

Guido Eckardt

## **Optimierung und Validierung einer Methode zur Bestimmung von Zearalenon und seinen Metaboliten im Gallensaft von Schweinen mittels LC/MS-MS**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2008 Diplom.de  
ISBN: 9783842800526

**Guido Eckardt**

**Optimierung und Validierung einer Methode zur  
Bestimmung von Zearalenon und seinen Metaboliten  
im Gallensaft von Schweinen mittels LC/MS-MS**



Guido Eckardt

## **Optimierung und Validierung einer Methode zur Bestimmung von Zearalenon und seinen Metaboliten im Gallensaft von Schweinen mittels LC/MS-MS**

Yingnan Wang

**Computersimulation und rechnergestützte Systemanalyse der leistungselektronischen Komponenten**

Multimediale Gestaltung von Arbeitsmaterialien mit dem Schwerpunkt Lehrveranstaltung  
Leistungselektronik

ISBN: 978-3-8366-4952-0

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2010

Zugl. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, Deutschland,  
Diplomarbeit, 2005

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

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.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

© Diplomica Verlag GmbH

<http://www.diplomica.de>, Hamburg 2010

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>II</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABELLEVERZEICHNIS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTE DER VERWENDETEN FORMELZEICHEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 EINFÜHRUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 ALLGEMEINE ZIELSTELLUNG .....	1
1.2 AUFGABEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK [1] [4] .....	1
1.3 PROGRAMME <i>SIMPLORER</i> <sup>®</sup> .....	3
1.4 PROGRAMME <i>MATHCAD</i> <sup>®</sup> .....	5
<b>2 GRUNDLAGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK</b> .....	<b>6</b>
2.1 SCHALTUNGSELEMENTE [6] [7] .....	6
2.1.1 <i>Ideale Ventile</i> .....	6
2.1.2 <i>Mechanische Schalter</i> .....	7
2.1.3 <i>Halbleiterschalter</i> .....	8
2.2 SCHALTVORGÄNGE VON WECHSELSTRÖMEN .....	10
2.2.1 <i>Einschalten einer RL-Reihenschaltung</i> .....	11
2.2.2 <i>Einschalten eines Reihenschwingkreises</i> .....	14
2.3 KOMMUTIERUNG UND STROMÜBERGANG [6] .....	16
2.3.1 <i>Funktionsprinzip</i> .....	16
2.3.2 <i>Natürliche Kommutierung</i> .....	19
2.3.3 <i>Zwangskommutierung</i> .....	20
<b>3 SIMULATION UND MODELLANALYSE</b> .....	<b>26</b>
3.1 STRATEGIEN DER MODELLBILDUNG [7] .....	26
3.2 NETZGELÖSCHTER STROMRICHTER [12] [3] .....	27
3.2.1 <i>Drehstrombrückenschaltung - B6</i> .....	28
3.2.2 <i>Zwölfpuls-Brückenschaltung</i> .....	35
3.3 DIREKTUMRICHTER .....	38
3.4.1 <i>Trapezansteuerung</i> .....	39
3.4.2 <i>Sinusansteuerung</i> .....	41
3.4.3 <i>Matrixumrichter</i> [9] [16].....	43
3.4 SELBSTGELÖSCHTER STROMRICHTER .....	56
3.4.1 <i>Zweistufige Stromrichter mit Spannungszwischenkreis</i> [5] [13]] .....	56
3.4.2 <i>Dreistufige Stromrichter mit Spannungszwischenkreis</i> [5] [3].....	70
3.4.3 <i>Stromzwischenkreis-Stromrichter</i> [15].....	76

<b>4 NEBENWIRKUNGEN DES STROMRICHTERS .....</b>	<b>85</b>
4.1 EIGENSCHAFTEN MODULIRTER SIGNALE – PWM [10] [14].....	86
4.2 STÖRUNG UND ENTSTÖRUNG VON IGBT-UMRICHTER [14] .....	95
4.2.1 <i>Gegentaktstörungen</i> .....	95
4.2.2 <i>Gleichtaktstörungen</i> .....	98
4.3 DER EINSATZ VON FREILAUFDIODEN [18].....	102
4.3.1 <i>Eine Freilaufdiode am Stromrichterausgang</i> .....	102
4.3.2 <i>Zwei Freilaufdioden zum Sternpunkt</i> .....	104
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>107</b>
<b>ANHANG.....</b>	<b>109</b>
A.1 MATHEMATISCHE RECHNUNG VOM RAUMZEIGER [5] .....	109
A.2 VERGLEICH VON VERSCHIEDENEN SIMULATIONSPROGRAMMEN [11] .....	114
A.3 EIN- UND AUSSCHALTZEITEN VON RAUMZEIGERMODULATION [13].....	116
 <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	 <b>121</b>

# Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1-1: ÜBERSICHT DES GLIEDS ZWISCHEN DEM ENERGIEERZEUGER UND DEM ENERGIEVERBRAUCHER .....	2
ABBILDUNG 1-2: GRUNDFUNKTIONEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK .....	2
ABBILDUNG 2-1: SCHALTBILD EINER RL-REIHENSCHALTUNG .....	11
ABBILDUNG 2-2: RL-REIHENSCHALTUNGSSPRUNGSANTWORT MIT WECHSELSPANNUNG .....	12
ABBILDUNG 2-3: STROM NACH EINSCHALTEN MIT MAXIMALEM ÜBERSCHWINGEN .....	13
ABBILDUNG 2-4: STROM NACH EINSCHALTEN OHNE ÜBERSCHWINGEN .....	13
ABBILDUNG 2-5: SCHALTBILD R-L-C-REIHENSCHWINGKREIS .....	14
ABBILDUNG 2-6: EINSCHALTVOORGANG EINER SINUSSPANNUNG AN EINEN R-L-C-NETZWERK ( $\Omega \ll \Omega'$ ) .....	15
ABBILDUNG 2-7: STROMLAUF EINER SINUSSPANNUNG AN EINEN R-L-C-NETZWERK ( $\Omega \ll \Omega'$ ) .....	15
ABBILDUNG 2-8: EINSCHALTVOORGANG EINER SINUSSPANNUNG AN EIN R-L-C-NETZWERK ( $\Omega \approx \Omega'$ ) .....	16
ABBILDUNG 2-9: KOMMUTIERUNGSKREIS .....	17
ABBILDUNG 2-10: KOMMUTIERUNGSSTROMVERLAUF .....	17
ABBILDUNG 2-11: M2-SCHALTUNG (KOMMUTIERUNGSKREIS) .....	19
ABBILDUNG 2-12: STROM- UND SPANNUNGSVERLÄUFE ( $I \approx \text{KONSTANT}$ ) .....	19
ABBILDUNG 2-13: ZWANGSKOMMUTIERUNG - KOMMUTIERUNGSKREIS .....	21
ABBILDUNG 2-14: ZWANGSKOMMUTIERUNG - STROM- UND SPANNUNGSVERLAUF .....	21
ABBILDUNG 3-1: SCHALTERMODELL DES NETZGELÖSCHTEN STROMRICHTERS IN DREHSTROMBRÜCKENSCHALTUNG MIT AP-ANSCHLUSSPUNKT .....	28
ABBILDUNG 3-2: ERSATZSCHALTBILD FÜR KOMMUTIERUNGSPHASE .....	32
ABBILDUNG 3-3: ERSATZSCHALTBILD FÜR NICHKOMMUTIERUNGSPHASE .....	33
ABBILDUNG 3-4: OBERSCHWINGUNGSANALYSE DER SPANNUNG IM STRANG (OBEN: $A=0^\circ$ , UNTER: $A=60^\circ$ ) .....	34
ABBILDUNG 3-5: ZWEI B6-SCHALTUNGEN MIT TRANSFORMATOR BEI ZWEI VERSCHIEDENE SCHALTGRUPPEN .....	35
ABBILDUNG 3-6: 12-PULSSCHALTUNG ALS REIHENSCHALTUNG B6C2S .....	36
ABBILDUNG 3-7: REIHENSCHALTUNG MIT 12-PULSIGER GLEICHSPANNUNG .....	37
ABBILDUNG 3-8: 12-PULSSCHALTUNG ALS PARALLELSCHALTUNG ZWEITER B6-SCHALTUNGEN MIT SAUGDROSSEL .....	37
ABBILDUNG 3-9: PARALLELSCHALTUNG, 12-PULSIGE GLEICHSPANNUNG .....	38
ABBILDUNG 3-10: PRINZIPSCHALTPLAN DES DIREKTUMRICHTERS .....	39
ABBILDUNG 3-11: SPANNUNG DES DIREKTUMRICHTERS MIT TRAPEZANSTEUERUNG OHNE LASTUNG .....	40
ABBILDUNG 3-12: SIMULATION DER TRAPEZANSTEUERUNG MIT LASTUNG ( $R=3\Omega$ , $L=35\text{MH}$ ) .....	40

ABBILDUNG 3-13: SPEKTRUM DER LASTSPANNUNG AM AUSGANG DES TRAPEZGESTEUERTEN DIREKTUMRICHTERS .....	41
ABBILDUNG 3-14: DIREKTUMRICHTER MIT SINUSANSTEUERUNG OHNE LASTUNG .....	42
ABBILDUNG 3-15: AUSGANGSSPANNUNG UND STROM DES SINUSGESTEUERTER DIREKTUMRICHTER MIT LASTUNG .....	42
ABBILDUNG 3-16: SPEKTRUM DER LASTSPANNUNG AM AUSGANG BEI SINUSGESTEUERTEM DIREKTUMRICHTER .....	42
ABBILDUNG 3-17: PRINZIPSCHALTUNG DES MATRIXUMRICHTER .....	43
ABBILDUNG 3-18: ASYMMETRISCH SPERRENDE TRANSISTOREN MIT GEMEINSAMEN EMITTER .....	44
ABBILDUNG 3-19: ASYMMETRISCH SPERRENDE TRANSISTOREN MIT GEMEINSAMEN KOLLEKTOR .....	44
ABBILDUNG 3-20: SYMMETRISCH SPERRENDE TRANSISTORS.....	44
ABBILDUNG 3-21: TRANSISTOR IN BRÜCKENSCHALTUNG.....	45
ABBILDUNG 3-22: SCHALTUNGSTOPOLOGIE DES MATRIXUMRICHTER-SIMULATIONSMODELLS .....	46
ABBILDUNG 3-23: OHMSCH LASTSEITIGE SPANNUNG MIT GRUNDWELLE BEI PHASEN 1 DER MATRIXUMRICHTER .....	47
ABBILDUNG 3-24: RAUMZEIGERDARSTELLUNG DER AUSGANGSSPANNUNGEN MIT PWM-ANSTEUERUNG.....	47
ABBILDUNG 3-25: SCHALTERMODELL DES WECHSELRICHTERS MIT TRANSISTOREN UND DIODEN.....	56
ABBILDUNG 3-26: DIE SPANNUNGSRAUMZEIGER IN DER KOMPLEXEN EBENE.....	57
ABBILDUNG 3-27: STRANGSPANNUNG UND -STROM ZWEISTUFIGES UMRICHTER DURCH UNTERSCHWINGUNGSVERFAHREN - ANSTEUERUNG .....	60
ABBILDUNG 3-28: LEITER-LEITERSPANNUNG ZWEISTUFIGES UMRICHTER DURCH UNTERSCHWINGUNGSVERFAHREN - ANSTEUERUNG.....	60
ABBILDUNG 3-29: RAUMZEIGERZERLEGEN IM SEKTOR 1 MIT RANDVEKTOREN $U_1$ UND $U_2$ .....	61
ABBILDUNG 3-30: PULSPANUNG DER 2-STUFIGE WECHSELRICHTER BEI RAUMZEIGERMODULATION .....	64
ABBILDUNG 3-31: ZUORDNUNG DER EIN- / AUSSCHALTZEITEN MIT FESTEN ZEITRASTER T.....	64
ABBILDUNG 3-32: SIMULATIONSERGEBNIS DER RAUMZEIGERMODULATION NACH TABELLE A-4 .....	65
ABBILDUNG 3-33: ZUORDNUNG DER EIN- / AUSSCHALTZEITEN MIT FESTEN ZEITRASTER $T_p=T/2$ .....	65
ABBILDUNG 3-34: SIMULATIONSERGEBNIS DER RAUMZEIGERMODULATION NACH TABELLE A-5 .....	66
ABBILDUNG 3-35: 180°-BLOCK-BETRIEB DER GRUNDFREQUENZSTEUERUNG.....	67
ABBILDUNG 3-36: ZEITLICHE VERLÄUFE BEIM DREIPHASIGEN ZWEIPUNKTREGLER .....	68
ABBILDUNG 3-37: AUFBAU EINES 3-PHASIGEN SPANNUNGS-WECHSELRICHTERS MIT DREIPUNKTVERHALTEN .....	70

ABBILDUNG 3-38: SPANNUNG $U_{I2}$ BEI VERSCHIEDENER LÄNGE DES EINSCHALTINTERVALLS $T_s$ .....	73
ABBILDUNG 3-39: RAUMZEIGERDARSTELLUNG DER PHASENSTROMS VON DREI-STUFEN-UMRICHTER .....	75
ABBILDUNG 3-40: AUSGANGSSPANNUNG DES DREI-STUFEN-UMRICHTER MIT DREIECK-SINUS-MODULATION .....	75
ABBILDUNG 3-41: SPEKTRUM DER AUSGANGSSPANNUNG MIT MODULATIONSANSTEUERUNG .....	76
ABBILDUNG 3-42: DREIPHASIGER I-STROMRICHTER .....	77
ABBILDUNG 3-43: SCHALTRAUMZEIGER DES I-STROMRICHTERS .....	77
ABBILDUNG 3-44: AUSGANGSSTRÖME DES I-UMRICHTER BEI GRUNDFREQUENZSTEUERUNG-120° .....	80
ABBILDUNG 4-1: KLASSIFIZIERUNG LEISTUNGSELEKTRONISCHER WANDLER.....	87
ABBILDUNG 4-2: ERZEUGUNG EINES PULSWEITENMODULIERTEN SIGNALS.....	89
ABBILDUNG 4-3: BERECHNETES SPEKTRUM EINES PULSDAUERMODULIERTEN SIGNALS .....	89
ABBILDUNG 4-4: SPEKTRUM EINES SYNCHRONE MODULIERTEN SIGNALS .....	90
ABBILDUNG 4-5: SPEKTRUM EINES ASYNCHRONE MODULIERTEN SIGNALS.....	90
ABBILDUNG 4-6: PULSMODULIERTES SIGNAL MIT ENDLICH FLANKENSTEILHEIT .....	91
ABBILDUNG 4-7: BERECHNETES SPEKTRUM EINES PULSDAUERMODULIERTEN SIGNALS MIT BEGRENZTER FLANKENSTEILHEIT.....	93
ABBILDUNG 4-8: SPEKTRUM EINES PULSDAUERMODULIERTEN SIGNALS MIT BEGRENZTER FLANKENSTEILHEIT .....	93
ABBILDUNG 4-9: SPEKTRA FÜR RÜCKFLANKENMODULATION.....	94
ABBILDUNG 4-10: SPEKTRA FÜR VORDERFLANKENMODULATION.....	94
ABBILDUNG 4-11: BLOCKSCHALTBILD ZUR BERECHNUNG DER GEGENTAKTSTÖRUNGEN .....	95
ABBILDUNG 4-12: BLOCKSCHALTBILD ZUR BERECHNUNG DER GLEICHTAKTSTÖRUNGEN .....	98
ABBILDUNG 4-13: ERSATZSCHALTBILD ZUR BERECHNUNG DER GLEICHTAKTSTÜRSPANNUNG .....	99
ABBILDUNG 4-14: B6-THYRISTORBRÜCKE MIT EINER FREILAUFDIODE AM AUSGANG	102
ABBILDUNG 4-15: DIE AUSGANGSSPANNUNG UND DIE LEITWINKEL DER THYRISTOREN TH1 UND TH4 DER SYMMETRISCH GESTEUERTEN B6-BRÜCKE.....	103
ABBILDUNG 4-16: B6-BRÜCKE MIT ZWEI FREILAUFDIODEN AM AUSGANG.....	104
ABBILDUNG 4-17: DIE AUSGANGSSPANNUNG EINER ASYMMETRISCH GESTEUERTEN BRÜCKE MIT ZWEI FREILAUFDIODEN .....	105
ABBILDUNG 4-18: LEITWINKEL DER THYRISTOREN TH1 UND TH2 .....	105
ABBILDUNG A-1: DARSTELLUNG VON 3-PHSIGEN GRÖßEN VON DREHSTROMSYSTEM	109
ABBILDUNG A-2: RAUMZEIGER IN KOMPLEXER EBENE .....	110

# **Tabelleverzeichnis**

TABELLE 3-1: ZUORDNUNG VON SPANNUNG UND STROM VON B6-SCHALTUNG .....	29
TABELLE 3-2: SCHALTZUSTÄNDE DES MATRIXUMRICHTER .....	48
TABELLE 3-4: DAS ZEITVERLAUF UND RAUMZEIGER DER AUSGANGSSPANNUNG .....	59
TABELLE 3-5: DIE RANDKOMPONENTEN IN A-B- KOORDINATENSYSTEM.....	62
TABELLE 3-7: SCHALTZUSTÄNDE DER SCHALTER TR11 BIS TR14 DES DREIPUNKT-WECHSELRICHTERS .....	71
TABELLE 3-8: SCHALTZUSTÄNDE DES DREISTUFIGER WECHSELRICHTERS .....	74
TABELLE 3-9: SCHALTRAUMZEIGER UND STROMRAUMZEIGER 1 BIS 9 DES I-UMRICHTERS .....	79
TABELLE 3-10: REIHENFOLGE DER SCHALTERRAUMZEIGER VON FSM-VERFAHREN.....	82
TABELLE 3-11: REIHENFOLGE DER SCHALTERRAUMZEIGER VON HSM-VERFAHREN ....	82
TABELLE 3-12: REIHENFOLGE DER SCHALTERRAUMZEIGER VON MHSM-VERFAHREN	83
TABELLE 3-13: REIHENFOLGE DER SCHALTERRAUMZEIGER VON CSVM-VERFAHREN .	83
TABELLE A-1: INTEGRATIONSMETHODEN DER EINZELNEN SIMULATIONSPROGRAMME	114
TABELLE A-2: TIEFSTE MODELLIERUNGSEBENE UND DIE SYNTAX ZUR BESCHREIBUNG DER MODELLE.....	115
TABELLE A-3: BEWERTUNG DER EINZELNEN SIMULATIONSPROGRAMME .....	115
TABELLE A-4: ERSTE FORMELN DER RECHNUNG VON EIN- UND AUSSCHALTZEITEN DER VENTILZWEIGE .....	116

# Liste der verwendeten Formelzeichen

## Allgemeine Variablendarstellung

$u(t), u$	Zeitlicher Augenblickswert
$u[v]$	Zeitdiskrete Augenblickswert
$U$	Gesamteffektivwert
$\hat{u}$	Spitzenwert
$\dot{u}$	Ableitung nach Zeit
$\tilde{u}$	Näherungswert
$\mathbf{u}$	Vektor oder Raumzeiger
$\vec{z}$	Raumzeiger
$\mathbf{A}$	Matrix
$\mathbf{a}^T$	transponierter Vektor

## Allgemeingültige hochgestellte Indizes

*	Normierter Wert
$l$	Grundschwingung

## Allgemeingültige tiefgestellte Indizes

$a$	Ausgangsgröße
$D$	Durchlassphase
$d$	Gleichgröße
$E, e$	Eingangsgröße
$eff$	Effektivwert
<i>Grenz</i>	Grenzwert
$h$	homogene Lösung der Differentialgleichung
$k$	Kommutierungsvorgang
<i>Last</i>	lastseitiger Wert
$m$	Mittelwert
max	Maximumwert
min	Minimumwert
$N$	Netzseite

<i>Netz</i>	netzseitiger Wert
<i>ref</i>	Referenzwert
<i>p</i>	partikuläre Lösung der Differentialgleichung
<i>soll</i>	Sollwert
<i>S</i>	Sperrphase
<i>T</i>	Träger
$\alpha$	Realteilkoordinate des Raumzeigers
$\beta$	Imaginärteilkoordinate des Raumzeigers
$\lambda, \mu, \nu, \gamma$	beliebiger Index
<i>o</i>	Arbeitspunkt
$\infty$	Endwert
$\sim$	Wechselanteil

### Spezielle Formelzeichen

$a_k$	Fourierkoeffizient
<b>A</b>	Systemmatrix
<b>B</b>	Eingangsmatrix
<b>b</b>	Eingangsvektor
$b_k$	Fourierkoeffizient
$\mathbf{c}^T$	Ausgangsvektor
<i>d</i>	Differential, normierte Verzerrungsleistung
<i>e</i>	Exponentialfunktion
$f_s$	Schaltfrequenz
<i>F</i>	Abfallzeit
<i>G</i>	Komplexe Übertragungsfunktion
<i>h</i>	Integrationsschrittweite
<b>H</b>	Schaltmatrix
<b>I</b>	Einheitsmatrix
<i>i</i>	imaginäre Einheit
<i>k</i>	Anteil der Teilintervalle
<i>k</i>	Vielfaches der Grundschwingung, Ordnung
<i>n</i>	Ordnung des Systems
<i>P</i>	Wirkleistung
<i>p</i>	Pulszahl
<i>Q</i>	Blindleistung