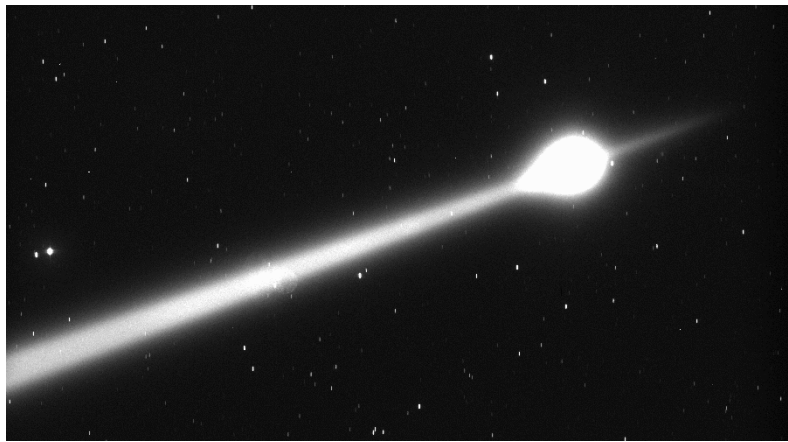


# Terawatt-Femtosekunden-Laserpulse in der Atmosphäre: Phänomene und Anwendungen



im Fachbereich Physik der  
Freien Universität Berlin  
eingereichte Dissertation

vorgelegt von  
**Miguel RODRÍGUEZ LANGLOTZ**  
aus Hamburg

Berlin, Februar 2004



Die vorliegende Arbeit entstand in Rahmen des deutsch-französischen Projekts



gefördert durch die  
Deutsche Forschungsgemeinschaft  
und das  
Centre National de la Recherche Scientifique.

1. Gutachter: Prof. Dr. Ludger Wöste
2. Gutachter: Prof. Dr. Roland Sauerbrey

Datum der Disputation: 19. Mai 2004

*„While linearization beautifies physics, nonlinearity provides excitement in physics.“*

Y. R. Shen

# Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	1
<b>Kapitel 1 Teramobile</b> .....	<b>5</b>
1.1 Das Terawatt-Lasersystem .....	5
1.1.1 Die Erzeugung hochintensiver Femtosekundenpulse (CPA) .....	6
1.1.2 Eigenschaften des Teramobile-Lasers .....	9
1.1.3 Einstellbare Parameter des ausgesandten Laserstrahls .....	11
1.2 Das mobile Labor .....	14
1.2.1 Betriebs- und Versorgungsfunktionen .....	16
1.2.2 Transporteigenschaften .....	17
1.3 Das Detektionssystem .....	18
<b>Kapitel 2 Messkampagnen</b> .....	<b>21</b>
2.1 Messungen an der Thüringer Landessternwarte .....	22
(Kilometerweite Ausbreitung von TW-Pulsen in der Atmosphäre – Abbildung und Spektroskopie)	
2.1.1 Motivation .....	22
2.1.2 Allgemeiner experimenteller Aufbau .....	25
2.1.3 Bildaufnahmen im Schmidt-Modus .....	27
2.1.4 Hochauflösende Weißlichtspektroskopie im Coudé-Modus .....	36
2.1.5 Breitbandige IR-Lidar-Messungen im Coudé-Modus .....	41
2.2 UV-Lidar-Experiment in Lyon .....	44
(Höhenaufgelösten Messung der Ozonabsorption mittels wellenlängenabhängiger Lidar-Signale)	
2.2.1 Motivation .....	44
2.2.2 Durchführung und Ergebnisse .....	45
2.3 Hochspannungsexperimente an der TU Berlin .....	51
(Auslösen und Lenken von Megavolt-Blitzentladungen mittels fs-Filamenten)	
2.3.1 Motivation .....	52
2.3.2 Durchführung und Ergebnisse .....	55
2.3.3 Diskussion .....	62
2.4 Laborexperimente und sonstige Messungen .....	65
2.4.1 Quantitative Messung des Weißlichtspektrums .....	65
2.4.2 Filamentierung von Terawattpulsen auf einer Strecke von 90 m .....	71
2.4.3 Dritte Harmonische und UV-Licht in Terawattfilamenten .....	75

## **Kapitel 3 Aspekte der nichtlinearen Optik** **83**

3.1 Grundlagen der nichtlinearen Optik	84
3.1.1 Polarisierung und nichtlineare optische Suszeptibilität	84
3.1.2 Der intensitätsabhängige Brechungsindex	87
3.1.3 Frequenzvervielfachung und -mischung	88
3.2 Filamentierung kurzer Laserpulse	91
3.2.1 Erklärungsmodelle	92
3.2.2 Numerische Simulationen – nichtlineare Schrödinger-Gleichung	97
3.3 Filamentierung von Terawattpulsen in Luft – Eigenschaften und Steuerbarkeit	101
3.3.1 Multifilamentierung	102
3.3.2 Startpunkt der Filamentierung	104
3.3.3 Länge der Filamente	107
3.3.4 Divergenz nach der Filamentierung	113
3.4 Weißlichterzeugung (SCG)	118
3.4.1 Selbstphasenmodulation	119
3.4.2 Form und Steuerbarkeit des Terawatt-Weißlichtspektrums	121
3.5 Konische Emission und dritte Harmonische	130
3.5.1 Konische Emission von Filamenten	131
3.5.2 Erzeugung der dritten Harmonischen (THG) in Luft	136

## **Kapitel 4 Untersuchung der Atmosphäre** **143**

4.1 Die Messtechnik Lidar	144
4.1.1 Grundlagen	145
4.1.2 Differentielles Absorptions-Lidar (DIAL)	147
4.1.3 Terawatt-Femtosekunden-Lidar – eine neue Dimension	149
4.2 Absorption durch Gase – fs-Weißlicht-Lidar	150
4.2.1 Hochaufgelöstes Absorptions-Lidar	151
4.2.2 Breitbandabsorptions-Lidar	161
4.3 Aerosole	166
4.3.1 Multispektrale Messung von Mehrfachstreuung	167
4.3.2 Nichtlineares Aerosol-Lidar	173

## **Zusammenfassung und Ausblick** **177**

## **Anhänge** **181**

A Auswertung von Bilddaten der Sternwarte	181
---	-----

B Auswertung von line-by-line-Absorptionsspektren .....	186
<b>Literatur</b> .....	189
<b>Liste eigener Publikationen</b> .....	199

### **Englischsprachige Begriffe und Abkürzungen**

In der Regel werden in dieser Arbeit deutschsprachige Begriffe für physikalische Phänomene und technische Ausdrücke verwendet. Wenn ein international gebrauchter englischsprachiger Begriff dem Verständnis dienen kann oder keine gebräuchliche Übersetzung für ihn existiert, wird dieser in kursiver Schrift und in der originalen Schreibweise (z.B. mit kleinem Anfangsbuchstaben) eingeführt und dann gegebenenfalls wie ein deutsches Wort weiterverwendet. In Einzelfällen können von diesen Begriffen auch in deutschsprachiger Weise andere Wörter abgeleitet werden, wenn es sich dabei um gängige Ausdrücke handelt. Beispiel: *chirp*, der Chirp, ein gechirpter Puls.

Bei Begriffen englischer Herkunft, die in den allgemeinen physikalisch-technischen Wortschatz Einzug gehalten haben, wird die Einführung übergangen. Beispiele: der Trigger, triggern; der Fit, fitten.

Um dem Leser das Wiedererkennen bekannter Abkürzungen zu ermöglichen, werden diese in ihrer allgemein üblichen, aus der englischen Sprache stammenden Form verwendet. Beispiel: Erzeugung der dritten Harmonischen (THG). In vielen Fällen funktioniert die Abkürzung für beide Sprachen. Beispiel: Selbstphasenmodulation (SPM).

### **Abbildungen**

Die Urheberrechte aller Abbildungen liegen beim Autor bzw. dem Teramobile-Projekt. Ausnahmen sind durch Angabe der Referenz oder des Rechteinhabers gekennzeichnet.