garantie . . .	63	6 Assessment of the fulfilment of a guarantee .	63
6.1 Allgemeine Wahrscheinlichkeits- betrachtung beim Garantievergleich unter Abnahmebedingungen	63	6.1 General probability assessment in connection with a comparison of guaranteed characteristics in acceptance conditions	63
6.2 Verwendung des vollständigen Ergebnisses für den Garantievergleich unter Abnahmebedingungen	65	6.2 Use of the complete result for the comparison of guaranteed characteristics in acceptance conditions	65
6.3 Spezielle Wahrscheinlichkeitsbetrachtung bei Garantievergleich mit festen Garantie- werten	66	6.3 Special probability assessment in connection with a comparison of guaranteed characteristics with fixed guaranteed values	66
6.3.1 Garantie eines festen Mindestwerts .	66	6.3.1 Guarantee of a fixed minimum value.	66
6.3.2 Garantie eines festen Höchstwerts. .	67	6.3.2 Guarantee of a fixed maximum value	67
6.4 Verwendung des vollständigen Ergebnisses für den Garantievergleich mit festen Garantiewerten.	68	6.4 Use of the complete result for the comparison of guaranteed characteristics with fixed guaranteed values.	68
6.5 Umrechnung auf Garantieverhältnisse . . .	68	6.5 Conversion to guarantee conditions	68
7 Messunsicherheit bei speziellen Abnahmemessungen	70	7 Measurement uncertainty in special acceptance measurements	70
7.1 Vergleichsmessungen zur Zustands- überprüfung	70	7.1 Comparison measurements for state analysis.	70
7.2 Messunsicherheit bei Abnahmemessungen nach Umbauten oder Teilerneuerungen von Maschinen und Anlagen	71	7.2 Measurement uncertainty of acceptance measurements after conversions or partial replacements of machines and plant.	71
7.3 Messunsicherheit von Differenzmessungen	72	7.3 Measurement uncertainty of differential measurements	72
8 Schrifttum	76	8 Bibliography	76
8.1 Normen und weitere Bestimmungen	76	8.1 Standards and guidelines.	76
8.2 Weitere Veröffentlichungen.	76	8.2 Publications	76
Anhang A Beispiel	77	Appendix A Example	77
Aufgabenstellung.	77	Objective	77
Mehrdimensionale Zufallsvariable.	78	Multi-dimensional random variable	78
Fehlerfortpflanzung	80	Propagation of error.	80
Aufstellen der Nebenbedingungen und deren Funktionalmatrix	80	Establishing the auxiliary conditions and their functional matrix	80
Qualitätskontrolle und Erkennen grober Fehler .	81	Quality control and detection of serious errors. .	81
Übergang zu ausgeglichenen und wider- spruchsfreien Schätzwerten	85	Transition to corrected and non-contradictory estimated values.	85
Ermittlung der Frischdampf- und der Zwischenüberhitzer-Massenflüsse aus den ausgeglichenen und widerspruchsfreien Schätzwerten \bar{x} für die weitere Verarbeitung . .	88	Determining the live steam and resuperheater mass flows from the corrected and non- contradictory estimated values \bar{x} for further processing	88
Schlussbemerkung	89	Final remarks.	89