

Lerch Elektrische Messtechnik

Analoge, digitale und
computergestützte Verfahren



6. Auflage

 Springer Vieweg

Springer-Lehrbuch

Reinhard Lerch

Elektrische Messtechnik

Analoge, digitale
und computergestützte Verfahren

6., neu bearbeitete Auflage

Mit 552 Abbildungen und 65 Tabellen
sowie DVD

 Springer Vieweg

Professor Dr.-Ing. Reinhard Lerch
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Sensorik
Paul-Gordan-Str. 3/5
D-91052 Erlangen
reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Extras im Web unter www.springer.com/978-3-642-22608-3

ISSN 0937-7433

ISBN 978-3-642-22608-3

ISBN 978-3-642-22609-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-22609-0

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996, 2005, 2006, 2007, 2010, 2012

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.springer-vieweg.de

Vorwort zur sechsten Auflage

Dank der regen Nachfrage kann bereits knapp zwei Jahre nach dem Erscheinen der letzten Auflage nunmehr die 6. Auflage dieses Werkes erscheinen. Neben allfälligen Korrekturen kleiner Fehler und Aktualisierungen auf dem Gebiet Computerunterstützte Messdatenerfassung wurde bei der Neuaufbereitung ein umfangreicher Abschnitt zum Thema Energiemeter hinzugenommen. In diesem Abschnitt (Kap. 11.10) werden die technischen Aspekte der modernen Leistungs- bzw. Energiemessung ausführlich diskutiert. Einen wesentlichen Teil nimmt dabei die Besprechung von integrierten Schaltkreisen ein, die der Messung elektrischer Leistung und Energie im elektrischen Energieversorgungsnetz dienen. Diese integrierten Schaltkreise bilden ja auch das Herzstück von neuartigen Energiemetern, den sog. Smart Metern, also elektronischen Energiezählern, die leicht in moderne IT-Infrastrukturen eingebunden werden können. Somit sind sie auch im Hinblick auf Energieeinsparung sowie die Kanalisierung und Steuerung von Energieflüssen im Zuge der dezentralen elektrischen Energieversorgung unersetzlich geworden. Die Smart Meters sind notwendig, um die derzeit in Diskussion bzw. Planung befindliche Smart-Grid-Technologie des elektrischen Energieversorgungsnetzes zu realisieren.

Darüberhinaus werden auch die Verfahren vorgestellt, mit denen Leistungen bzw. Energien von Mikrowellenkomponenten gemessen werden, wie z. B. Leistungssensoren für den GHz-Bereich. In diesem Zusammenhang werden die Hochfrequenz-Leistungsmessungen unter Verwendung von thermoelektrischen Umformern und Bolometern besprochen. Desweiteren werden Leistungsmeßköpfe auf der Basis von kaskadierten logarithmischen Verstärkern behandelt sowie solche, die mit Diodengleichrichtern arbeiten.

Bei all diesen Arbeiten konnte ich wieder auf das bewährte Team meines Lehrstuhls vertrauen. Mein besonderer Dank gilt Frau Bettina Melberg und Frau Cornelia Salley-Sippel für ihre Unterstützung bei der Erstellung des Layouts sowie den Herren Dipl.-Ing. Thorsten Albach, Dipl.-Ing. Dominik Gedeon, Dr. techn. Stefan J. Rupitsch, Dr.-Ing. Alexander Sutor und Michael Günther für Ihre tatkräftige Mithilfe bei der inhaltlichen Gestaltung des Manuskriptes. Für die Unterstützung bei der technischen Erstellung des Werkes

VI

sowie beim Marketing gebührt Frau Hestermann-Beyerle und Frau Kollmar-Thoni vom Springer-Verlag Heidelberg mein Dank.

Abschließend darf ich mich bei allen Lesern bedanken, die dieses Werk erwerben, und darf Ihnen große Freude beim Lesen wünschen.

email: reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Erlangen, im Sommer 2012

Reinhard Lerch

Vorwort zur fünften Auflage

Für die 5. Auflage dieses Buches sind wichtige inhaltliche Erweiterungen vorgenommen worden. So wurde beispielsweise im Kapitel *Messverstärker* ein Abschnitt über Operationsverstärker mit differentiellem Ausgang hinzugefügt und im Kapitel *Analoges Messen elektrischer Größen* ein Abschnitt über Strommeßzangen neu aufgenommen. Außerdem wurden dort die Operationsverstärker-Datentabellen aktualisiert. Da insbesondere die Hard- und Software zur Messdatenerfassung und Laborautomation kontinuierlicher Innovation unterliegen, wurden die entsprechenden Kapitel auf den neuesten Stand der Technik gebracht, so zum Beispiel auch der Abschnitt über PXI-Systeme, welche in letzter Zeit immer mehr an Bedeutung gewinnen. Auch der Abschnitt über Analog-Digital-Umsetzer wurde aktualisiert. Das Angebot an Software, Rechenbeispielen und sonstigen Übungsaufgaben, die sich auf der beiliegenden DVD befinden, wurde ergänzt und ebenfalls auf den neuesten Stand gebracht. Weiterhin wurden alle Kapitel im Hinblick auf Inkompabilitäten in der Schreibweise von Formeln und Formelzeichen überprüft und bestehende Abweichungen korrigiert.

Bei all diesen Arbeiten konnte ich wieder auf das bewährte Team meines Lehrstuhls vertrauen. Mein besonderer Dank gilt Frau B. Melberg und Frau C. Salley-Sippel sowie den Herren Dipl.-Ing. Th. Albach, Dr. techn. S. J. Rupitsch, Dr.-Ing. A. Sutor und M. Günther für Ihre tatkräftige Mithilfe. Für die Unterstützung bei der technischen Erstellung des Werkes sowie beim Marketing gebührt Frau Hestermann-Beyerle und Frau Kollmar-Thoni vom Springer-Verlag Heidelberg mein Dank.

Abschließend darf ich mich bei allen Lesern bedanken, die dieses Werk kaufen, und darf Ihnen große Freude beim Lesen wünschen.

email: reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Vorwort zur vierten Auflage

Zunächst einmal gilt mein besonders herzlicher Dank all denjenigen Lesern, die im letzten Jahr dieses Buch käuflich erworben haben. Denn dank ihnen ist es möglich geworden, schon ein Jahr nach Erscheinen der letzten Auflage die nunmehr 4. Edition dieses Werkes herauszugeben. Dadurch ist es in relativ kurzer Frist gelungen, neben anstehenden kleineren Korrekturen wesentliche Erweiterungen bzw. Verbesserungen am Text und der beiliegenden DVD vorzunehmen. Viele der Vorschläge dazu stammen von Fachkollegen an Universitäten und Fachhochschulen. In diesem Zusammenhang gebührt meinen Kollegen aus dem Kreise des AHMT (Arbeitskreis der Hochschullehrer Meßtechnik; www.ahmt.de) mein besonderer Dank. Denn vor allem von ihnen kamen konstruktive Vorschläge, das vorliegende Werk in Richtung *Meßsignalverarbeitung*, *Korrelationsmeßtechnik*, *Regressions-* und *Test-Verfahren* auszubauen. Für diese sehr wertvollen Hinweise und Anmerkungen bei der Evaluierung der letzten Auflage möchte ich an dieser Stelle nochmals meinen besonderen Dank aussprechen.

Desweiteren sind die Übungs- und Demonstrationsbeispiele auf beiliegender DVD in großem Umfang, insbesondere für die eben genannten Kapitel, ausgebaut worden. Diese basieren im wesentlichen auf dem Programm LabVIEW (National Instruments), das auch bei dieser Auflage auf der DVD in seiner neuesten Version (Studentenversion) vorliegt. Mit Hilfe der auf der DVD enthaltenen Übungen, Programmier- und Demonstrationsbeispielen ist es möglich, daß der Leser sein mit dem Studium des Werkes erworbenes Wissen unmittelbar auf praktische ingenieurmäßige Problemstellungen anwendet. Das dieses Lehrbuch begleitende Übungsbuch "Elektrische Messtechnik - Übungsbuch" rundet die Übungsmöglichkeiten in den Bereichen ab, für die Computerübungen weniger geeignet sind als Rechnungen mit Papier und Bleistift. Für die entsprechende Unterstützung beim Erstellen der DVD und die gewinnbringende Kooperation mit der Firma National Instruments möchte ich mich vor allem bei den Herren Marc Backmeyer und Dipl.-Ing. Rahman Jamal bedanken.

Mein vorrangiger Dank gilt aber vor allem meinem Team des Lehrstuhls für Sensorik, das durch seinen unermüdlichen Einsatz in der letzten Zeit die schnelle Erstellung dieser 4. Auflage ermöglicht hat. Hier sind vor allem zu nennen: Herr Dipl.-Ing. Thorsten Albach, Frau Bettina Melberg, Frau Cornelia Salley-Sippel, Herr Dr.-Ing. Alexander Sutor.

Nicht zuletzt darf ich auch die wiederum exzellente Zusammenarbeit mit dem herausgebenden Verlag und seinen Mitarbeitern, vor allem Frau Eva Hestermann-Beyerle und Frau Monika Lempe, hervorheben.

email: reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Erlangen, im Sommer 2007

Reinhard Lerch

Vorwort zur dritten Auflage

Dank der recht großen Beliebtheit dieses Buches ist es möglich, bereits zwei Jahre nach Erscheinen der letzten Auflage nunmehr die 3. Auflage dieses Werkes vorstellen zu können.

Gegenüber der 2. Auflage wurden vor allem die Kapitel zur Rechnergestützten Meßdatenerfassung dem allerneuesten Stand der Technik angepaßt. So wird der jüngst eingeführte LXI-Standard zur Vernetzung von Meßgeräten ebenso behandelt wie die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS), der Digitaloszilloskope, der USB-Meßmodule sowie moderne Source Measuring Units. Damit ist dieser Block auf nunmehr 200 Seiten bzw. ein Drittel des Gesamtwerkes angewachsen.

Das Kapitel „Elektromechanische Meßgeräte“ (Kapitel 6.1) wurde beibehalten trotz der Tatsache, daß es sich dabei um eine in ihrer Bedeutung zurückgehende Meßgeräteklasse handelt. Dennoch halte ich diesen Abschnitt für äußerst wertvoll für Studierende des Faches Sensorik bzw. für das gesamte Gebiet der Mechatronik, da man anhand der Funktionsprinzipien für elektromechanische Meßgeräte sehr schön die Interaktionen zwischen mechanischen und elektromagnetischen Feldern lernen kann. Demzufolge sind die hier behandelten elektromechanischen Grundprinzipien und Gesetzmäßigkeiten (z. B. die Lorentzkraft oder die Wirbelstromdämpfung) insbesondere für das Verständnis von modernen elektromechanischen Sensoren und Aktoren wichtig.

An dieser Stelle gilt es auch, zunächst einmal all denjenigen herzlich zu danken, die mich in den beiden letzten Jahren auf Fehler bzw. unklare Darstellungen in der 2. Auflage aufmerksam gemacht haben. Meistens handelte es sich dabei um Studierende der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg oder auch um Studierende anderer Universitäten und Fachhochschulen, die sich auf Prüfungen in ingenieurwissenschaftlichen Fächern vorbereitet haben. Alle berechtigten Einwände und Hinweise wurden in der vorliegenden Auflage berücksichtigt.

Bei der Erweiterung des Buches haben mich die Mitarbeiter des Lehrstuhls für Sensorik der Universität Erlangen-Nürnberg wiederum mit großem

Einsatz unterstützt. In allererster Linie bin ich unserem akadem. Rat, Herrn Dr.-Ing. Alexander Sutor, ebenso wie Herrn Dipl.-Ing. Martin Meiler, Herrn Dipl.-Ing. Erich Leder sowie dem Leiter unserer Elektronikwerkstatt, Herrn Michael Günther, für ihre Beiträge zu diesem Werk zu großem Dank verpflichtet. Für ihren unermüdlichen Einsatz bei der elektronischen Fertigstellung des kamerafertigen Manuskriptes samt aller darin enthaltenen, teilweise diffizilen Grafiken gilt mein besonders herzlicher Dank wiederum Frau Cornelia Salley-Sippel und Frau Bettina Melberg.

Bedanken möchte ich mich auch bei den beiden verantwortlichen Mitarbeiterinnen des Springer-Verlages, Frau Eva Hestermann-Beyerle und Frau Monika Lempe, für die hervorragende Unterstützung und exzellente Zusammenarbeit.

Diesem Buch liegt eine CD-ROM mit Übungsaufgaben zur Rechnergestützten Meßdatenerfassung in NI LabVIEW[®] sowie zur Programmierung von Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) mit CoDeSys[®] bei. Dabei gibt es Programmieraufgaben, deren Lösung via Internet auf eine am Lehrstuhl für Sensorik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) aufgebaute Speicherprogrammierbare Steuerung heruntergeladen werden können. Anhand helligkeitsgesteuerter Lampen und LEDs läßt sich mittels einer WebCam die erfolgreiche Programmierung dieser SPS beobachten.



Das oben gezeigte Icon weist an entsprechenden Stellen des Buches auf thematisch passende Übungsaufgaben auf der CD-ROM hin. Weitere Übungsbeispiele und Hinweise findet man unter

www.lse.e-technik.uni-erlangen.de/elektrische_messtechnik

email: reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Erlangen, im Sommer 2006

Reinhard Lerch

Vorwort zur zweiten Auflage

Die zweite Auflage trägt insbesondere den aktuellen Entwicklungen im Bereich *Computerunterstützte Meßdatenerfassung* Rechnung. Daher sind die entsprechenden Kapitel in der zweiten Auflage stark angewachsen und nehmen nunmehr über ein Drittel des Gesamtumfanges ein. Infolgedessen können alle wesentlichen Hard- und Software-Komponenten der modernen rechnergestützten Meßdatenerfassung behandelt werden. So werden beispielsweise die weltweite Vernetzung von Meßdaten- und Prozeßrechnern wie auch die Meßdatenerfassung unter Zuhilfenahme von *Virtual Private Networks* besprochen.

Die zweite Auflage wurde ebenfalls erweitert auf dem Gebiet der Ausgleichsvorgänge in elektrischen Netzwerken, was der detaillierten Erläuterung der dynamischen Meßfehler und ihrer Korrekturmöglichkeiten zugute kommt. Auch die Analyse und Messung von nichtlinearen Bauelementen wurde in den Stoff aufgenommen.

Bei der Erweiterung des Buches haben mich die Mitarbeiter des Lehrstuhls für Sensorik der Universität Erlangen-Nürnberg mit großem Engagement unterstützt. In allererster Linie bin ich Herrn Dr.-Ing. Alexander Sutor und Herrn Dipl.-Ing. Martin Meiler für ihre fachlichen Beiträge zu diesem Werk zu großem Dank verpflichtet. Für ihren unermüdlichen Einsatz bei der Erstellung des Manuskriptes und der Grafiken gilt Frau Cornelia Salley-Sippel und Frau Bettina Melberg mein besonderer Dank. An der Korrekturlesung des Werkes waren alle Mitarbeiter des Lehrstuhls sowie Herr Dr.-Ing. Günter Pretzl vom Lehrstuhl für Technische Elektronik und meine Ehefrau Elke beteiligt. Auch ihnen sei an dieser Stelle dafür herzlich gedankt. Dank gilt auch den Mitarbeitern des Springer-Verlages für die hervorragende Kooperation, insbesondere Frau Eva Hestermann-Beyerle und Frau Monika Lempe.

email: reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Vorwort zur ersten Auflage

Die in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts erfolgten innovativen Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektrotechnik haben für die Elektrische Meßtechnik eine Vielzahl neuer Verfahren und Meßschaltungen mit sich gebracht. So basiert die Messung elektrischer und nicht-elektrischer Größen heute vorwiegend auf Schaltungen, die erst durch in jüngster Vergangenheit entwickelte elektronische Halbleiterbauelemente und integrierte Schaltkreise, wie beispielsweise Operationsverstärker, digitale Grundschaltungen und Analog-Digital- bzw. Digital-Analog-Umsetzer, ermöglicht wurden. Die Nutzung dieser modernen Elektronik und die enormen Fortschritte auf dem Gebiet der Digitalrechner haben zu einer sehr engen Verflechtung von Elektrischer Meßtechnik und Computertechnik bzw. Informatik geführt. Dies zeigt sich unter anderem in der Tatsache, daß die heutige Meßdatenerfassung und Meßsignalverarbeitung zunehmend auf Digitalrechner oder digitale Signalprozessoren verlagert werden und zum Teil in Software implementiert sind. Nachdem in den letzten Jahren eine Vielzahl von leistungsfähigen Sensoren zur Detektion nicht-elektrischer Meßgrößen entwickelt wurde, verstärkt sich der Trend, daß viele nicht-elektrotechnische Wissenschaftszweige, wie z. B. der Maschinenbau und die Verfahrenstechnik, ihre meßtechnischen Probleme mit rein elektrotechnischen bzw. informationstechnischen Mitteln lösen.

Es wurde versucht, dieser Entwicklung mit der Struktur des vorliegenden Werkes Rechnung zu tragen, ohne die klassischen Grundlagen zu vernachlässigen. So werden nach einem einführenden Kapitel über *Meßfehler*, die konventionellen *elektromechanischen Meßwerke* besprochen, welche zwar zunehmend von digitalen Meßgeräten abgelöst werden, deren grundlegende Wandlungsmechanismen aber für das Gebiet der elektromechanischen Meßwertaufnehmer (Sensoren) von großer Bedeutung sind. Nach den Abschnitten zur *Messung von elektrischer Spannung*, *elektrischem Strom* und *elektrischer Impedanz* folgen als thematische Schwerpunkte die Methoden und Verfahren sowie die daraus resultierenden elektronischen Schaltungen der modernen Elektrischen Meßtechnik. Diese werden in den Kapiteln *Operationsverstärker*, *Darstellung elektrischer Signale*, *Digitale Meßtechnik*, *Messung von Frequenz*

und Zeit sowie Meßsignalverarbeitung und Rechnergestützte Meßdatenerfassung behandelt.

Die in diesem Buch angesprochenen Themen und Fragestellungen decken den Stoff einer einführenden Vorlesung *Elektrische Meßtechnik* ab. Darüberhinaus ist die Thematik einer weiterführenden Vorlesung *Rechnergestützte Meßdatenverarbeitung und Meßsignalverarbeitung* enthalten, die als Wahlvorlesung für Studenten höherer Semester Bestandteil des an der Johannes Kepler Universität Linz im Jahre 1990 eingerichteten Diplomingenieurstudienganges *Mechatronik* ist. Das Buch wendet sich jedoch nicht nur an Studenten der Fachrichtungen Elektrotechnik, Mechatronik, Maschinenbau, Informationstechnik, Physik und Chemie sondern auch an die bereits auf dem Gebiet der Meßtechnik praktisch tätigen Ingenieure und Naturwissenschaftler, die ihr Wissen über Meßtechnik auffrischen bzw. vertiefen wollen. Mit dem vorliegenden Werk sollen sowohl Kenntnisse über die bei der Messung elektrischer Größen eingesetzten Standardverfahren vermittelt als auch der neueste Stand der zur modernen Elektrischen Meßtechnik zählenden computergestützten Meßdatenerfassung und Meßsignalverarbeitung beschrieben werden.

Das Buch ist in Verbindung mit dem Begleitwerk „Übungen zur Elektrischen Meßtechnik“ (R. Lerch; M. Kaltenbacher; F. Lindinger: *Übungen zur Elektrischen Meßtechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1996) zum Selbststudium geeignet. In diesem Übungsbuch werden neben kurzen Repetitorien zahlreiche praktische Aufgaben und weiterführende Beispiele zu dem gesamten im Lehrbuch behandelten Stoff angeboten. Für das Verständnis des in den beiden genannten Werken dargebotenen Stoffes werden lediglich Grundkenntnisse auf den Gebieten Elektrotechnik, Mathematik sowie Schaltungstechnik erwartet.

Bei der Ausarbeitung des Manuskriptes habe ich viele Anregungen und wesentliche Unterstützung von allen am Institut für Elektrische Meßtechnik der Universität Linz tätigen Mitarbeitern erfahren. In allererster Linie bin ich Herrn Dipl.-Ing. Manfred Kaltenbacher und Herrn Dipl.-Ing. Franz Lindinger für ihre wesentlichen fachlichen Beiträge zu diesem Werk sowie ihren unermüdlichen Einsatz im Zusammenhang mit der Erstellung des Manuskriptes zu größtem Dank verpflichtet. Die wahrlich nicht immer einfachen Aufgaben des computergerechten Textschreibens sowie der Anfertigung von Abbildungen lagen in den Händen von Frau Waltraud Kratzer, die die immer wieder anstehenden Texterweiterungen und Änderungen der Abbildungen mit großem Engagement und Sachverstand vorgenommen hat. Ihr gebührt mein herzlichster Dank, ebenso wie Frau Sylvia Preßl, die ebenfalls viele der Grafiken angefertigt hat, wie auch Frau Ingrid Hagelmüller, die für die Texteingabe sowie die Erstellung der Abbildungen der ersten Manuskriptversion verantwortlich war. All denjenigen, die an der Korrekturlesung dieses Werkes beteiligt waren und Verbesserungsvorschläge eingebracht haben, d. h. meinen Kollegen, meinen Assistenten, insbesondere den Herren Dipl.-Ing. Todor Sheljaskov und Dipl.-Ing. Roland Exler, den Linzer Mechatronik-Studenten sowie meiner Ehefrau

Elke, möchte ich ebenfalls meinen herzlichen Dank für ihren großen Einsatz aussprechen.

Mein Dank gilt auch dem Springer-Verlag, insbesondere Herrn Dr. Hubertus Riedesel, der die Anregung zur Abfassung des vorliegenden Werkes gab, sowie seinen Mitarbeiterinnen Frau Marianne Ozimkowski und Frau Gaby Maas für ihre Unterstützung bei der Erstellung des kamerafertigen Manuskriptes. Allen eben genannten Personen möchte ich auch danken für ihr Verständnis und ihre Geduld bei der mehrmals verzögerten Abgabe des Manuskriptes.

Da es erwartungsgemäß auch bei noch so sorgfältiger Bearbeitung des Textes nicht möglich sein dürfte, die Erstauflage eines solchen Buches fehlerfrei zu halten, möchte ich mich schon vorab bei allen Lesern für diese Fehler entschuldigen und sie ermutigen, von ihnen eventuell entdeckte Fehler an die folgende Adresse mitzuteilen:

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Lerch
Institut für Elektrische Meßtechnik
Johannes Kepler Universität Linz
Altenberger Straße 69
A-4040 Linz
email: R.Lerch@jk.uni-linz.ac.at

Linz, im Januar 1996

Reinhard Lerch