

### 3. Einführung und Problemstellung

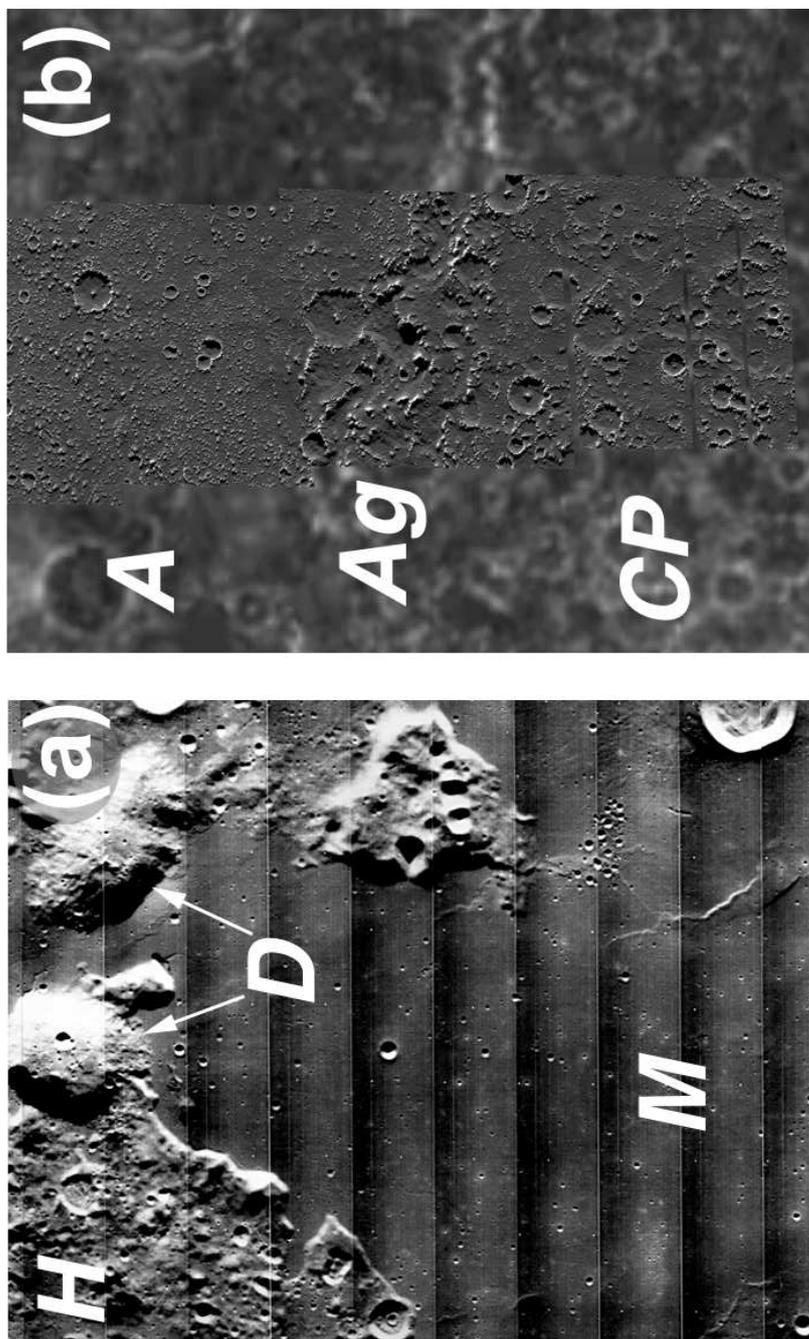
#### 3.1. Innere Planeten und Jupitersatelliten im Vergleich

Anzeichen vulkanischer Tätigkeit und tektonischer Beanspruchung, Erosions-, Transport- und Ablagerungsprozesse, dazu zahlreiche Impaktkrater und Einschlagsbecken sind gemeinsame Charakteristika der überwiegend aus Silikaten zusammengesetzten Oberflächen der erdähnlichen oder *terrestrischen Planeten* im inneren Sonnensystem (vergl. Bild 3.1 (a)). Auf der Erdoberfläche wurden die meisten Impaktkrater durch die mit Plattentektonik, Erosion und Sedimentation verbundenen Umwälzungen der Kruste bis auf einige hundert ausgelöscht. Auf dem Erdmond oder Mars sind sie dagegen noch in großer Zahl vorhanden und haben die Zeit seit dem heftigen Meteoritenbombardement in der Frühzeit des Sonnensystems überdauert.

Bis zur Entsendung unbemannter Sonden zu den vier großen Planeten des äußeren Sonnensystems Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun war der Kenntnisstand über Oberflächenmerkmale und Geologie ihrer Satelliten gering. Bekannt war, dass es sich im Gegensatz zu ihren überwiegend gasförmigen Zentralkörpern um den terrestrischen Planeten ähnliche Körper mit einer festen Oberfläche handelte. Vermutet wurde auch, dass zumindest einige der größeren Satelliten eine dünne Atmosphäre aufweisen könnten.

Auf den Oberflächen der Jupitersatelliten Europa, Ganymed und Callisto wurde bereits vor der Entsendung von unbemannten Raumsonden spektroskopisch das Vorhandensein von Wassereis nachgewiesen, auf Io stattdessen Schwefeldioxid (*Pilcher et al., 1972*). Aus den niedrigen mittleren Dichten der beiden Satelliten Ganymed und Callisto von weniger als  $2.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  schloss man auf überwiegend leichtere Bestandteile wie Wassereis im Gesamtaufbau. Wegen der gegenüber Felsgestein geringeren Festigkeit von Eis erwartete man, auf Europa, Ganymed und Callisto keine oder nur sehr wenige Einschlagskrater vorzufinden (z. B. *Johnson und McGetchin, 1973*).

Dieses Bild änderte sich drastisch, als die Sonden *Voyager-1* Anfang März 1979 und wenige Monate später (Juli 1979) *Voyager-2* die ersten detaillierten Bilder von den vier Galileischen Jupitersatelliten zur Erde übermittelten (*Smith et al., 1979a,b*): Io, der innerste der vier Satelliten, zeigte entgegen allen Erwartungen aktiven Vulkanismus, dagegen fehlten Impaktkrater völlig. Auf Europa und Ganymed wurden komplexe und tektonische Strukturen auf ihren Eisoberflächen entdeckt. Ebenfalls entgegen den Erwartungen bei Eisoberflächen erwies sich Ganymed als dicht mit Kratern bedeckt. Ein ähnliches Bild ergab sich für die dunkle Oberfläche von Callisto, die fast ausschließlich durch eine sehr hohe Einschlagskraterdichte und durch eine Reihe von Multiringbecken mit bis zu mehreren tausend Kilometern Durchmesser gekennzeichnet ist. Jeder einzelne dieser vier Galileischen Satelliten repräsentiert somit nicht nur einen an Oberflächenformen einzigartigen Körper, sondern auch jeweils eine bestimmte geologische Entwicklungsstufe.



**Abbildung 3.1.:** Charakteristische Oberflächenformen terrestrischer Monde und Eismonde im Vergleich: Erdmond und Callisto. Beide Teilbilder skaliert auf etwa 150 m/pxl Auflösung. (a) *Erdmond*: Gruithuisen-Region des Mondes mit Hochländern (*H*), vulkanischen Domen (*D*) und Marelaven (*M*), Ausschnitt des Lunar Orbiter Bildes LO IV 145 H2, Bildzentrum bei 35° N, 40° W; (b) *Callisto*: dunkle Krateren (*CP*) und Randbereich des Multiringbeckens Asgard (*A*) mit Grabenstruktur (*Ag*); Galileo-SSI-Zielgebiet 10CSASGARD01 im Kontext niedriger aufgelöster Daten (Zielgebiet C3CSASGRNG01, 1.1 km/pxl), 14.5° N, 142.1° W.

Vom 7. Dezember 1995 an befand sich die unbemannte Sonde *Galileo* im Jupitersystem, die am 18. Oktober 1989 von der Erde gestartet worden war. Seit Ende Juni 1996 lieferte das *Solid State Imaging System (SSI)*, eine CCD-Kamera, bei insgesamt 34 Umrundungen der Galileo-Sonde bis zu deren kontrolliertem Absturz in der Jupiteratmosphäre am 21. September 2003 trotz einer Reihe erheblicher technischer Beeinträchtigungen Bilder in hoher Auflösung von den vier Galileischen Jupitersatelliten. Auf der Basis der Bilddaten der beiden erfolgreichen Voyager- und Galileo-Missionen stellt sich die Geologie der Galileischen Monde im Überblick wie folgt dar (*Smith et al., 1979a,b; Belton et al., 1996b; Johnson, 1997*):

- Der rezent geologisch aktivste Satellit ist *Io*. Der durch Gezeitenkräfte induzierte Vulkanismus löschte alle Spuren früherer Meteoriteneinschläge aus. Die Galileo-Sonde fand einen nach wie vor vulkanisch aktiven Körper vor.
- *Europa* besitzt eine helle, sehr flache, durch Tektonik geprägte Oberfläche, die von einem Netzwerk dunkler Linien unterschiedlicher Morphologie durchzogen ist. Die Zahl der Einschlagskrater ist gering, die Europa-Oberfläche daher vergleichsweise jung.
- Die Oberfläche von *Ganymed*, des größten Satelliten im Sonnensystem, ist in zwei geologische Haupteinheiten unterteilbar: dunklere, ältere Gebiete mit hoher Kraterdichte, und hellere, jüngere mit geringerer Kraterdichte, aber mit einem charakteristischen Muster paralleler Rillen (*grooves*). Tektonische Prozesse waren die Ursache für die Entstehung dieses Systems von Rillen.
- Die Oberfläche von *Callisto*, des äußersten der vier Galileischen Satelliten, erscheint fast einheitlich dunkel und ist mit Einschlagskratern übersät. Einen Ausschnitt seiner Oberfläche zeigt Bild 3.1 (b) im Vergleich zur Mondoberfläche bei etwa gleicher Auflösung. Wesentliche Oberflächenmerkmale sind Krater Ebenen mit einer Vielzahl von Kratern (*CP* in Bild 3.1 (b)) und eine Reihe von großen Multiringbecken mit Durchmessern bis zu mehreren tausend Kilometern (Beispiel Asgard-Becken (*A*) mit konzentrischen Grabenstrukturen *Ag* in Bild 3.1 (b)). Ist die Oberfläche von Europa und Ganymed von Tektonik geprägt, so sind Spuren von Einschlägen und intensiver Erosion die Hauptkennzeichen der Callisto-Oberfläche.

### 3.2. Zielsetzung der Arbeit

Dem ziemlich genau merkur-großen Satelliten Callisto kommt innerhalb des Jupitersystems eine Schlüsselstellung zu:

- Die dicht bekraterte, geologisch wenig veränderte Oberfläche weist am weitesten in die Geschichte des Jupitersystems zurück.
- Die Oberfläche ist zum überwiegenden Teil nur durch Impakt- und Abtragungsprozesse geprägt.
- Es ist unklar, ob und mit welcher Intensität kryovulkanische und tektonische Aktivität stattgefunden und ihre Spuren an der Oberfläche hinterlassen haben.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, aus dem Voyager- und Galileo-SSI-Bilddatenmaterial durch *photogeologische Kartierung, Messung von Impaktkraterhäufigkeiten* und durch *Anwendung von Impakt-Chronologiemodellen* **(1)** Kenntnisse über den zeitlichen Ablauf und die Dauer der geologischen Prozesse auf Callisto zu gewinnen, **(2)** markante Einschlagsereignisse zu datieren, anhand dieser Datierungen **(3)** ein chronostratigraphisches Unterteilungssystem zu entwerfen und **(4)** die einzelnen geologischen Einheiten in dieses System einzuordnen. Als Datenbasis dienen die von Voyager-1, Voyager-2 und Galileo gesendeten Bilddaten in unterschiedlichen räumlichen Auflösungen (2 km/pxl bis maximal 4 m/pxl). In Abhängigkeit von der verfügbaren Bildauflösung ergaben sich thematisch dabei folgende Arbeitsschwerpunkte:

1. Zunächst stand die Datierung der Multiringbecken und die **Erstellung eines chronostratigraphischen Systems** im Vordergrund. Dies erfolgte auf SSI-Bilddaten regionaler Auflösung (0.4 - 2 km /pxl).
2. Die bereits auf Voyager-Basis kartierten Kraterebenen (vergl. *Wagner und Neukum, 1994b*) wurden anhand der SSI-Daten in Bildauflösungen zwischen 700 m/pxl und 4.3 km/pxl vervollständigt und unter dem Aspekt des erstellten chronostratigraphischen Systems überarbeitet. Von Voyager nicht ausreichend abgedeckte Gebiete wurden neu kartiert.
3. SSI-Daten hoher ( $< 0.5$  km/pxl) und höchster räumlicher Auflösung ( $< 50$  m/pxl) schließlich wurden benutzt
  - a) zur **Untersuchung und Datierung von Erosionsprozessen,**
  - b) zur **Suche nach Anzeichen möglicher kryovulkanischer Aktivität und deren Datierung,**
  - c) zur **Detaillkartierung von Kratern und Untersuchung ihrer Altersstellung,**
  - d) und zum **Nachweis und zur Kartierung tektonischer Strukturen.**

Die Oberfläche von Callisto wurde durch den U. S. Geological Survey in 15 Kartenblätter oder *Quadrangles* mit den Kurzbezeichnungen Jc-1 bis Jc-15 unterteilt, für die je ein kontrolliertes Photomosaic (*controlled photomosaic*) aus Voyager-Bilddaten erstellt und als Bildkarte im Maßstab 1 : 5,000,000 veröffentlicht wurde. In Tabelle A.1 in Anhang A sind die Namen der 15 Quadrangles für Callisto und ihre geographische Lage aufgelistet. Bild A.1 (Anhang A) zeigt die geographische Lage der Kartenblätter. Zur besseren Übersicht werden die Namen dieser Quadrangles hier häufiger verwendet, auch wenn Arbeitsgebiete mehr als nur einen Quadrangle umfassen.