

# **Untersuchung der Quantenchromodynamik mit verbesserten Wirkungen**

Dirk Pleiter

Dezember 1999

Am Fachbereich Physik  
der Freien Universität Berlin  
eingereichte Dissertation

Erster Gutachter: Prof. Dr. V. Linke  
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. G. Schierholz

Tag der Disputation: 2. Februar 2000

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1. Ziele und Fragestellungen . . . . .	9
1.2. Übersicht . . . . .	10
<b>2. QCD auf dem Gitter</b>	<b>11</b>
2.1. Einführung des Gitters . . . . .	11
2.2. Eichfeldwirkung . . . . .	12
2.3. Fermionen auf dem Gitter . . . . .	14
2.4. Wilson-Fermionen . . . . .	17
2.5. Die Valenzquark-Approximation . . . . .	18
2.6. Massen . . . . .	20
2.7. Zerfallskonstanten . . . . .	24
2.8. $O(a)$ Verbesserung . . . . .	25
<b>3. Realisierung der Simulationen</b>	<b>29</b>
3.1. Generierung von Eichfeldern . . . . .	29
3.2. Erzeugung von Propagatoren . . . . .	32
3.2.1. Inversionsalgorithmus . . . . .	32
3.2.2. Präkonditionierung . . . . .	34
3.2.3. Wahl der Quellen . . . . .	35
3.2.4. Verbesserung des Signals . . . . .	36
3.3. Wahl der Simulationsparameter . . . . .	38
3.4. Datenanpassung und Fehlerbestimmung . . . . .	39
<b>4. Diskussion der Fehlerquellen</b>	<b>43</b>
4.1. Statistische Fehler . . . . .	43
4.2. Extrapolation zu unendlichem Volumen . . . . .	43
4.3. Chirale Extrapolation . . . . .	45
4.4. Diskretisierungsfehler . . . . .	48
4.5. Wahl der Skala . . . . .	48
4.6. Diskretisierungseffekte bei schweren Quarks . . . . .	50
4.7. Renormierung und Verbesserungskoeffizienten . . . . .	50

4.8.	Exzeptionelle Konfigurationen . . . . .	51
<b>5.</b>	<b>Pseudoskalare Mesonen und Quarkmassen</b>	<b>57</b>
5.1.	Masse des pseudoskalaren Mesons . . . . .	57
5.2.	Definition der Quarkmasse mit Hilfe von PCAC . . . . .	62
5.3.	Singularitäten im chiralen Limes . . . . .	66
5.4.	Quarkmassen . . . . .	68
5.5.	Energie-Impuls-Beziehung für das pseudoskalare Meson . . . . .	70
<b>6.</b>	<b>Vektormesonen</b>	<b>73</b>
6.1.	Chirale Extrapolation . . . . .	73
6.2.	Masse des $\rho$ -Mesons im Kontinuumslimit . . . . .	78
6.3.	Der J-Parameter . . . . .	81
6.4.	Fixierung der Parameter für schwere Hadronen . . . . .	82
6.5.	Schwere Vektormesonen . . . . .	84
6.6.	Massenaufspaltung . . . . .	86
<b>7.</b>	<b>Massen weiterer Mesonen</b>	<b>89</b>
7.1.	Skalares Meson . . . . .	89
7.2.	Axialvektormeson . . . . .	90
7.3.	Tensormeson . . . . .	91
<b>8.</b>	<b>Zerfallskonstanten</b>	<b>97</b>
8.1.	Zerfallskonstanten pseudoskalarer Mesonen . . . . .	97
8.2.	Zerfallskonstanten der Vektormesonen . . . . .	102
8.3.	Zerfallskonstante des Axialvektormesons . . . . .	107
<b>9.</b>	<b>Massen der Baryonen</b>	<b>111</b>
9.1.	Chirale Extrapolation . . . . .	111
9.2.	Masse des Nukleons im Kontinuumslimit . . . . .	114
9.3.	Baryonen mit Quarks ungleicher Masse . . . . .	117
9.4.	„Seltsame“ Baryonen . . . . .	119
9.5.	Dimensionslose Darstellung von Baryon- und Mesonmassen . . . . .	120
9.6.	Energie-Impuls-Beziehung für das Nukleon . . . . .	124
9.7.	Masse des negativen Paritätspartners . . . . .	125
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>129</b>
<b>A.</b>	<b>Wertetabellen</b>	<b>131</b>
A.1.	Simulationsparameter . . . . .	132
A.2.	Pseudoskalare Mesonen . . . . .	132
A.2.1.	Massen . . . . .	132
A.2.2.	Massen im Fall nicht-entarteter Quarkmassen . . . . .	134

A.2.3. Energie pseudoskalarer Mesonen mit Impuls . . . . .	135
A.3. PCAC Quarkmassen . . . . .	137
A.4. Vektormesonen . . . . .	138
A.4.1. Massen . . . . .	138
A.4.2. Massen im Fall nicht-entarteter Quarkmassen . . . . .	140
A.5. Massenaufspaltung . . . . .	140
A.6. Massen weiterer Mesonen . . . . .	142
A.6.1. Skalare Mesonen . . . . .	142
A.6.2. Axialvektormesonen . . . . .	143
A.6.3. Tensormesonen . . . . .	145
A.7. Zerfallskonstanten . . . . .	146
A.7.1. Pseudoskalare Zerfallskonstante . . . . .	146
A.7.2. Vektorzerfallskonstante . . . . .	147
A.7.3. Axialvektorzerfallskonstante . . . . .	150
A.8. Baryonen . . . . .	151
A.8.1. Massen . . . . .	151
A.8.2. Massen im Fall nicht-entarteter Quarkmassen . . . . .	154
A.8.3. Energien der Baryonen mit Impuls . . . . .	155
A.8.4. Masse des Paritätspartners . . . . .	158
A.9. Massenverhältnisse . . . . .	159
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>161</b>
<b>Publikationsliste</b>	<b>173</b>

