

Subpikosekunden-Infrarotspektroskopie der trans-cis- Isomerisierung in Bakteriorhodopsin

Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs Physik
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Reiner Dziewior

Berlin 1998

Erstgutachter : Prof. Dr. D. Stehlik
Zweitgutachter : Prof. Dr. N. Schwentner
Disputation : 17.6.1998

Für Kerstin und ...

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	7
2 Grundlagen	11
2.1 Die Probe Bakteriorhodopsin	11
2.1.1 Struktur	11
2.1.2 Funktion	13
2.1.3 Optische Charakterisierung der ersten Zustände	14
2.1.4 Charakterisierung der ersten Zustände im infraroten Spektralbereich ...	18
2.2 Der CO-Laser	20
2.2.1 Das laseraktive Medium	21
2.2.2 Der Lasermechanismus	26
2.3 Die Femtosekunden - Infrarotspektroskopie	29
2.3.1 Detektionsmethoden der Femtosekunden-Infrarotspektroskopie	31
2.3.2 T_2 - Zeit und kohärente Effekte	33
2.3.3 Ratenmodelle und damit verbundene Phänomene	41
2.3.4 Das einfache phänomenologische Modell für Bakteriorhodopsin	43
2.3.5 Die Simulationsfunktion für Silicium	45
2.4 Weitere Methoden zeitaufgelöster Schwingungsspektroskopie	48
2.4.1 Die Fourier Infrarotspektroskopie (FTIR)	48
2.4.2 Die Resonanz-Raman-Spektroskopie	50
3 Der Experimentelle Aufbau und die Probenpräparation	53
3.1 Der CO-Laser	53
3.1.1 Der Aufbau	53
3.1.2 Die Eigenschaften des CO-Lasers	60
3.2 Der optische Gesamtaufbau	61
3.2.1 Die Infraroteinheit	61
3.2.2 Die Femtosekunden-Lasereinheit	62
3.2.3 Die Pumplichterzeugung und die Verzögerungsstrecke	64
3.2.4 Die Rotations-Hubeinheit, der Probenhalter und die Spezialküvette ...	66
3.2.5 Die Detektion	68
3.2.6 Die Strahlanalyseeinheit	70
3.3 Die Datenerfassung und die Datenverarbeitung	71
3.3.1 Die Lock-in-Technik	71
3.3.2 Die Elektronik und die Datenerfassung	73
3.3.3 Die Datenverarbeitung und ihre Auswertung	75
3.4 Die Infrarot-Justierhilfe	77
3.5 Probenpräparation und Probencharakterisierung	78

4 Experimentelle Ergebnisse und Diskussion	83
4.1 Die experimentellen Ergebnisse	83
4.1.1 Die zeitabhängigen Kinetiken	83
4.1.2 Die zeitabhängigen Spektren	84
4.2 Die Simulation der Ergebnisse	85
4.2.1 Das verwendete Modell und seine Parameter	85
4.2.2 Die Welt des Modells	88
4.2.3 Die Simulation	91
4.3 Diskussion	91
4.3.1 Das Modell	91
4.3.2 Die zeitliche Grobstruktur	94
4.3.3 Die zeitliche Feinstruktur	97
4.3.4 Die Natur des <i>J</i> -Zustandes	100
4.3.5 Der Vergleich von Retinal in Proteinumgebung und in Lösung	102
5 Zusammenfassung und Ausblick	107
6 Anhang	111
6.1 Greensche Funktion	111
6.2 Beschreibung wichtiger verwendeter Programme	113
6.2.1 Das Meßprogramm "fs_xy.exe"	113
6.2.2 Das eindimensionale Anpassungsprogramm "fit.exe"	114
6.2.3 Das globale Anpassungsprogramm "gfit.exe"	115
6.3 Technische Zeichnungen	117
6.3.1 Die Infrarot-Justierhilfe	117
6.3.2 Die optischen Elemente	118
6.4 Die Publikationsliste	121
7 Das Literaturverzeichnis	123

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich folgenden Personen danken:

Herrn Prof. D. Stehlik und Herrn Dr. R. Diller für die Möglichkeit eine Promotion auf dem interessanten und herausfordernden Arbeitsgebiet der Biophysik, der physikalischen Chemie und der Ultrakurzzeit-Laserphysik anfertigen zu können.

Herrn Prof. N. Schwentner der mir in mancher Notlage hilfreich zur Seite stand. Seine Hinweise bezüglich Molekülphysik und Resonanz-Raman-Spektroskopie haben mir beim Anfertigen der Arbeit sehr geholfen. Ich habe mich zudem in seiner Arbeitsgruppe immer als ein willkommener Gast gefühlt.

Herrn Dr. P. Dietrich für die zahlreichen Gespräche und nützlichen Tips, die mir insbesondere bei der mathematischen Modellierung weitergeholfen haben. Seine kritischen Anmerkungen und Kommentare haben der vorliegenden Arbeit sehr gut getan.

Frau K. Bammel mit der ich das Femtosekundenlasersystem teilte für die enge und freundschaftliche Zusammenarbeit.

Herrn Prof. M. Heyn und insbesondere Frau I. Wallat für die Bereitstellung der im Mittelpunkt dieser Arbeit stehenden Bakteriorhodopsinsuspensionen sowie Frau Dr. U. Alexiev für nützliche biophysikalische Hinweise zu meiner Probe.

Herrn Müller, Herrn Ellendt, Herrn Paul, Herrn Thiel, Herrn Hensel und Frau Joerke von der Feinmechanikerwerkstadt und dem Schreinermeister Alex, die ich alle sehr intensiv in Anspruch genommen habe, sowie Herrn Küsel und Herrn Luft von der Elektronikwerkstadt, die mir in elektronischen Fragen engagiert und hilfreich zur Seite standen.

Herrn Giseler von der Studentenwerkstadt, der mir half meine Fähigkeiten auf dem Gebiet der Feinmechanik weiter zu verfeinern.

Herrn Prof. Urban, seinen Mitarbeitern und dem Glasbläser Herrn Kath, die sich viel Zeit nahmen, um mich in die Geheimnisse des CO-Lasers einzuweihen. Das von Herrn Prof. Urban großzügiger Weise überlassene erste Plasmarohr hat den Aufbau des Femtosekunden-Infrarotspektrometers stark beschleunigt.

Frau Prof. A.B. Myers für die tieferen Einblicke in die Resonanz-Raman-Spektroskopie, Prof. E. J. Heilweil für die Diskussionen zum Thema "Kohärente Kontrolle mit geschirpten Infrarotpulsen", einem Thema das ich sehr gerne weiterverfolgen würde und Prof. T. Elsässer für die Diskussion zum Thema "Femtosekundenspektroskopie und Nahfeldmikroskopie" auch wenn sich dadurch meine Idee eines Femtosekunden-Nahfeldmikroskops als nicht durchführbar erwies.

Herrn Dr. A. Kamlowski für die Hilfe beim Ausdruck des Strukturmodells von Henderson.

Allen noch nicht erwähnten Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Stehlik, für das gute Arbeitsklima, die Hilfsbereitschaft und die kollegiale Zusammenarbeit.

Meinen Eltern und Petra Fröhlich für das engagierte Korrekturlesen. Ich weiß, daß es sich dabei um keine sehr angenehme Aufgabe handelte.

Kerstin, die ich sehr liebe und die auf Grund meiner Leidenschaft für die Physik öfters das Nachsehen hatte.