

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

VERBAND DER  
ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK  
INFORMATIONSTECHNIK

Modellierung und Simulation  
von Kraftwerksblöcken

Grundlagen und Simulationsfälle

Modelling and simulation of power plants

Fundamentals and simulation cases

VDI/VDE 3524

Blatt 1 / Part 1

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 .....	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Formelzeichen und Abkürzungen .....</b>	<b>4</b>	<b>2 Symbols and abbreviations .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Simulation und Modellierung.....</b>	<b>5</b>	<b>3 Simulation and modelling.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Stabilität und Simulationsfälle.....</b>	<b>7</b>	<b>4 Stability and simulation cases.....</b>	<b>7</b>
4.1 Rotorwinkelstabilität.....	8	4.1 Rotor-angle stability .....	8
4.2 Ansprechen von Begrenzungseinrichtungen bei Netzspannungsänderung .....	13	4.2 Triggering of limitation equipment on changes in grid voltage.....	13
4.3 Netzfrequenzänderung .....	16	4.3 Grid frequency change.....	16
4.4 Abfangen auf einen Inselnetzbetrieb.....	17	4.4 Stabilization in island grid operation .....	17
4.5 Abfangen auf Eigenbedarf.....	19	4.5 Stabilization on load rejection to auxiliary power .....	19
4.6 Vorgaben für die Spannungsregelung.....	20	4.6 Specifications for voltage regulation .....	20
4.7 Eigenwertanalyse .....	22	4.7 Eigenvalue analysis .....	22
4.8 Weitere Untersuchungen.....	24	4.8 Further investigations .....	24
4.9 Übersicht der Simulationsfälle.....	28	4.9 Overview of simulation cases .....	28
Schrifttum .....	29	Bibliography .....	29

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Anwendungsfelder der Automation

VDI/VDE-Handbuch Automatisierungstechnik  
VDI-Handbuch Energietechnik

## 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](http://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 und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3524](http://www.vdi.de/3524).

## Einleitung

Diese Richtlinienreihe wurde vom Fachausschuss „Regelung von Synchronmaschinen und Transformatoren“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik erstellt, um die wesentlichen Festlegungen aus der bestehenden Normung zusammenzufassen und die Erfahrungen aus der Praxis für die Anwendung zur Verfügung zu stellen.

Blatt 1 gibt einen Überblick über die benötigte Modellstruktur und erläutert die relevanten Simulationenfälle. Abhängig von den simulativen Untersuchungen sind die zugehörigen Modelle aufzubauen. Die einzelnen Modellkomponenten sind in den jeweiligen Blättern dieser Richtlinienreihe detailliert beschrieben. Der Anwender der Richtlinie sei bei Bedarf auf die entsprechenden Blätter verwiesen.

In Blatt 2 wird das mechanische System mit der zugehörigen Regelung beschrieben. Das mechanische System nutzt die Energie eines Energieträgers, um den eigentlichen Kraftwerksgenerator anzutreiben. Hier finden sich Modelle von Dampfturbinen, Gasturbinen, Kombi-Kraftwerken mit ihren zugehörigen Regelungseinrichtungen.

Der Kraftwerksgenerator mit seiner Erregereinrichtung ist Gegenstand von Blatt 3. Hier werden auch der Transformator, der Eigenbedarf und das Netz zur Übertragung, zur Verteilung und zum Verbrauch der elektrischen Energie beschrieben.

Der zunehmenden Bedeutung weiterer Erzeugungsanlagen wird in Blatt 4 Rechnung getragen. Wasserkraft-, Windkraft-, Fotovoltaik- und weitere Erzeugungsanlagen werden dort behandelt.

Bei der Beschreibung der Modelle werden auch die Thematik der Gültigkeit und Möglichkeiten zur

## 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](http://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 and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/3524](http://www.vdi.de/3524).

## Introduction

This series of standards was prepared by the Technical Committee “Control of synchronous machines and transformers” of the VDI/VDE Society Measurement and Automatic Control to summarize the key specifications from the existing standards and to provide results from practice for implementation.

Part 1 provides an overview of the required model structure and explains the relevant simulation cases. The associated models shall be constructed based on the simulation investigations. The individual model components are described in detail in the respective parts of this series of standards. The users of the standard shall be referred to the corresponding parts if necessary.

The mechanical system with the associated control is described in Part 2. The mechanical system uses the energy of a source to drive the actual power plant generator. Models of steam turbines, gas turbines and combined-cycle power plants are given here with their associated control systems.

The power plant generator with its excitation system is the subject of Part 3. The transformer, the auxiliary power system and the grid for transmission, distribution and consumption of the electrical energy are also described here.

The increasing importance of further power generation systems is accounted for in Part 4. Hydropower, wind power, photovoltaic and other power generation systems are covered there.

The topics of validity and validation possibilities are also discussed in the description of the models.

Validierung diskutiert. Beispielhafte Verläufe sollen den Anwendern der Richtlinie anschauliche Unterstützung bieten.

## 1 Anwendungsbereich

Es existieren verschiedene Richtlinien, die einzelne Komponenten detailliert beschreiben, jedoch keine Gesamtübersicht über die Modellierung von Kraftwerksblöcken und interessierende Simulationsfälle aus Sicht des Kraftwerks und des Netzes geben können. VDI/VDE 3524 Blatt 1 verschafft einen Gesamtüberblick über die benötigten Modelle, ihre Gültigkeit und relevante Simulationsfälle. Der Schwerpunkt wird in Erzeugungsanlagen gesehen, die in das Übertragungsnetz einspeisen.

Für den sicheren und zuverlässigen Betrieb von Kraftwerksblöcken am Netz sind vielfältige Regelanrichtungen notwendig. Viele Funktionen treten dabei im Normalbetrieb nicht in den Vordergrund, gleichwohl sind die korrekte Einstellung und ein entsprechender Nachweis sowohl aus Sicht des Kraftwerks als auch aus Sicht des Netzbetreibers von großer Bedeutung. Dies ist im Betrieb der Anlagen nur bedingt möglich, sodass Simulationen unabdingbar sind, um Nachweise zu liefern bzw. geeignete Einstellungen zu finden. Daher sind Simulationsmodelle aufzustellen, mit denen das Verhalten eines Kraftwerksblocks am Netz unter den verschiedensten Bedingungen untersucht werden kann.

Zweck dieser Richtlinie ist es,

- die dafür benötigten Modelle zu beschreiben,
- eine Hilfestellung bei der Modellerstellung und Modellvalidierung zu geben sowie
- die relevanten Simulationsfälle zu erläutern.

Diese Richtlinie soll sowohl die Betreiber von Übertragungsnetzen als auch die Betreiber und Hersteller von Kraftwerken mit zugehöriger Leittechnik bei ihrer Arbeit unterstützen und den gegenseitigen Austausch fördern. Sie soll dabei helfen, die Vergleichbarkeit von Simulationsstudien zu erhöhen. Außer zur Dokumentation des aktuellen Stands der Technik kann sie auch bei der Einarbeitung und beim Training neuer Mitarbeiter in dieser komplexen Thematik nützlich sein.

Für viele Simulationsfälle liegt das Hauptaugenmerk zwar auf der Spannungsregelung, oft ist jedoch auch die Turbinenregelung zu berücksichtigen. Daher werden in dieser Richtlinie sowohl Modelle für die Spannungsregelung mit ihren Zusatzfunktionen (wie Pendeldämpfungs- und Begrenzungsfunktionen, der Generator und gegebenenfalls die Erregermaschine, der Transformator und Netzmodelle) als auch Modelle für Turbinen mit Ventilen und

Example curves are intended to provide visual support for the users of the standard.

## 1 Scope

There are various standards describing individual components in detail, but these cannot provide a general overview of the modelling of power plant units or interesting simulation cases from the perspective of the power plant and the grid. VDI/VDE 3524 Part 1 provides a general overview of the required models, their validity and relevant simulation cases. The focus is on power generation systems that supply power to the transmission grid.

A wide variety of control systems are necessary for the safe and reliable operation of power plant units on the grid. Many functions remain in the background in normal operation, but their correct setting and corresponding verification are highly important from the perspective of both the power plant as well as the grid operator. This is only possible to a limited extent during plant operation, with the result that simulations are essential for providing verifications or determining suitable settings. Simulation models shall therefore be established with which the behaviour of a power-plant unit connected to the grid can be investigated under a wide range of conditions.

The purpose of this standard is

- to describe the requisite models,
- to serve as a tool in model creation and model validation, as well as
- to explain the relevant simulation cases.

This standard is intended to support both the operators of transmission grids as well as the operators and manufacturers of power plants with the associated instrumentation and control in their work and to promote a mutual exchange of information. It is intended to help improve the comparability of simulation studies. In addition to documentation of the current state of the art, it can also be beneficial in the integration and training of new employees in this complex subject matter.

For many simulation cases, although emphasis is on voltage regulation, often turbine control must also be accounted for. This standard therefore lists both models for voltage regulation with their additional functions (such as power system stabilization and limitation functions, the generator and if necessary the exciter, the transformer and grid models) as well as models for turbines with valves and controllers. Because of the increasing importance of further

Reglern aufgeführt. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung weiterer Erzeugungseinrichtungen, z.B. Windkraftanlagen, wird darauf ebenfalls in einem eigenen Blatt eingegangen.

Diese Richtlinie beschreibt, welche Modellteile für welchen Simulationsfall zu verwenden sind, und diskutiert die Möglichkeiten der Modellvalidierung und den Gültigkeitsbereich der Modelle. Beispielhaft angegebene Simulationsergebnisse verdeutlichen die komplexen Zusammenhänge.

In einzelnen Gebieten sind weitere Gremien (CIGRE, IEEE, VDI/VDE) aktiv, die Richtlinien herausgeben. In den entsprechenden Abschnitten finden sich Hinweise und Verweise auf die dort beschriebenen Modelle.

power generation systems, such as wind farms, these are also discussed in a separate part.

This standard describes which model parts are to be used for which simulation case and discusses the possibilities for model validation and the scope of validity of the models. The complex relationships are explained with simulation results given as examples.

Additional committees (CIGRE, IEEE, VDI/VDE) are active in issuing the standards in individual areas. Notes and references to the models described there are given in the corresponding sections.