

## *Deutsche Zusammenfassung*

### DIE NATUR VON ERDNAHEN ASTEROIDEN ABGELEITET AUS DEM STUDIUM IHRER THERMISCHEN INFRAROT-EMISSIONEN

Das Thema dieser Dissertation ist die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften von erdnahen Asteroiden (NEAs), um unser Verständnis ihrer Natur, ihren Ursprungs und ihre Beziehung zu Hauptgürtelasteroiden (MBAs) zu verbessern.

Ein Hauptaspekt dieser Forschungsarbeit ist der Einsatz verbesserter thermischer Modelle zur Beschreibung der Infrarot-Emissionen von Asteroiden. Ziel der Modellierung ist die Bestimmung von Größe, Albedo und anderen Eigenschaften von NEAs aus Beobachtungsdaten.

Einen Kernpunkt dieser Arbeit stellt die Diskussion der Ergebnisse von drei neuen Beobachtungsprogrammen, mit dem 10m Keck 1 Teleskop, dem NASA-Infrared Telescope F. (IRTF) auf dem Mauna Kea, Hawaii, und dem 3,6m Teleskop auf der Europäischen Südsternwarte (ESO) in La Silla, Chile, dar. Diese Beobachtungsprogramme umfassten die Messung der thermalen Emission von 32 NEAs im mittleren Infrarot (Mid-IR) von 5-20  $\mu\text{m}$ .

Durch einen Fit der thermischen Modelle an die Beobachtungsdaten konnten wir Größe sowie Albedo einer beachtlichen Anzahl von erdnahen Asteroiden bestimmen. Diese Arbeit erhöht die Anzahl von NEAs mit bekannten Größen und Albedos um 54%. Nimmt man Objekte hinzu, deren Durchmesser und Albedo korrigiert wurden, so erhöht sich diese Zahl sogar auf 70%. Die Besonderheit unseres Projektes besteht in der Möglichkeit, kleinere und lichtschwächere Objekte zu studieren, die sonst nur mit neuesten Mid-IR Instrumenten und den größten erdgebundenen Teleskopen zugänglich waren. Bisher gab es nur sehr wenige Beobachtungen von Asteroiden der Größenordnung von einem Kilometer und wir konnten die Anzahl von Sub-Kilometer NEAs mit bekannter Größe und Albedo mehr als verdoppeln. Die von uns erhaltenen qualitativ guten Daten bilden die größte Datenbank von radiometrischen Durchmessern und Albedos von NEAs.

Die genaue Größenbestimmung einer großen Anzahl von NEAs ermöglicht uns, neben der Beurteilung der Auswirkungen eines möglichen Einschlages auf unserem Planeten, wichtige Rückschlüsse auf deren Oberflächeneigenschaften.

Wir konnten bestätigen, dass die Verteilung der NEA-Albedos sehr breit ist ( $p_v = 0.02 - 0.55$ ), was im Einklang zu der Tatsache steht, dass sie aus mehr als einer Ursprungsregion gespeist werden. Allerdings erwiesen sich die beobachteten NEAs im Allgemeinen als heller als MBAs. Der durchschnittliche Wert der radiometrisch bestimmten Albedos kann mit 0.27 angegeben werden und liegt damit viel höher als die durchschnittliche Albedo von beobachteten MBAs ( $\sim 0.11$ ). In den meisten Fällen bewegen sich die Albedos in den aufgrund ihrer taxonomischen Art erwarteten Bereichen, obwohl einige Ausnahmen evident wurden. Im Allgemeinen fanden wir, dass beobachtete S-type NEAs im Durchschnitt 20% heller als S-type MBAs sind, wobei beobachtete C-type NEAs im Durchschnitt 57% höhere Albedos als C-type MBAs haben. Solch eine Diskrepanz in der Albedo Statistik zwischen großen und kleinen Asteroiden impliziert einen fundamentalen Unterschied in den Oberflächeneigenschaften von kleinen Asteroiden im Vergleich zu den größeren. Wir zeigen weiterhin, dass es eine Variation der Oberflächeneigenschaften mit der Größe innerhalb der NEAs selbst gibt. In diesem Zusammenhang konnte ein Trend von steigender Albedo mit sinkendem Durchmesser von S-type NEAs identifiziert werden. Wir argumentieren weiter, dass dieser Trend ein Anzeichen von erst letztlich freigelegten und dem „space-weathering“ ausgesetzten Oberflächen ist. Dieses Ergebnis ist konsistent mit dem Trend zu Reflexionsspektren von gewöhnlichen Chondriten bei kleineren NEAs, der auch auf das verringerte space weathering an jungen Oberflächen zurück geführt wird.

NEAs weisen nicht nur eine höhere Albedo als die größten MBAs auf, sie differieren auch in ihren thermalen Oberflächeneigenschaften. Unsere Arbeit bestätigt die Hypothese, dass diese Asteroiden eine größere thermische Trägheit als große MBAs haben und wir leiten im Zuge dessen einen best-fit Wert von  $550 \pm 100 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-0.5} \text{ K}^{-1}$  für die thermische Trägheit der beobachteten NEAs ab. Dieser Wert ist ungefähr 11-mal höher als der des Mondes und 30-mal höher als der der größten Asteroiden 1 Ceres und 2 Pallas. Dieses Resultat hat wichtige Implikationen für unser Verständnis von Natur und Ursprung dieser Objekte. Zum Beispiel weist eine höhere thermische Trägheit auf gröberes Regolith auf der Oberfläche dieser Asteroiden im Vergleich zu der des Mondes und, sehr wahrscheinlich, auf eine andere Oberflächen-Felsverteilung in Bezug auf große MBAs hin.

Dieses Resultat ergab sich aus dem Studium der Korrelation von beobachteter Verteilung der Oberflächen-Farbtemperatur von NEAs als Funktion des Phasenwinkels im Lichte eines thermophysikalischen Modells. Das in dieser Arbeit entwickelte Modell bezieht Effekte wie Rotationsrate, thermische Trägheit und Oberflächen-Rauhigkeit für die Berechnung der thermischen Emission von Körpern ohne Atmosphäre ein. Im Speziellen konnten wir demonstrieren, dass die beobachtete Verteilung der Farbtemperatur in Abhängigkeit vom Phasenwinkel als Mittel zur Bestimmung der thermischen Trägheit (und zum Teil der Oberflächen-Rauhigkeit) der beobachteten Asteroiden unter der Annahme von zufällig verteilten Spin-Vektoren benutzt werden kann.

Mit Hilfe unseres thermophysikalischen Modells konnten wir eine quantitative Bestimmung der Unsicherheiten in Albedo und Durchmesser der NEAs, abgeleitet mit dem Standard Thermal Model (STM) und dem Near Earth Asteroid Thermal Model (NEATM), die beide Annahmen über die Oberflächentemperaturverteilung und thermische Trägheit von NEAs machen, gewinnen. Weiterhin haben wir numerisch eine Korrekturfunktion für die radiometrischen Durchmesser und Albedos, die aus dem STM bzw. aus NEATM ermittelt werden, bestimmt, vorausgesetzt Spin Status und thermische Parameter des Asteroiden sind bekannt. Sind solche Informationen nicht verfügbar, kann die Genauigkeit der NEATM Ergebnisse immer noch auf Basis der abgeleiteten Farbtemperatur der Objekte abgeschätzt werden.

Unsere aufregenden neuen Ergebnisse legen nahe, dass die Analyse von thermischen Infrarot-Beobachtungen von NEAs unterschiedlicher Größe und Klasse mit Hilfe von thermophysikalischen Modellen ein Studium der in der NEA Population vorkommenden thermischen Eigenschaften und Oberflächenstrukturen möglich macht.