

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
1. Abstract	v
2. Kurzfassung	xi
3. Einführung und Problemstellung	1
3.1. Innere Planeten und Jupitersatelliten im Vergleich	1
3.2. Zielsetzung der Arbeit	3
I. Erforschung der Jupitermonde: Missionen und bisherige Erkenntnisse	5
4. Erkundung des Jupitersystems mit Raumsonden	7
4.1. Pioneer 10 und 11 - die ersten Sonden ins äußere Sonnensystem	7
4.2. Das Voyager-Projekt	8
4.2.1. Voyager - die "Grand Tour" ins äußere Sonnensystem	8
4.2.2. Missionsverlauf	9
4.3. Das Galileo-Projekt	11
4.3.1. Planung und Cruise-Phase	11
4.3.2. Die Orbit-Tour 92-14A der nominellen Galileo-Mission	13
4.3.3. Die Galileo Europa Mission (GEM)	15
4.3.4. Die Galileo Millennium Mission (GMM)	16
5. Die Jupitersatelliten im Überblick	19
5.1. Entdeckung der Jupitersatelliten und Bahnparameter	19
5.2. Physikalische Eigenschaften	21
5.2.1. Durchmesser der Galileischen Satelliten	21
5.2.2. Massen und mittlere Dichten	21
5.3. Geologie von Io, Europa und Ganymed im Überblick	23
5.3.1. Io	23
5.3.2. Europa	25
5.3.3. Ganymed	26
5.4. Die Geologie von Callisto im Überblick	29
5.4.1. Nomenklaturregeln für Oberflächenformen auf Callisto	29
5.4.2. Die Kraterebenen in globalem und regionalem Maßstab	30
5.4.3. Beobachtungsgebiete der Galileo-SSI-Kamera	33
5.4.4. Die Kraterebenen in hoher Auflösung	37
5.4.5. Impaktkraterformen	37

5.5.	Physikalische Eigenschaften der Oberflächen	42
5.6.	Zusammensetzung der Oberflächen der Galileischen Eissatelliten	46
5.6.1.	Teleskop-gestützte Messungen und Untersuchungen durch Voyager	46
5.6.2.	Ergebnisse spektroskopischer Untersuchungen der Galileo-Instrumente SSI und NIMS	47
5.6.3.	Kurzer Überblick über Ergebnisse der Galileo-Instrumente UVS und PPR	51
5.7.	Polarisations- und Radareigenschaften der Galileischen Satelliten	52
5.8.	Geophysikalische Eigenschaften und thermische Entwicklung der Galileischen Sa- telliten	54
5.8.1.	Trägheitsmoment und innerer Aufbau	54
5.8.2.	Wassereis-Polymorphe	54
5.8.3.	Dreischichtenaufbau der Galileischen Satelliten	55
5.8.4.	Magnetfelder in den Galileischen Satelliten	58
5.8.5.	Thermische Entwicklungsmodelle der Galileischen Satelliten	59
II.	Datenbasis und Arbeitsmethodik	65
6.	Die Kameras auf den Sonden Voyager und Galileo	67
6.1.	Eigenschaften der Voyager-Kameras	67
6.1.1.	Kamera-Aufbau und Kamera-Parameter	67
6.1.2.	Radiometrische Kalibration	71
6.1.3.	Geometrische Korrektur	73
6.2.	Eigenschaften der Galileo-SSI-Kamera	73
6.2.1.	Kamera-Aufbau und Kamera-Parameter	73
6.2.2.	Radiometrische Kalibration	79
6.2.3.	Methoden der SSI-Datenkomprimierung	79
6.3.	Kurze Beschreibung weiterer Fernerkundungs-Instrumente an Bord von Galileo	82
7.	Arbeitsmethodik und Datenprozessierung	85
7.1.	Arbeitsschwerpunkte	85
7.2.	Bildverarbeitung	85
7.2.1.	Anlage und Software zur Bilddatenprozessierung	85
7.2.2.	Verarbeitungsschritte der Bilddatenprozessierung	87
7.2.3.	Systematische Bilddatenprozessierung	87
7.2.3.1.	Radiometrische Korrektur	87
7.2.3.2.	Geometrische Korrektur von Voyager-Bilddaten	89
7.2.3.3.	Bestimmung von Kameraposition und Blickrichtung	89
7.2.3.4.	Photometrische Korrektur	90
7.2.3.5.	Kartenprojektion	91
7.2.3.6.	Geometrische Registrierung	93
7.2.3.7.	Transformation vom Halbwort- oder Real-Format ins Byte-Format	94
7.2.4.	Weiterverarbeitung von Schwarzweiß-Bilddaten	94
7.2.4.1.	Kontrastverstärkungen	94
7.2.4.2.	Kantenverstärkung: Räumliche Filterverfahren	95
7.2.4.3.	Schwarzweiß-Mosaik und Bildkarten	97

7.2.5.	Farbbilder zur Darstellung spektraler oder topographischer Unterschiede	98
7.2.5.1.	HSI-Farbraumtransformation	98
7.2.5.2.	Farbratios	99
7.2.5.3.	Anaglyphenbilder zur Stereodarstellung	100
7.3.	Methodik der photogeologischen Kartierung planetarer Oberflächen	100
7.3.1.	Definition geologischer und photogeologischer Einheiten	100
7.3.2.	Lithostratigraphische Einheiten	102
7.3.3.	Chronostratigraphische und chronologische Einheiten	105
7.3.4.	Benennung photogeologischer Einheiten	106
7.3.5.	Lineamente: Identifizierung und Kartierung	107
7.4.	Messung von Impaktkraterhäufigkeiten zur relativen und absoluten Altersdatierung	108
7.4.1.	Grundlagen	108
7.4.2.	Darstellungsmethoden von Kratergrößen-Häufigkeitsverteilungen	110
7.4.2.1.	Kumulative Kraterverteilung	110
7.4.2.2.	Differentielle Kraterverteilung	112
7.4.2.3.	Relative Kraterverteilung	112
7.4.3.	Gleichgewichtsverteilung	115
7.4.4.	Produktionsverteilungen des Erdmondes und der Galileischen Satelliten	116
7.4.4.1.	Die Produktionsverteilung des Erdmondes	116
7.4.4.2.	Herleitung von Produktionsverteilungspolynomen für die Galileischen Satelliten	118
7.4.5.	Impaktchronologiemodelle zur absoluten Altersdatierung	123
7.4.5.1.	Impaktchronologie des Mondes und der terrestrischen Planeten	123
7.4.5.2.	Impaktchronologiemodelle für das Jupitersystem	124
7.4.5.3.	Model I: Mond-ähnliches Asteroidenchronologiemodell	126
7.4.5.4.	Model II: Kometenchronologiemodell	130
7.4.6.	Durchführung von Kraterhäufigkeitsmessungen	135
7.4.6.1.	Messinstrument	135
7.4.6.2.	Systematische Fehler bei der Krater-Häufigkeitsmessung	136
7.4.6.2.1.	Genauigkeit des Messgeräts	136
7.4.6.2.2.	Statistische Fehler in der Bestimmung der Kraterhäufigkeit	137
7.4.6.2.3.	Fehler in der Bestimmung des Retentionsalters	137
7.4.6.2.4.	Statistische Fehler durch Maßstabsmittelung	138
7.4.6.2.5.	Fehler in den absoluten Modellaltern	139
7.4.6.3.	Zufällige Fehler	140
7.4.6.3.1.	Einfluss der Bildqualität auf die Messungen	140
7.4.6.3.2.	Fehlerhafte Messung von Sekundärkratern und Nicht-Impaktkratern	141
7.4.6.3.3.	Einfluss des Beobachters	141
7.4.7.	Lineare Interpolation von Kraterhäufigkeiten	141
7.4.8.	Abschätzung von Kraterhäufigkeiten	142

III. Ergebnisse und Ausblick

8. Chronostratigraphie und Chronologie des Galileischen Mondes Callisto	147
8.1. Übersicht	147
8.2. Burrianisches System	150
8.2.1. Strahlenkrater als stratigraphische Zeitmarken: Beispiel Erdmond	150
8.2.2. Typlokalität	152
8.2.3. Geologie der Typlokalität	152
8.2.4. Typlokalitäten geologischer Einheiten des Burrianischen Systems in regio- nalem Maßstab	154
8.2.5. Beginn und Dauer der Burrianischen Periode	157
8.2.6. Strahlenkrater auf Ganymed und Europa und ihre Datierung	159
8.2.6.1. Strahlenkrater auf Ganymed	159
8.2.6.2. Strahlenkrater auf Europa	163
8.2.7. Ein Blick ins Nachbarsystem: Strahlenkrater auf dem Saturnmond Rhea .	166
8.2.8. Geologische Prozesse in der Burrianischen Periode	168
8.3. Obere Serie des Valhallischen Systems	171
8.3.1. Typlokalität	171
8.3.2. Geologie der Typlokalität und Umgebung	173
8.3.3. Beginn und Dauer der späten Valhallischen Epoche	179
8.3.4. Heimdall und Lofn: ein Doppeleinschlag ?	181
8.4. Untere Serie des Valhallischen Systems	184
8.4.1. Typlokalität	184
8.4.2. Geologie der Typlokalität	184
8.4.3. Beginn und Dauer der Frühen Valhallischen Epoche	190
8.4.4. Weitere Typlokalitäten geologischer Einheiten des Valhallischen Systems .	193
8.4.5. Zielgebiet: Valhalla Plains Material (C3CSVALPLM01)	196
8.4.6. Zielgebiet: Valhalla Graben (C3CSVALGRB01)	199
8.4.7. Zielgebiet: Scarp and Smooth Plains (C3CSVALPLN01)	202
8.4.8. Zielgebiet: Gomul Catena (C3CSCATENA01)	208
8.4.9. Geologische Prozesse in der Valhallischen Periode	213
8.5. Asgardisches System	219
8.5.1. Typlokalität	219
8.5.2. Strukturelle Zonen und geologische Einheiten des Asgard-Beckens	219
8.5.3. Beginn und Dauer der Asgardischen Periode	231
8.5.4. Zielgebiet 30CSHIRES_02: Graben und Kraterebenen des Asgard-Beckens in sehr hoher Auflösung	234
8.5.5. Mögliche Spuren von Kryovulkanismus auf Callisto	237
8.5.5.1. Helle, glatte Gebiete	237
8.5.5.2. Dunkle, glatte Gebiete	238
8.5.6. Geologie und Datierung der Krater Har und Tindr	244
8.5.7. Geologische Prozesse in der Asgardischen Periode	251
8.6. Prä-Asgardisches System	255
8.6.1. Typlokalitäten	255
8.6.2. Geologie und Stratigraphie der Kraterebenen	257
8.6.3. Beginn und Dauer der Prä-Asgardischen Periode	260

8.6.4. Typlokalitäten geologischer Einheit des Prä-Asgardischen Systems in regionalem Maßstab	262
8.6.5. Kraterhäufigkeiten in Abhängigkeit des Winkelabstands zum Apex-Punkt	266
8.6.6. Die Ringbecken Adlinda und Vanaheim	269
8.6.7. Globales Inventar großer Impaktstrukturen in den Kraterebenen von Callisto	274
8.6.8. Die Kraterebenen in regionaler bis hoher Bildauflösung	280
8.6.8.1. SSI-Zielgebiet 20CSCRSTAT02 (265 m/pxl)	280
8.6.8.2. SSI-Zielgebiet C9CSCRATER01 (156 m/pxl)	282
8.6.9. Die Kraterebenen in höchster Bildauflösung	288
8.6.9.1. SSI-Zielgebiet 21CDDRKMAT01 (15 m/pxl)	288
8.6.9.2. SSI-Zielgebiet 30CSHIRES_01: 4 - 9 m/pxl	295
8.6.10. Farbdarstellungen der Kraterebenen	298
8.6.11. Tektonische Aktivität auf Callisto und der Zusammenhang zwischen tektonischer Deformation und Erosion	303
8.6.11.1. Hauptrichtungen von Lineamenten und Bruchstrukturen	303
8.6.11.2. Stressursachen	309
8.6.11.3. Erosion entlang tektonischer Schwächezonen	313
8.6.12. Geologische Prozesse der Prä-Asgardischen Periode	315
9. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	319
9.1. Kraterhäufigkeitsverteilungen und Impaktchronologiemodelle	319
9.1.1. Form der Produktionskraterverteilungen	319
9.1.2. Asteroiden oder Kometen als Hauptprojektilfamilie ?	321
9.1.3. Kleine Krater: primär oder sekundär ?	322
9.2. Unterteilung der geologischen Geschichte von Callisto in chronostratigraphische Systeme und chronologische Perioden	324
9.3. Die geologische Geschichte von Callisto	325
9.3.1. Entstehung und frühe Entwicklung	325
9.3.2. Prä-Asgardische und Asgardische Periode	328
9.3.2.1. Kraterebenen: Albedo- und Farbunterschiede	329
9.3.2.2. Kraterverteilungen; Erosions- und Degradationsprozesse	333
9.3.2.3. Ringstrukturen, Palimpseste und Impaktkrater	333
9.3.2.4. Mögliche Anzeichen für Kryovulkanismus	337
9.3.2.5. Tektonische Formen: Lineamente und Bruchstrukturen	337
9.3.3. Valhallische Periode	338
9.3.3.1. Frühe Valhallische Epoche: Entstehung des Valhalla-Beckens	338
9.3.3.2. Späte Valhallische Epoche: Entstehung des Lofn-Beckens	339
9.3.3.3. Impaktkrater und Erosionsraten der Valhallischen Periode	342
9.3.4. Burrianische Periode	346
9.3.4.1. Frische Impaktkrater mit Strahlensystemen	346
9.3.4.2. Erosions-, Abtragungs- und Ablagerungsprozesse	349
9.4. Ausblick: Anforderungen an eine neue Jupitermission	350
IV. Anhang	385

A. Kartenblatteinteilung der Callisto-Oberfläche	387
B. Geologische Karten und Statistik großer Einschlagsstrukturen	389