

# Dynamics of biologically informed neural mass models of the brain

Andreas Spiegler



Universitätsverlag Ilmenau  
2012

## Impressum

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

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

Diese Arbeit hat der Fakultät für Informatik und Automatisierung der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 21. April 2011

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Hauelsen  
(Technische Universität Ilmenau)

2. Gutachter: Dr.-Ing. habil. Thomas R. Knösche  
(Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften,  
Leipzig)

3. Gutachter: Dr. rer. nat. Viktor Jirsa  
(Aix-Marseille Université, Marseille)

Tag der Verteidigung: 06. Juni 2011

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

### **Universitätsverlag Ilmenau**

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

[www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag](http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag)

### **Herstellung und Auslieferung**

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

[www.mv-verlag.de](http://www.mv-verlag.de)

ISBN 978-3-86360-024-2 (Druckausgabe)

URN [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2011000503](http://nbn:de:gbv:ilm1-2011000503)

---

Titelfoto: [photocase.com](http://photocase.com)

# Contents

<b>Preface</b>	<b>7</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>15</b>
<b>2 Neuronal Modeling</b>	<b>25</b>
2.1 Computational Neuroscience . . . . .	26
2.1.1 Extending the Scientific Method . . . . .	26
2.1.2 Complexity of Models . . . . .	27
2.1.3 Classification of Models . . . . .	27
2.1.4 Classification of the Zetterberg-Jansen Model . .	28
2.2 Forward Model . . . . .	29
2.3 Neuronal States . . . . .	30
2.3.1 Neurons – The Dynamic Computational Units .	31
2.3.2 Ensembles – The Unit of Brain Functions . . . .	32
2.4 Mean-Field Approximation . . . . .	33
2.4.1 Ensemble Density Models . . . . .	33
2.4.2 Neural Mass Models . . . . .	35
<b>3 Mathematics and Methods</b>	<b>43</b>
3.1 Mean-Field Framework . . . . .	43
3.1.1 Definition . . . . .	44
3.1.2 Activity-Based and Voltage-Based Models . . . .	48
3.1.3 Model Equivalence . . . . .	52

3.1.4	Normalization . . . . .	56
3.2	Point-Like Voltage-Based Model . . . . .	56
3.2.1	Potential-to-Rate Transfer Function . . . . .	57
3.2.2	Temporal Differential Operator . . . . .	59
3.2.3	Linear System of a Lumped Neural Mass . . . . .	61
3.2.4	Equivalence – Jansen’s Configuration . . . . .	62
3.3	Methods . . . . .	63
3.3.1	Bifurcation Diagrams . . . . .	64
3.3.2	Time Series . . . . .	65
3.3.3	Characteristic Lyapunov Spectra . . . . .	66
3.3.4	Kaplan-Yorke Dimension . . . . .	68
3.3.5	Poincaré Map . . . . .	68
3.4	Experimental Data . . . . .	69
<b>4</b>	<b>Zetterberg-Jansen Model</b>	<b>71</b>
4.1	System . . . . .	74
4.2	Extrinsic Input . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Modes of a Cortical Area</b>	<b>79</b>
5.1	Constantly Forced Model . . . . .	79
5.1.1	Parameter Space . . . . .	81
5.1.2	System Analysis Using Bifurcation Theory . . . . .	84
5.1.3	Results . . . . .	93
5.2	Periodically Forced Model . . . . .	111
5.2.1	Parameter Space . . . . .	112
5.2.2	Stimulus Dependent State Space Analysis . . . . .	117
5.2.3	Results . . . . .	120
<b>6</b>	<b>Resonance Phenomena</b>	<b>123</b>
6.1	Experimental Data . . . . .	124
6.2	Periodically Forced Model . . . . .	126
6.3	Comparison . . . . .	126
6.4	Results . . . . .	127

<b>7</b>	<b>Discussion and Conclusion</b>	<b>129</b>
7.1	Zetterberg-Jansen Model . . . . .	130
7.2	Constantly Forced Model . . . . .	131
7.2.1	States and the Underlying Mechanisms . . . . .	131
7.2.2	Classification of LC-Branches . . . . .	132
7.2.3	Ordered Sequences . . . . .	134
7.2.4	Transitions Between Regimes . . . . .	136
7.2.5	Modeling . . . . .	136
7.2.6	Links to Neuroscience . . . . .	137
7.3	Periodically Forced Model . . . . .	139
7.3.1	Complex Behavior . . . . .	139
7.3.2	Chaos in the Brain? . . . . .	140
7.3.3	Ordered Sequences . . . . .	141
7.4	Brain Resonance Phenomena . . . . .	142
7.4.1	Periodically Forced Oscillator . . . . .	142
7.4.2	Comparison . . . . .	143
7.4.3	Predictions . . . . .	143
7.5	Future Directions . . . . .	144
7.6	Conclusion . . . . .	146
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>149</b>
A.1	Characteristics of the Sigmoid . . . . .	149
A.2	Temporal Differential Operator . . . . .	151
A.3	Effective Extrinsic Input on all Masses . . . . .	154
A.4	Modes of a Single Neural Mass . . . . .	156
A.5	Characteristic Mean Frequency . . . . .	159
A.6	Symbols and Abbreviations . . . . .	161