ICS 27.100

VDI-RICHTLINIEN

Juli 2014
July 2014

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Ermittlung des Wirkungsgrads von konventionellen Kraftwerken

Determination of efficiencies of conventional power stations

VDI 3986

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Frühere Ausgabe: 10.00
Former edition: 10/00

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2014

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

Inhalt Seite

Vorbemerkung 4

1 Anwendungsbereich 4

2 Begriffe 5

3 Formelzeichen und Indizes 5

4 Definition der Wirkungsgrade 7
4.1 Allgemeines 7
4.2 Thermischer Wirkungsgrad 8
4.2.1 Allgemein 8
4.2.2 Dampfkraftprozess 8
4.2.3 Gas-und-Dampfturbinen-Prozess . . 9
4.3 Blockwirkungsgrad 11
4.3.1 Allgemein 11
4.3.2 Dampfkraftprozess 11
4.3.3 GuD-Prozess 12
4.4 Blockwirkungsgrad von Dampfkraftwerken mit Dampfentnahme 12
4.4.1 Allgemein 12
4.4.2 Heizdampf 13
4.4.3 Prozessdampf 15
4.5 Blockwirkungsgrad bei GuD-Prozessen mit Dampfentnahme 21
4.5.1 Heizdampfentnahme 21
4.5.2 Prozessdampfentnahme 23

5 Bezugszustände, Voraussetzungen, Versuchsbedingungen 25
5.1 Bezugszustände 25
5.1.1 Allgemeines 25
5.1.2 Heizwert, Brennwert 25
5.1.3 Dampfturbine 25
5.1.4 Gasturbine 26
5.1.5 Kühlturm 26
5.1.6 Phasenwinkel 26

Contents Page

Preliminary note 4

1 Scope 4

2 Terms and definitions 5

3 Symbols and indices 5

4 Definition of efficiency 7
4.1 General 7
4.2 Thermal efficiency 8
4.2.1 General 8
4.2.2 Steam power process 8
4.2.3 Gas/steam turbine process 9
4.3 Unit efficiency 11
4.3.1 General 11
4.3.2 Steam power process 11
4.3.3 Gas/steam turbine process 12
4.4 Unit efficiency steam power stations with for steam withdrawal 12
4.4.1 General 12
4.4.2 Heating steam 13
4.4.3 Process steam 15
4.5 Unit efficiency of gas/steam turbine processes for steam withdrawal 21
4.5.1 Heating steam withdrawal 21
4.5.2 Process steam withdrawal 23

5 Reference conditions, prerequisites, test conditions 25
5.1 Reference conditions 25
5.1.1 General 25
5.1.2 Inferior/superior calorific value . . . 25
5.1.3 Steam turbine 25
5.1.4 Gas turbine 26
5.1.5 Cooling tower 26
5.1.6 Phase angle 26

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
Fachbereich Energiewandlung und -anwendung

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

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2014

Seite

5.2 Voraussetzungen, Bedingungen, Schaltungen 27
5.2.1 Allgemein 27
5.2.2 Schaltung 27
5.2.3 Lastpunkt 27
5.2.4 Wirkungsgrad 27
5.2.5 Beharrungszustand, Versuchsbeginn 27
5.2.6 Istzustand 28
5.2.7 Elektrischer Eigenbedarf 28
5.2.8 Nettoleistung 28
5.2.9 Leistung des Generators 29
5.2.10 Heizwert/Brennwert. 30

6 Messungen zur Ermittlung des Wirkungsgrads 30
6.1 Thermischer Wirkungsgrad 30
6.1.1 Mechanische Leistung der Dampfturbine. 30
6.1.2 Mechanische Leistung der Gasturbine 31
6.1.3 Mechanische Leistung der Speisepumpe 31
6.1.4 Übertragener Wärmestrom 32
6.2 Blockwirkungsgrad 33
6.2.1 Brennstoffmassenstrom 33
6.2.2 Heizwert oder Brennwert. 33
6.2.3 Elektrische Leistung 33
6.3 Messverfahren und Messgeräte 34
6.3.1 Allgemeines 34
6.3.1.1 Messgeräte 34
6.3.1.2 Messaufbau 35
6.3.1.3 Messstellen. 35
6.3.2 Brennstoffmassenstrom 35
6.3.2.1 Gasförmige Brennstoffe, Brenngase 35
6.3.2.2 Flüssige Brennstoffe, Heizöl 36
6.3.2.3 Feste Brennstoffe 37
6.3.3 Heizwert 38
6.3.3.1 Heizwert der Brennstoffe . 38
6.3.3.2 Probenahme von Brennstoffen 39
6.3.4 Druck 39
6.3.4.1 Druckentnahmestelle. . . . 39
6.3.4.2 Druckmessgerät 39
6.3.4.3 Hinweise 40
6.3.5 Temperatur 40
6.3.5.1 Temperaturmessstelle im Wasser-/Dampfkreislauf . . 40
6.3.5.2 Temperaturmessstelle im Luft-/Rauchgasweg 40
6.3.5.3 Temperaturmessstelle im Kühlwasserkreislauf 41

Page

5.2 Prerequisites, conditions, circuit condition 27
5.2.1 General 27
5.2.2 Circuit condition 27
5.2.3 Load point 27
5.2.4 Efficiency 27
5.2.5 Stationary state, start of test 27
5.2.6 Actual condition 28
5.2.7 Auxiliary load 28
5.2.8 Net output 28
5.2.9 Generator output 29
5.2.10 Superior/inferior calorific value . . 30

6 Measurements to ascertain efficiency 30
6.1 Thermal efficiency 30
6.1.1 Mechanical output of the steam turbine 30
6.1.2 Mechanical output of the gas turbine 31
6.1.3 Mechanical input of the feed pump 31
6.1.4 Transferred heat flow 32
6.2 Unit efficiency 33
6.2.1 Fuel mass flow. 33
6.2.2 Superior or inferior calorific value . 33
6.2.3 Electrical output 33
6.3 Measuring procedures and measuring equipment 34
6.3.1 General 34
6.3.1.1 Measuring equipment. . . . 34
6.3.1.2 Measuring configuration . . 35
6.3.1.3 Measuring sites 35
6.3.2 Fuel mass flows 35
6.3.2.1 Gaseous fuels, burnable gas 35
6.3.2.2 Liquid fuels, fuel oil 36
6.3.2.3 Solid fuels. 37
6.3.3 Calorific value 38
6.3.3.1 Calorific value of the fuels . 38
6.3.3.2 Sampling fuels 39
6.3.4 Pressure 39
6.3.4.1 Pressure tap 39
6.3.4.2 Pressure measuring unit. . . 39
6.3.4.3 Remarks. 40
6.3.5 Temperature 40
6.3.5.1 Temperature measuring site in water/steam circuit 40
6.3.5.2 Temperature measuring site in air/flue gas lines 40
6.3.5.3 Temperature measuring site in the coolant circuit 41

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2014

Seite

6.3.5.4 Temperaturmessgeräte . . 41
6.3.5.5 Einsatz elektrischer Berührungsthermometer . 42
6.3.6 Massenstrom/Durchfluss 42
6.3.6.1 Allgemein 42
6.3.6.2 Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren . 43
6.3.6.3 Durchflussmessung im Kühlwasserkreislauf. . . . 45
6.3.6.4 Durchflussmessung in Luft- und Rauchgaskanälen . . . 46
6.3.7 Elektrische Leistung 46
6.3.7.1 Messung der elektrischen Leistung 46
6.3.7.2 Elektrische Messinstrumente 47
6.3.7.3 Messwandler 47
6.3.7.4 Anschlüsse für elektrische Messinstrumente 47
6.3.8 Drehmoment 48
6.3.9 Drehzahl 48
6.3.10 Füllstand 48
6.4 Messwerte 49
6.4.1 Messwertaufnahme 49
6.4.2 Zeitliche Mittelwertbildung 49

7 Umrechnung auf Bezugszustände 51
7.1 Allgemeines 51
7.2 Brennwert/Heizwert. 51
7.3 Dampfturbine 52
7.4 Gasturbine. 54

8 Messunsicherheiten 55

Schrifttum 59

Page

6.3.5.4 Temperature measuring equipment. 41
6.3.5.5 Use of electrical contact thermometers 42
6.3.6 Mass flow/flow rate 42
6.3.6.1 General 42
6.3.6.2 Flow measurement with the differential pressure procedure 43
6.3.6.3 Flow measurement in the cooling water circuit . . . 45
6.3.6.4 Flow measurement in air and flue gas ducts 46
6.3.7 Electrical output 46
6.3.7.1 Measuring electrical output 46
6.3.7.2 Electrical measuring instruments 47
6.3.7.3 Measuring transformers . 47
6.3.7.4 Connections for electrical measuring instruments . . 47
6.3.8 Torque 48
6.3.9 Velocity 48
6.3.10 Filling level 48
6.4 Measured values 49
6.4.1 Recording measured values 49
6.4.2 Taking the mean value in time . . . 49

7 Conversion to reference conditions 51
7.1 General 51
7.2 Superior/inferior calorific value 51
7.3 Steam turbine 52
7.4 Gas turbine 54

8 Measuring uncertainties. 55

Bibliography 59