

Charakterisierung der Dynamik synaptischer
Übertragung und aktivitätsabhängiger
Verarbeitung visueller Bewegungsinformation
im Gehirn der Fliege

Dissertation

Ulrich Beckers

April 2009

Charakterisierung der Dynamik synaptischer
Übertragung und aktivitätsabhängiger Verarbeitung
visueller Bewegungsinformation im Gehirn der Fliege

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Naturwissenschaften

- Dr. rer. nat. -

der Fakultät für Biologie der Universität Bielefeld
vorgelegt von

Ulrich Beckers

Bielefeld, April 2009

Betreut von
Jun. Prof. Dr. Rafael Kurtz



Danksagung

Ohne ein unterstützendes Umfeld ist eine solche Arbeit kaum zu erstellen. Vielen lieben Menschen sowohl im Arbeitskreis, als auch im privaten Umfeld möchte ich für ihre Unterstützung danken. Um niemand versehentlich zu übervorteilen verzichte ich an dieser Stelle auf die explizite Nennung einzelner Namen. Ihr wisst schon, dass ihr gemeint seid.

Mein ganz besonderer Dank gilt jedoch meinem Betreuer Dr. Rafael Kurtz für seine großartige Unterstützung.

Darüber hinaus möchte ich noch gesondert meiner Mutter Erika Beckers und meinem, leider viel zu früh verstorbenen, Vater Dr. Hartmut Beckers danken. Diese Arbeit ist für euch.

Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und Zitate kenntlich gemacht habe.

Ulrich Beckers

Inhaltsverzeichnis

	Danksagung	iii
	Erklärung	iv
	Inhaltsverzeichnis	v
1	Zusammenfassung	1
2	Abhandlung	3
2.1	Die Fliege als Modellsystem	4
	Exkurs 1: Neuronale Signalkodierung	6
	Exkurs 2: Chemische Synapsen, elektrische Synapsen	8
2.2	Synaptische Übertragung	10
2.3	Analyse des neuronalen Signals auf Basis elektrophysiologischer Methoden	13
	Exkurs 3: Black Box-Analyse – Ermittlung einer Kennlinie	14
	Exkurs 4: Voltage Clamp	15
	Exkurs 5: Adaptation	17
2.4	Darstellung der Veröffentlichungen	19
2.4.1	Bestimmung des synaptischen Arbeitsbereichs präsynaptischer graduierter Signale im visuellen System der Fliege	20
2.4.2	Die zeitliche Präzision in bewegungsempfindlichen Neuronen der Fliege wird durch auf graduierte Membranpotenzialänderungen aufgelagerte Aktionspotenziale vermittelt	22
2.4.3	Adaptation in bewegungsempfindlichen Neuronen der Fliege wird durch Depolarisation bewirkt	24
2.5	Diskussion	26
2.6	Literatur	35

3	Synapses in the Fly Motion-Vision Pathway: Evidence for a broad Range of Signal Amplitudes and Dynamics	43
	Abstract	45
	Keywords	45
	Introduction	45
	Methods	47
	Results	49
	Discussion	59
	Conclusion	63
	References	64
4	Precise timing in the fly motion vision is mediated by fast components of combined graded and spike signals	69
	Abstract	71
	Keywords	71
	Introduction	71
	Experimental procedures	74
	Results	76
	Discussion	87
	References	93
5	Mechanisms of afterhyperpolarization following activation of fly visual motion-sensitive neurons	97
	Abstract	99
	Keywords	99
	List of Abbreviations	99
	Introduction	100
	Materials and Methods	101
	Results	104
	Discussion	113
	Acknowledgements	118
	References	119





1 Zusammenfassung

Fliegen sind außerordentliche Flugkünstler. Die hierfür erforderliche Verhaltenskontrolle basiert auf der schnellen und präzisen Aufnahme und Verarbeitung von Umweltreizen, sowie der Übertragung neuronaler Information zwischen Nervenzellen. Da synaptische Übertragung mit einer spezifischen Filterung einhergeht kann die Synapse als kleinste informationsverarbeitende Einheit betrachtet werden.

In meiner Doktorarbeit habe ich die Informationsverarbeitung auf zellulärer Ebene im visuellen System der Fliege (*Calliphora vicina*) untersucht. Im ersten und zweiten Teilprojekt habe ich die Signalübertragung an Synapsen zwischen individuell identifizierbaren bewegungssensitiven Neuronen (VS- und V1-Neurone) systematisch analysiert und im dritten Teilprojekt Mechanismen aktivitätsabhängiger Adaptation untersucht.

Die VS-V1-Synapse zeichnet sich durch eine besondere Übertragungscharakteristik aus. Die präsynaptischen VS-Zellen weisen eine komplexe Signalstruktur auf. Das Membranpotenzial dieser Zellen setzt sich aus einer graduierten Komponente mit aufgelagerten aktionspotenzialartigen Depolarisationen zusammen. An der Synapse wird dieses komplexe Signal verrechnet und postsynaptisch durch die V1-Zelle als Aktionspotenzialfolge weitergeleitet.

Bisherige Annahmen über die Signalübertragung an dieser Synapse basierten auf Versuchen, bei denen die Zellen entweder visuell oder durch Injektion von Strömen stimuliert wurden. Bei diesen Versuchen war es nicht möglich, das präsynaptische Signal reproduzierbar zu kontrollieren. In meiner Arbeit konnte ich diese Begrenzung durch Anwendung der Voltage-Clamp-Technik überwinden, und eine systematische Analyse der synaptischen Signalübertragung durchführen.

Ebenfalls mittels der Voltage-Clamp-Technik konnte ich untersuchen, welche Komponenten aktivitätsabhängiger Plastizität in den Antworten bewegungsempfindlicher visueller Neurone der Fliege unmittelbar von einer vorausgegangenen Membranpotenzialdepolarisation abhängen. In bisherigen Ansätzen unter visueller Reizung konnten diese intrinsischen Komponenten nicht von den in präsynaptischen Schichten generierten Komponenten isoliert werden.

Die Arbeit gliedert sich in die folgenden drei Teilprojekte:

Im ersten Teil der Arbeit (*Bestimmung des synaptischen Arbeitsbereichs präsynaptischer graduiertes Signale im visuellen System der Fliege*) wurde von einer VS-Zelle und der V1-Zelle gleichzeitig abgeleitet. Das VS-Membranpotenzial wurde mit der Voltage-Clamp-Technik kontrolliert und das Ausgangssignal in Abhängigkeit zum Eingangssignal analysiert. Ich konnte zeigen, dass Depolarisation einer einzigen VS-

1 ZUSAMMENFASSUNG

Zelle zu einer erhöhten Aktionspotentialrate in V1 führt. Diese Rate ist hierbei über einen großen Bereich linear vom präsynaptischen Membranpotenzial abhängig und kann dessen Modulationen über einen weiten Frequenzbereich folgen.

Der zweite Teil der Arbeit (*Die zeitliche Präzision in bewegungsempfindlichen Neuronen der Fliege wird durch aufgelagerte Aktionspotenziale eines graduierten Signals vermittelt*) betrachtet vornehmlich den Einfluss der schnellen, aktionspotenzialartigen Komponente des präsynaptischen Mischpotenzials. Anhand der Signalübertragung und der Wechselwirkung zwischen prä- und postsynaptischem Signal wurden zudem Rückschlüsse auf die noch nicht vollständig aufgeklärte Art der Übertragung - chemisch oder elektrisch - an den untersuchten Synapsen gezogen.

Im dritten Teil der Arbeit (*Adaptation in bewegungsempfindlichen Neuronen der Fliege wird durch Depolarisierung bewirkt*) konnte gezeigt werden, dass die im Rahmen von Adaptationsprozessen beobachtete Nachhyperpolarisierung nicht auf Veränderung der synaptischen Übertragung beruht, sondern von intrinsischen, potenzialabhängigen Prozessen in den bewegungsempfindlichen Neuronen abhängt.