

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Die Atmosphäre der Sonne	1
1.1.1 Der vertikale Aufbau der Sonnenatmosphäre	1
1.1.2 Horizontale Struktur der Sonnenatmosphäre	3
1.2 Beobachtungen im ultravioletten Licht	5
1.3 Das Problem der Koronaheizung	8
1.4 Modellrechnungen für das koronale Plasma	9
1.4.1 Die Vorteile kinetischer Modelle	10
2 Das Modell	13
2.1 Reduzierte Verteilungsfunktionen	14
2.1.1 Die Momente der reduzierten Verteilungsfunktionen	14
2.1.2 Die Gaußsche Näherung	16
2.2 Vlasov – Gleichung für reduzierte Verteilungsfunktionen	16
2.2.1 Die stoßfreie Vlasov – Gleichung	17
2.2.2 Die Spiegelkraft	18
2.2.3 Das elektrische Feld	20
2.2.4 Vorgabe der Flussröhrengometrie	21
2.3 Quasilineare Theorie der Welle - Teilchen – Wechselwirkung	23
2.3.1 Einführung reduzierter Verteilungsfunktionen	25
2.3.2 Dispersionsrelation des Plasmas	26
2.3.3 Energiebilanz zwischen Teilchen und Wellen	30
2.4 Coulomb – Stöße	33
2.4.1 Das Landau – Stoßintegral für $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$	33
2.4.2 Coulomb – Stoßoperator für reduzierte Verteilungen	39

3 Das numerische Verfahren	43
3.1 Das Rechenfeld	43
3.1.1 Die Berechnung der Momente	46
3.1.2 Die Berechnung der Ableitungen $\frac{\partial F_k}{\partial v}$, $\frac{\partial^2 F_k}{\partial v^2}$	47
3.1.3 Die Berechnung der Ableitungen $\frac{\partial F_k}{\partial s}$	51
3.1.4 Anfangs- und Randbedingungen — Ein einfaches 1D - Flüssigkeitsmodell	53
3.2 Die Numerische Lösung der Vlasov - Gleichung	56
3.2.1 Kann Stationarität vorausgesetzt werden?	56
3.2.2 Lösung durch zeitliche Relaxation	59
4 Tests des numerischen Verfahrens	71
4.1 Coulomb - Stöße im homogenen Plasma	71
4.1.1 Verschwinden des Coulomb - Stoßoperators im thermischen Gleichgewicht	72
4.1.2 Erfüllung der Erhaltungssätze beim Relaxationsvorgang	74
4.2 Simulationsrechnungen mit einem kalten Plasma	82
4.3 Wirkung eines Temperaturgradienten	88
4.3.1 Analytische Ergebnisse nach Spitzer und Härn (1953)	89
4.3.2 Analytische Ergebnisse für reduzierte Verteilungen	93
4.3.3 Vergleich zwischen analytischen und numerischen Ergebnissen	93
5 Ergebnisse des kinetischen Modells	99
5.1 Geometrie des Rechenfeldes und Anfangsbedingungen	99
5.2 Modellrechnungen für die untere Korona	103
5.2.1 Simulationen für ein Protonenplasma	104
5.2.2 Simulationen mit verschiedenen Ionen: p, He ²⁺ und O ⁵⁺	115
5.3 Fortsetzung des Modells in den Sonnenwind	125
5.3.1 Modell bis $h = 4 \cdot 10^5$ km	125
5.3.2 Modell über 3 Sonnenradien	131
5.4 Koronale Modelle bis zu $1R_\odot$	141
5.4.1 Rechnung mit Protonen, He ²⁺ und O ⁵⁺	142
5.4.2 Rechnung mit Protonen, He ²⁺ und Fe ¹³⁺	145

5.4.3 Rechnung mit Protonen, He^{2+} , O^{5+} und Fe^{16+}	151
5.4.4 Zusammenfassung der Modelle bis zu $1R_\odot$	158
6 Zusammenfassung und Ausblick	161
6.1 Zusammenfassung	161
6.2 Ausblick	166
A Coulomb – Stöße für reduzierte Verteilungen	167
A.1 Die Rosenbluth – Potentiale	168
A.1.1 Versuch, die Rosenbluth – Potentiale durch reduzierte Verteilungen $F_{j,k}(v_{j,\parallel})$ auszudrücken	168
A.1.2 Analytische Näherungsausdrücke für die Rosenbluth – Potentiale	169
A.2 Landau – Stoßintegral für reduzierte Verteilungen	173
A.2.1 Elimination von $\frac{\partial f}{\partial v_\perp}$ durch partielle Integration	174
A.2.2 Die Ableitungen der Rosenbluth – Potentiale	176
A.2.3 Reihenentwicklungen der Summanden von L_j nach Gl. (A.27)	177
A.2.4 Anwendung des Integraloperators I_k auf das Landau – Stoßintegral	179
A.3 Die Auswertung der Reihenentwicklungen	183
A.3.1 Das Konvergenzproblem	184
A.3.2 Analytische Funktionen für die Reihen über $(-y)^n$	186
A.3.3 Die Behandlung kleiner y	192
A.4 Zusammenfassung	196
B Symbolverzeichnis	199
Literaturverzeichnis	203
Danksagung	209
Lebenslauf	211