

Autonome Beobachtung von Transient Lunar Phenomena

H. Mohn; O. Balagurin¹; H. Kayal¹

¹Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Institut für Informatik
Am Hubland, 97074 Würzburg, Deutschland

Transient Lunar Phenomena (TLP) sind noch nicht gänzlich geklärte Leuchtphänomene auf dem Mond. Um den Ursprung dieser Phänomene zu erforschen, fehlt es an Quantität und Qualität der Daten. Eine für diesen Zweck neu entwickelte Beobachtungseinheit (*Moonspy*) kann autonom hochwertige Beobachtungen von Anomalien auf dem Mond aufzeichnen. Durch den regelmäßigen Einsatz ist es so möglich in Zukunft mehr wertvolle Daten über TLP zu erhalten. Das *Moonspy* System konnte in mehrfachen Feldversuchen erfolgreich getestet werden. Dieses neue Werkzeug der TLP Forschung soll hier vorgestellt werden.

1 Transient Lunar Phenomena

TLP sind zeitlich beschränkte Phänomene auf dem Mond, die als lokale Helligkeits- und Farbänderungen beobachtet werden können. Analysen von TLP Sichtungen unterscheiden vier Kategorien [1]:

1. Aufhellung
2. Rotverfärbung
3. Blauverfärbung
4. Verdunklung/Abschattung

Die Ausdehnung eines TLP liegt je nach Typ unter 100 km und häufig auch unter einem Kilometer. Bestimmte Krater sind statistisch gesehen besonders häufig betroffen. Die Zeitdauer variiert zwischen unter einer Sekunde bis zu mehreren Stunden [2] und die Rate liegt bei ca. einem TLP pro Monat [3].

Es existieren vielfältige Theorien, da der Ursprung und die physikalischen Zusammenhänge der TLP noch nicht gänzlich geklärt sind. Zwar können Leuchterscheinungen auch durch Meteoriteneinschläge verursacht werden [4], jedoch zeigen diese keine Häufungen an bestimmten Kratern auf. Dies ist jedoch bei TLP Sichtungen der Fall [3]. Eine weitere Entstehungshypothese ist die Vermutung von jungen Lavaströmen auf dem Mond [5]. Vulkanausbrüche könnten zu starker Staubaufwirbelung führen und ursächlich für manche TLP Beobachtungen sein. Auf Grund der leicht elliptischen Umlaufbahn des Mondes um die Erde, variieren die Anziehungskräfte auf den Mond je nachdem, ob sich der Mond im Apogäum oder im Perigäum befindet. Auch tektonische Effekte könnten der Grund für das Freiwerden von Gasvorkommen unter der Mondoberfläche sein [3]. Dieses Gas würde das Spektrum des von der Sonne reflektierten Lichts abändern und durch das Aufwirbeln von Gas für die beschriebenen Effekte verantwortlich sein.

Um herauszufinden welche Ursachen hinter den TLP stecken, gibt es TLP Forschungsansätze bei der Primär-

und Sekundärforschung. Forschungssonden, die in den letzten 20 Jahren den Mond in situ im Fokus hatten, konnten das Wissen über den Mond erweitern bzw. sogar verändern. Dieses Wissen dient sekundär auch der TLP Forschung. Um primär TLP zu erforschen konzentriert sich dieses Projekt auf die Fragestellung, wie Daten über TLP auf primären Weg optimal erfasst werden können.



Abb. 1: *Moonspy* - autonomes TLP Beobachtungssystem

- 1: Transportgehäuse
- 2: Kamera [12] und Optik [14]
- 3: Montierung [13]
- 4: Sternenkamera [13]
- 5: Spannungsversorgung
- 6: Handsteuerung der Montierung [13]
- 7: *Moonspy* Interface

2 Autonomie in der Beobachtung

Auf Grund des nicht vorhersehbaren und seltenen Auftretens der TLP sind Beobachtungen durch Menschen selten. Aktiv einen Beobachter an ein Teleskop zu setzen und bei einem Phänomen eine Videoaufnahme zu starten ist daher nicht praktikabel. Als Alternative dazu sind stundenlange Videoaufzeichnungen in hoher Qualität und hoher Bildwiederholrate sehr speicherintensiv. Auch diese müssten bei einer Nachbereitung auf TLP analysiert werden. Wenn überhaupt, wäre nur eine sehr geringe Datenmenge signifikant.

Der Stand der Technik bei der Umsetzung dieses Projekts ermöglichte es einen anderen Weg zu gehen. Trotz der hohen Datenrate ist die Rechenleistung ausreichend, um Bilder in Echtzeit auf Merkmale zu untersuchen. Somit ist es möglich eine Entscheidung zu treffen, ob ein Bild nach bestimmten Kriterien auffällig ist. Daten werden nur permanent gespeichert, wenn dies der Fall ist (siehe Abschnitt 3.3).

An der Universität Würzburg gibt es aktuelle Forschungen zu der autonomen Erkennung von Leuchtphänomenen. Das *Autonome Sensor Autonome Planungs*-System (ASAP) steigert die Autonomie des Satellitenbetriebs, in dem es selbstständig Ziele bestimmt und die Beobachtung von kurzzeitigen, nicht planbaren Ereignissen ermöglicht [6]. Die TLP Beobachtung hat mehrere Parallelen zu diesem System, jedoch mit einem konstanten Beobachtungsziel, dem Mond.

Doch in wie weit ist ein System autonom? Autonomie wird auf unterschiedliche Weise definiert und man kann Abstufungen der Autonomie unterscheiden. Der Begriff *autonom* kommt aus dem griechischem und setzt sich aus den Worten *autós* (selbst) und *nómos* (Gesetz) zusammen. Synonyme reichen von selbstständig bis selbstbestimmt. Wird eine Handlung ohne Steuerung von außen ausgeführt, so ist sie selbstständig und stellt einen schwachen Grad der Autonomie dar - **schwache Autonomie**. Besitzt ein System zu dem noch Entscheidungsfreiheit über sein Handeln, so wäre dies eine deutlich stärkere Ausprägung an Autonomie - **starke Autonomie**. [7]

Das *Moonspy* System wurde so entworfen, dass es in hohem Maße selbstständig ist. Nach der Inbetriebsetzung des Systems, kann es ohne Steuerung von außen agieren. Die Sternenkamera erlaubt ein selbstständiges Ausrichten der Montierung an dem Beobachtungsort. Nach dem Ausrichten ist es in der Lage die Orbitparameter des Mondes aus einer Datenbank abzurufen und sich gezielt danach auszurichten. Da der Mond eine elliptische Umlaufbahn um die Erde hat, ist ein Nachführen mit konstanter Geschwindigkeit nicht möglich. Der Mond würde immer wieder aus dem Sichtfeld wandern. Deshalb verwendet die Montierung ein eigenes Nachführprogramm, das den Mond stetig im Sichtfeld der Kamera hält.

Das Leuchten des Mondes kann nun von der Optik eingefangen und auf die Bildebene des Kamerasensors geleitet werden. Ein Digital Analog Konverter gibt die durch Photonen freigesetzten Ladungen als diskrete Werte aus. Diese Helligkeitsinformationen aller Pixel ergeben ein fertiges Bild, welches an den Betriebsrechner gesendet wird. Dort wird jedes Bild von der *Moonspy* Software analy-

siert. Je nach Ergebnis der Analyse wird eine Videosequenz gespeichert oder verworfen. Ein Steuern von außen ist während der gesamten Beobachtungsphase nicht notwendig.

Abbildung 1 zeigt die Hardwarekomponenten des *Moonspy* Systems. Das Interface besteht aus einem Taster zum Starten des Systems und einer Bildschirmereinheit. Externe Steuereingaben sind Dank der autonomen Prozesse nicht notwendig.

3 Moonspy System zur TLP Beobachtung

Moonspy ist ein in sich komplettes System für die autonome Beobachtung von TLP. Die Systemeinheit ist von der Größe eines Koffers und somit mobil. Sie kann an einen beliebig günstigen Ort aufgestellt werden. Einmal aktiviert verfolgt das System den Mond am Firmament, verarbeitet in Echtzeit bis zu 50 Bilder pro Sekunde und startet eine Aufnahme beim Erreichen einer Auslöseschwelle. Die kurzen Sequenzen der gespeicherten Aufnahmen können dann nach einer Beobachtungsperiode ausgelesen werden.

Im Folgenden werden die Systemparameter präsentiert. Anschließend wird auf das Sichtfeld und die TLP Erkennung eingegangen, bevor abschließend die Feldversuche beschrieben werden.

3.1 Systemparameter

System	
Sichtfeld	0.62 °
Sichtfeld Reserve	11-26 %
Pixelauflösung	3,8-4,3 km/px
Kamera [12]	
Sensor	CMOS Mono
Auflösung	1280x1024 px ²
Farbtiefe	10 bit
Bildwiederholrate	50 fps
Montierung [13]	
Max Geschwindigkeit	3 °/s
Nachführprogramm	Lunar
Alignment	Sternenkamera
Optik [14]	
Brennweite	500 mm
Blende	F/8

Tab. 1: Technische Daten des *Moonspy* Systems

3.2 Sichtfeld

Das Sichtfeld bezeichnet den Bereich der Optik und der Kamera, innerhalb dessen Ereignisse erkannt und aufgezeichnet werden können. Dies ist ein sehr entscheidender Parameter der Beobachtungseinheit, der nach den folgenden Kriterien ausgewählt wurde.

Als Designkriterium des Systems wurde eine Pixelauflösung von mind. 5 km/px angesetzt, um Phänomene

auf dem Mond detektieren zu können (siehe Abschnitt 1). Diese Pixelauflösung beschreibt die Fläche auf dem Mond, die durch ein Pixel auf dem Sensor repräsentiert wird. Das System aus Optik und Kamera wurde so ausgelegt, dass der Mond als Ganzes im Sichtfeld liegt. Zusätzlich hat das Sichtfeld noch eine Reserve, die Ungenauigkeiten der Montierung und Kamerajustierung ausgleicht. Die Kamera und Optik wurden so ausgewählt, dass der gesamte Mond mit einer Reserve von $> 10\%$ des Monddurchmessers im Sichtfeld liegt.

Dieses geforderte Sichtfeld wurde mit Hilfe der Gleichung 1 berechnet.

$$\alpha_{Mond} = 2 * \arctan\left(\frac{D_M + x}{2 * r}\right) = 0,54^\circ$$

α_{Mond} : gefordertes Sichtfeld

D_M : Monddurchmesser (1738 km)

x : Reserve des Sichtfeldes (10% von D_M)

r : Distanz zw. Mond und Beobachter

Gleichung 1: Berechnung des geforderten Sichtfeldes zur TLP Beobachtung.

Die Größe des minimal geforderten Sichtfeldes ist jedoch abhängig von der geringsten Distanz zwischen dem Beobachter und dem Mond. Tabelle 2 beleuchtet verschiedene Szenarien. Als Maximalwert wurde zum einen die erdferne Position des Mondes im Apogäum gewählt. Zusätzlich zu der Position des Mondes im Orbit wurde noch die Position am Firmament des Beobachters betrachtet. Für die maximale Entfernung ist diese am Horizont des Beobachters am höchsten. Der Minimalwert für die Distanz ist die erdnahe Position des Mondes im Perigäum mit dem Mond im Zenith.

Position im Orbit	Position im Firmament	Distanz r [km]
Apogäum	Horizont	405500
Apogäum	Zenith	399122
Perigäum	Horizont	363300
Perigäum	Zenith	356922

Tab. 2: Abstand zwischen Mond und Beobachter

Das Sichtfeld des *Moonspy* Systems wurde so ausgewählt, dass es mindestens dem geforderten Sichtfeld entspricht. Entscheidend hierfür sind die Sensorgröße der Kamera und die Brennweite der Optik. Die Berechnung hierfür geht aus der Gleichung 2 hervor.

$$\alpha_{Moonspy} = 2 * \arctan\left(\frac{S}{2 * f}\right) = 0,62^\circ$$

$\alpha_{Moonspy}$: Sichtfeld des *Moonspy* Systems

S : Sensorhöhe

f : Brennweite

Gleichung 2: Sichtfeld des *Moonspy* Systems

Die Kamera und Optik wurden so ausgewählt, dass der gesamte Mond mit einer Reserve im Sichtfeld liegt.

Neben der Wahl des passenden Sichtfeldes ist die Sensorauflösung entscheidend, um innerhalb des Bildfeldes auf dem Sensor die geforderte Pixelauflösung von besser als 5 km/px zu gewährleisten. Die Pixelauflösung hängt von der Distanz r ab. Bei größerer Distanz r ist der Sichtwinkel des Mondes kleiner und der Bereich der Reserve größer.

Mittels der beiden Extrema der Abstände wurde der Wertebereich der Reserve des Sichtfeldes und der Pixelauflösung berechnet (siehe Tabelle 3).

Distanz r	Reserve	Pixelauflösung
405500 km	26 %	4,3 km/px
356922 km	11 %	3,8 km/px

Tab. 3: Reserve und Pixelauflösung in Abhängigkeit zur Distanz zum Mond

Somit kann mit dem *Moonspy* System unabhängig von der Distanz des Mondes zum Beobachter eine Auflösung kleiner 5 km/px gewährleistet werden. Eine Übersicht zu den Systemparametern befindet sich in Tabelle 1.

3.3 TLP-Erkennung



Abb. 2: Die als *Stuart Event* bekannte Aufnahme eines TLP der Kategorie 1: Aufhellung von Dr. L. H. Stuart (1953). In der Mitte der Abbildung ist ein heller Bereich mit deutlich höherer Leuchtdichte zu erkennen. [8]

Die Bildererkennung ermöglicht dem *Moonspy* System den kontinuierlichen Strom an Bildmaterial auf Merkmale zu überprüfen. Nur bei der Erkennung von definierten Merkmalen wird das Bildmaterial gespeichert. Zum einen ist so der Bedarf an Speicherplatz bei hochauflösenden Bildern mit hoher Bildwiederholrate deutlich geringer. Zum anderen liefert es dem Wissenschaftler in der Analyse der Daten eine deutlich interessantere

Datenmenge. Die gute Wahl dieser Merkmale ist jedoch ausschlaggebend für die wissenschaftliche Betrachtung und statistischen Einordnung der gesammelten Daten. Zu Beginn dieses Abschnitts wird der verwendete Sensor vorgestellt. Anschließend wird der Algorithmus zur Erkennung von TLP erläutert.

In dieser hier vorgestellten Beobachtungseinheit wird ein CMOS Mono Sensor verwendet. Dieser liefert Bilder im Graustufenbereich mit einer maximalen Farbtiefe von 10 bit. Somit sind bis zu 1024 Graustufen für jedes Pixel unterscheidbar. Durch die fehlende Farbinformation ist vorab eine Auswahl der detektierbaren Phänomene getroffen worden. Diese Beobachtungseinheit konzentriert sich auf die Erkennung von TLP der Kategorie 1: Aufhellung (siehe Abschnitt 1). Diese Kategorie beschreibt die deutliche Steigerung der Leuchtdichte im Verhältnis zu der restlichen Mondoberfläche (siehe Abbildung 2). Als *signifikant* wird im Folgenden eine Erhöhung der Helligkeit über den Auslöseschwellwert bezeichnet.

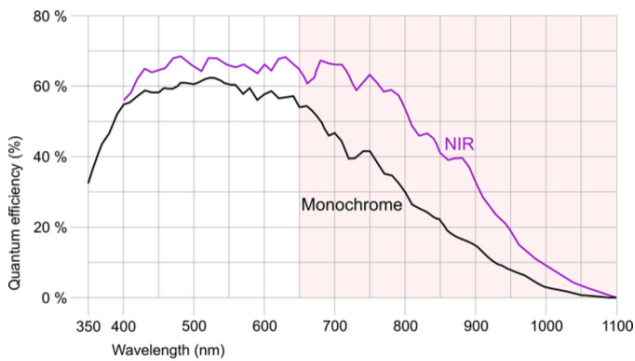


Abb. 3: Empfindlichkeit des Kamerasensors in Abhängigkeit zu der elektromagnetischen Wellenlänge der Photonen. Zwei Bereiche werden unterstützt: der rein 'Monochrome' Bereich im Bereich des für Menschen sichtbaren Lichts und der 'NIR' Bereich, der zusätzlich empfindlich für einen Bereich im nahen Infrarot ist. [12]

Abbildung 3 zeigt die **Quanteneffizienz** (QE) des Sensors und die starke Abhängigkeit zu der Wellenlänge des elektromagnetischen Spektrums [9]. Die QE gibt an mit welcher Wahrscheinlichkeit ein auf den Sensor treffendes Photon einer gewissen Wellenlänge durch den photoelektrischen Effekt ein Elektron frei setzt. Durch die Messung dieser Elektronen eines jeden Pixels ist es indirekt möglich Photonen zu detektieren. Die Menge an freigesetzten Elektronen eines Pixels pro Zeiteinheit (Belichtungszeit) bestimmen den Helligkeitswert des Pixels.

Die **Full Well Capacity** (FWC) ist ein Parameter eines Sensors, der angibt wie viele Ladungen ein einzelnes Kamerapixel bis zur Sättigung aufnehmen kann [9]. Das *Moonspy* System hat eine feste Blende. Ist es auf den Mond ausgerichtet so detektieren einige Kamerapixel freigewordene Ladungen, die in Abhängigkeit der QE

durch Photonen gewisser Wellenlänge ausgelöst wurden. Nur durch den Parameter der Belichtungszeit ist es möglich ein ausgewogen belichtetes Bild des Mondes zu erhalten. Ist die Belichtungszeit zu lang, so werden die meisten Pixel gesättigt sein. Diese Pixel haben dann die Farbe Weiß. Helligkeitsunterschiede sind so nicht mehr erkennbar, da durch eine noch längere Belichtung immer noch der selbe Farbwert ausgegeben wird. Ist die Belichtungszeit zu kurz, so werden nicht genug Ladungen pro Pixel gemessen und es wird keine Graustufe erreicht. Die Farbe Schwarz ist das Resultat.

Die Bilderkennung in diesem Beobachtungssystem baut auf diese Tatsachen auf. Ein Auslöseschwellwert wurde definiert, der ab einer bestimmten Helligkeit die Aufnahme eines TLP veranlasst. Durch die Betrachtung der Durchschnittshelligkeit der Pixel des Mondes und dem Maximalwert aller Pixel wird eine optimale Einstellung der Software möglich. Umso höher der Maximalwert ist, der von Pixeln innerhalb des Bildes erreicht wird, desto empfindlicher reagiert die Erkennung auf Helligkeitssteigerungen. Ist der Maximalwert nahe der 100% Sättigung, so reicht schon ein durch die Atmosphäre verursachtes Rauschen, um einige Pixel über den Auslöseschwellwert zu bringen. Die Belichtungszeit wird so ausgewählt, dass das resultierende Bild des Mondes (ohne TLP) keine voll gesättigten Pixel enthält und nur bei einer deutlichen Helligkeitssteigerung der Auslöseschwellwert erreicht wird.

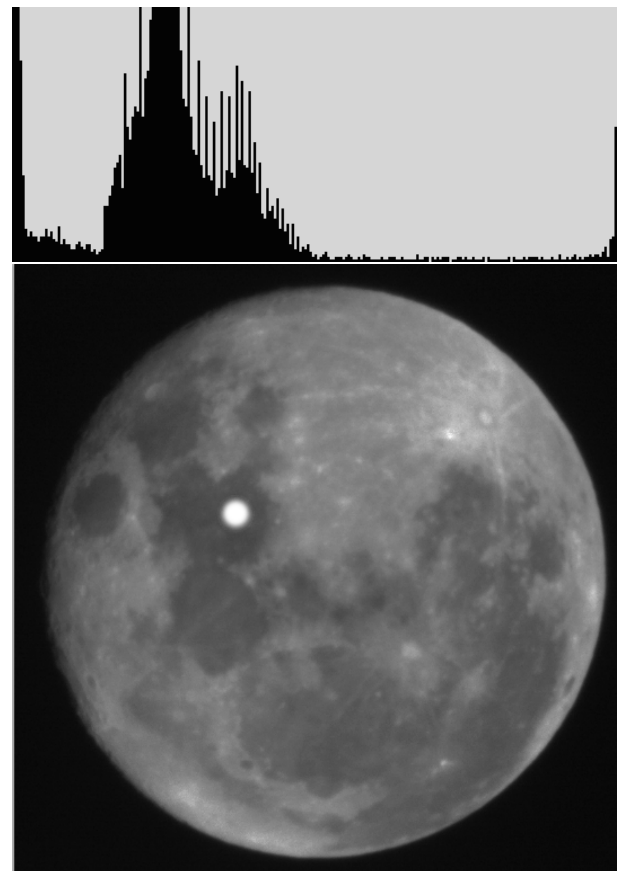


Abb. 4: Simulation eines TLP und Analyse mittels Histogramm (Autor)

Die Abbildung 4 zeigt ein bearbeitetes Bild des Mondes, welches mit dem *Moonspy* System aufgenommen wurde. Das dazugehörige Histogramm zeigt eine Häufigkeitsverteilung der Pixelhelligkeit an. Das Diagramm beginnt links mit schwarzen Pixeln und endet rechts mit den Pixeln, welche die FWC erreicht haben. Durch den dunklen Hintergrund ist eine starke Ausprägung bei den sehr dunklen Graustufen zu erkennen. Eine weitere breit angelegte Häufung spiegelt die Graustufen des Mondes wieder. Ganz an der rechten Seite ist die Häufigkeit der weißen Pixel angegeben, welche durch das simulierte TLP verursacht wurde. Durch diese Pixel über dem Auslöseschwellwert würde eine Aufnahme starten.

3.4 Test

Bei mehreren Feldversuchen wurden die Teilsysteme und schlussendlich auch das Gesamtsystem *Moonspy* erfolgreich getestet. Das Testen der TLP-Erkennung und die damit verbundene automatische Auslösung einer Aufzeichnung wurde durch eine künstliche Lichtquelle simuliert. Die zusätzlichen Photonen, die zum Beispiel von einer Taschenlampe kommen können, bringen einige Pixel in die volle Sättigung der FWC und somit über die Auslöseschwelle. Im Folgenden wird beschrieben wie eine Messung vorbereitet wird.

Jede Messung beginnt mit der Auswahl eines geeigneten Beobachtungsortes im Zusammenspiel mit günstigen Wetterbedingungen und der Mondphase. Bei den Feldversuchen im Winter 2014 wurden Messungen innerhalb Deutschlands außerhalb von großen Städten in Brandenburg und Baden Württemberg vorgenommen.

Zu Beginn der Messung muss die Montierung ausgerichtet werden. Die Montierung verwendet hierzu die Sternenkamera und arbeitet vollautomatisch. Das lunare Nachführprogramm der Montierung wird nach abgeschlossener Ausrichtung gestartet und hält den Mond innerhalb des Sichtfeldes der Kamera.

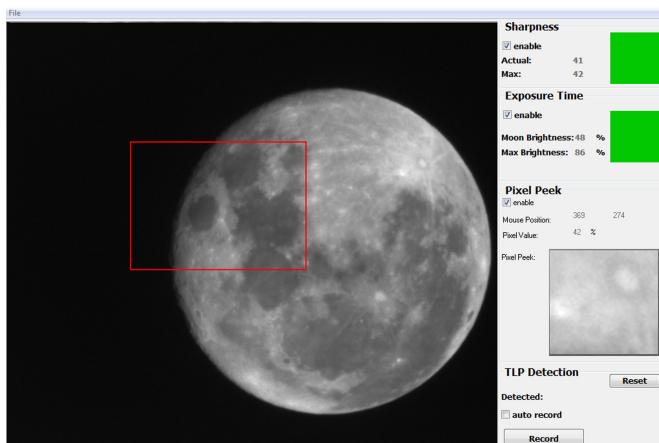


Abb. 5: Die *Moonspy* Software erkennt Helligkeitssteigerungen auf dem Mond, die durch TLP verursacht worden sein könnten. Das Interface bietet Hilfsmittel, Schärfe und Belichtungszeit einzustellen. Videoaufnahmen erfolgen nach einer Detektion automatisch. (Autor)

Der nächste Schritt ist der Start des Bordrechners und somit der Start der *Moonspy* Software. Kamerabilder werden von nun an verarbeitet und signifikante Videosequenzen gespeichert (siehe Abschnitt 3.3). Die Software (siehe Abbildung 5) zeigt über ein Livebild die Daten der Kamera. Zusätzlich liefert sie noch Werkzeuge, um eine genaue Fokussierung und Belichtung der Bilder zu erreichen. Durch grüne bzw. rote Felder erhält der Nutzer eine direkte Rückmeldung, ob die Fokussierung bzw. die Belichtung günstig ist.

4 Fazit

Transient Lunar Phenomena sind seltene Leuchtphänomene auf dem Mond. Um die TLP Erforschung voran zu treiben sind hochwertige Daten erforderlich. Das *Moonspy* System verwendet eine Montierung [13], die eine ruhige Verfolgung des Mondes am Firmament ermöglicht. Zum Start des Systems muss lediglich der Fokus und die Belichtungszeit auf die aktuellen Bedingungen angepasst werden. Dann arbeitet das System autonom und ist in der Lage von der Erde aus autonome Aufzeichnungen von Anomalien auf dem Mond zu tätigen.

Durch den regelmäßigen Einsatz ist es so möglich in Zukunft auf autonomem Weg mehr Daten über TLP zur Verfügung zu haben. Durch die hohe Auflösung und Bildwiederholrate sind diese Daten zusätzlich von herausragender Qualität. Dies soll zusätzliche wissenschaftliche Analysen ermöglichen und der weiteren Erforschung der TLP dienen. Die Entwicklung des *Moonspy* Systems war eine Forschung die Bereiche der Astronomie und Informatik auf schöne Weise verbunden hat. Das System konnte bei den erfolgreichen Feldversuchen neben den technischen Aspekten auch durch seine Mobilität als autonome Observationseinheit überzeugen.

Bei der Weiterentwicklung bodenbasierter Systeme wäre ein *Moonspy* Netzwerk denkbar. Mehrere *Moonspy* Systeme würden dann redundante Aufzeichnungen ermöglichen sobald ein System ein TLP erkennt. So ein Netzwerk kann integriert in ein Online Portal von beliebigen Orten gesteuert werden und neu erfasste Daten direkt verfügbar machen. Des Weiteren könnten weitere Merkmale zu der TLP-Erkennung hinzugefügt werden. Komplexere Algorithmen könnten so unter anderem Schärfeveränderungen registrieren, die durch Aufwirbelung von Staub entstehen.

Nicht nur für bodenbasierte Lösungen, sondern insbesondere in der Satellitentechnik, sollen autonome Beobachtungsprozesse Anwendung finden. Durch ein kombiniertes Sensor- und Planungssystem kann die Autonomie des Satellitenbetriebs erheblich erhöht werden. Dies ermöglicht die Beobachtung von nicht planbaren und kurzzeitigen Ereignissen. An dem Einsatz dieser Systeme in Satelliten wird an der Universität Würzburg intensiv geforscht [6][10].

Neben der autonomen Erdbeobachtung aus einem Erdorbit heraus, wäre auch die autonome satellitengestützte TLP Beobachtung umsetzbar. An der Universität Würzburg wird schon länger an genau so einer Lösung geforscht. Durch Kleinsatelliten Missionen in Verbindung

mit der autonomen Erkennung und Beobachtung könnte die TLP Forschung auf optimale Weise unterstützt werden [11].

Referenzen

- [1] Cameron, W.S.:
Comparative analyses of observations of lunar transient phenomena.
Icarus. 16. 339. (1972).
- [2] Crofts, Arlin P. S.:
Transient Lunar Phenomena: Regularity and Reality.
The Astrophysical Journal. p. 11. Vol. 697 (2009).
- [3] Crofts, Arlin P. S.:
Lunar outgassing, Transient Phenomena, and the return to the moon. I. Existing Data.
The Astrophysical Journal, Vol. 687 (2008).
- [4] Madiedo, J. M., Ortiz, J. L., Morales, N., Cabrera-Caño, J.:
A large lunar impact blast on 2013 September 11.
Icarus. 16. 339. (2014).
- [5] Gupta, R. P., Srivastava, N., Tiwari, R. K.:
Evidences of relatively new volcanic flows on the Moon.
Current Science, Vol. 107, No. 3 (2014).
- [6] Kayal, H., Balagurin, O., Wojtkowiak, H.:
ASAP - Autonomer Bildsensor und Planungssystem für Nanosatelliten.
61. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (2012).
- [7] Webster's Third New International Dictionary.
Merriam-Webster Inc. (1986).
- [8] Haas, W. H.:
That Stuart Brilliant Flare and The Search for a New Lunar Craterlet.
Journal of the Association of Lunar and Planetary Observers, The Strolling Astronomer. p. 46-55. Vol. 47 (2005).
- [9] Howell, S. B.:
Handbook of CCD Astronomy.
Cambridge Observing Handbooks for Research Astronomers, 2nd edition (2006).
- [10] Balagurin, O., Fellingner, G., Fischer, W., Kayal, H., Wojtkowiak, H.:
Methods and Systems for Increasing Autonomy of Earth Observation Satellites.
Small Satellites Systems and Services - The 4S Symposium. ESA & CNES (2014).
- [11] Kayal, H.:
A Nano Satellite Mission for Autonomous Detection and Observation of the Transient Lunar Phenomenon.
Proceedings of the international conference on Small Satellites, New Missions and New Technologies. Istanbul, Turkey (2008).
- [12] Kamera IDS Mono CMOS 5240cp-NIR.
http://de.ids-imaging.com/IDS/spec_pdf.php?sku=AB00085
(Dez 2014).
- [13] Montierung: Celestron SkyProdigy.
<https://www.celestron-deutschland.de>
(Dez 2014).
- [14] Objektiv: Walimex 500/8,0 DSLR Spiegel.
<http://www.walimexpro.de/de/objektiv/foto-objektiv/anderer-anschluss/produkt/50080-dslr-spiegel.html>
(Aug 2015).