

Strange New Worlds – Fotometrischer Nachweis von Exoplaneten-Kandidaten

von Emily Hein

Exoplaneten, also Planeten, die nicht um unsere Sonne kreisen, können meist nicht direkt beobachtet werden. Eine sehr erfolgreiche Methode, um Exoplaneten indirekt nachzuweisen, ist die so genannte Transitmethode.

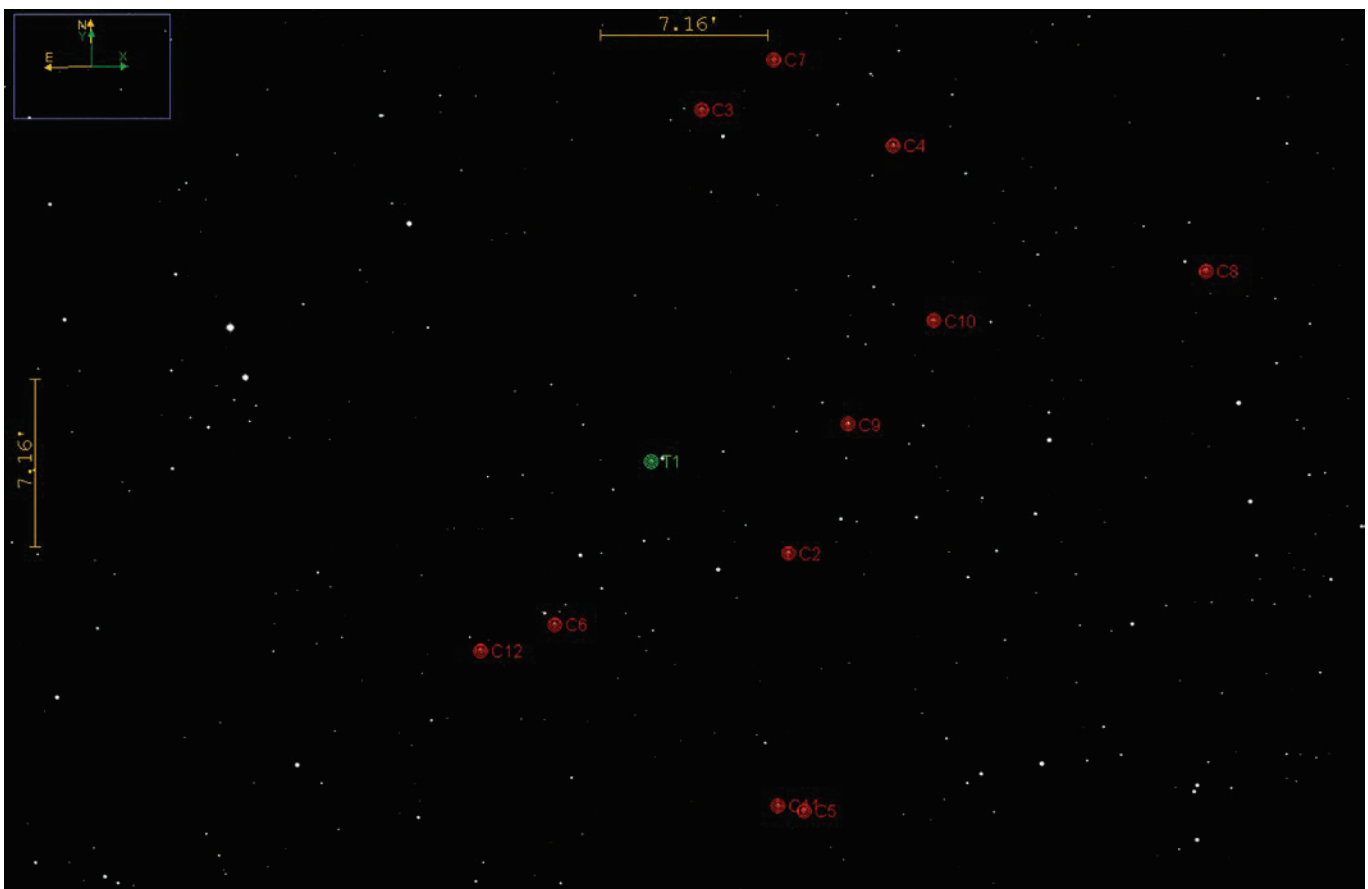
Wenn die Bahnebene des Exoplaneten annähernd in der gleichen Ebene liegt wie die Verbindungslinie zwischen Stern und Teleskop, findet bei jedem Umlauf für einen Beobachter auf der Erde ein Transitereignis statt. Das bedeutet, dass der Planet vor seinem Stern vorbeizieht und ihn verdunkelt. Aus dem beobachteten periodischen Helligkeitsabfall kann auf die Existenz eines Exoplaneten geschlossen werden.

Die meisten Exoplaneten werden durch professionelle Suchkampagnen entdeckt. Das Weltraumteleskop TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) [1] zum Beispiel macht seit Juli 2018 fotometrische Beobachtungen, um die Lichtkurven vieler Sterne zu vermessen. Dabei entsteht ein Katalog von Exoplaneten-Kandidaten, den sogenannten TOIs (TESS Objects of Interest) [2].

Allerdings sind meist Nachbeobachtungen nötig, um die Exoplaneten-Kandidaten zu verifizieren oder die Systeme genauer zu untersuchen. So können Amateurastronomen durch eigene Datenaufnahme und -analyse einen wissenschaftlichen Beitrag leisten.

Die Nachbeobachtung eines Transits kann mehrere Ziele verfolgen, die im Folgenden näher erläutert werden: die Identifikation des Zielsterns, die Überprüfung auf Chromatizität und die Messung des Transitzeitpunktes.

Wenn ein periodischer Abfall der Sternhelligkeit detektiert wird, der keine Fehlmessung aufgrund von Bildrauschen oder stellarer Aktivität ist, sind zwei Szenarien möglich. Zum einen könnte es sich tatsächlich um einen Exoplaneten handeln, der bei jedem Umlauf einen Teil der Sternscheibe verdeckt und so die Helligkeit reduziert. Zum anderen können sich auch bei einem Doppelsternsystem die Sterne gegenseitig

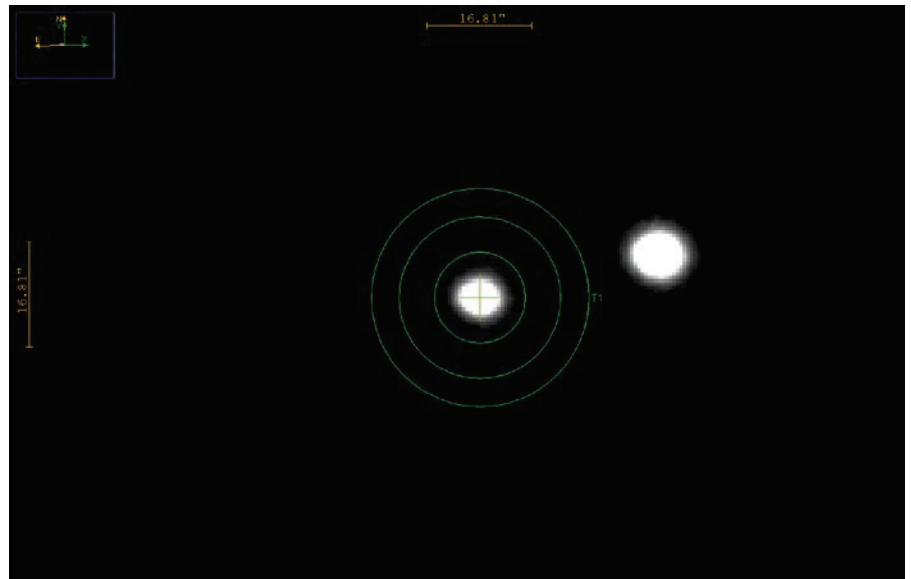


1 Feld (aufgenommener Himmelsbereich) von TOI 7312.01 (grün) mit den für die differenzielle Fotometrie genutzten Vergleichssternen (rot), erstellt mit AIJ.

bedecken und so einen periodischen Abfall der Helligkeit verursachen (Bedeckungsveränderliche). Wenn bekannt ist, bei welchem Stern der Helligkeitsabfall stattfindet, kann aus Transittiefe und Sternradius der Radius des vorbeiziehenden Objektes berechnet und auf dessen Natur geschlossen werden. Die vier Weitfeld-Kameras von TESS durchmustern einen $24^\circ \times 96^\circ$ großen Himmelssektor, haben aber eine geringe Auflösung von 21 Bogensekunden/Pixel, so dass Unsicherheit über die Quelle des Signals besteht. Daher kann durch eine Nachbeobachtung des Transits mit höherer Auflösung (und dafür kleinerem Sichtfeld) der Zielstern identifiziert werden.

Ein Exoplanetentransit ist achromatisch, weist also in jedem Filter den gleichen Helligkeitsabfall auf. Dahingegen würde beispielsweise der Transit eines roten Zwerges in einem Doppelsternsystem im roten Filter eine geringere Transittiefe aufweisen. TESS beobachtet konstant bei Wellenlängen zwischen 600 und 1.000 nm. Amateur-astronomen hingegen stehen meist Filter in mehreren Farbkanälen zur Verfügung. Daher können sie in verschiedenen Filtern beobachten und den Transit so auf Chromatizität (Farbigkeit) überprüfen.

In manchen Fällen dienen Nachbeobachtungen auch der Messung des Transitzeitpunktes. Das ist besonders interessant, wenn die Periode nicht konstant ist. Eine Ursache dafür können unsichtbare Planeten sein, die in engen Systemen gravitativ an Stern und Planet ziehen und so den Transitzeitpunkt verschieben. Das wird als transit-timing variation bezeichnet. Der Nachweis unsichtbarer Planeten über transit-timing variations erfordert häufige Messungen von Transitzeitpunkten, die für Amateur-astronomen einfacher zu leisten sind als für professionelle Großteleskope.



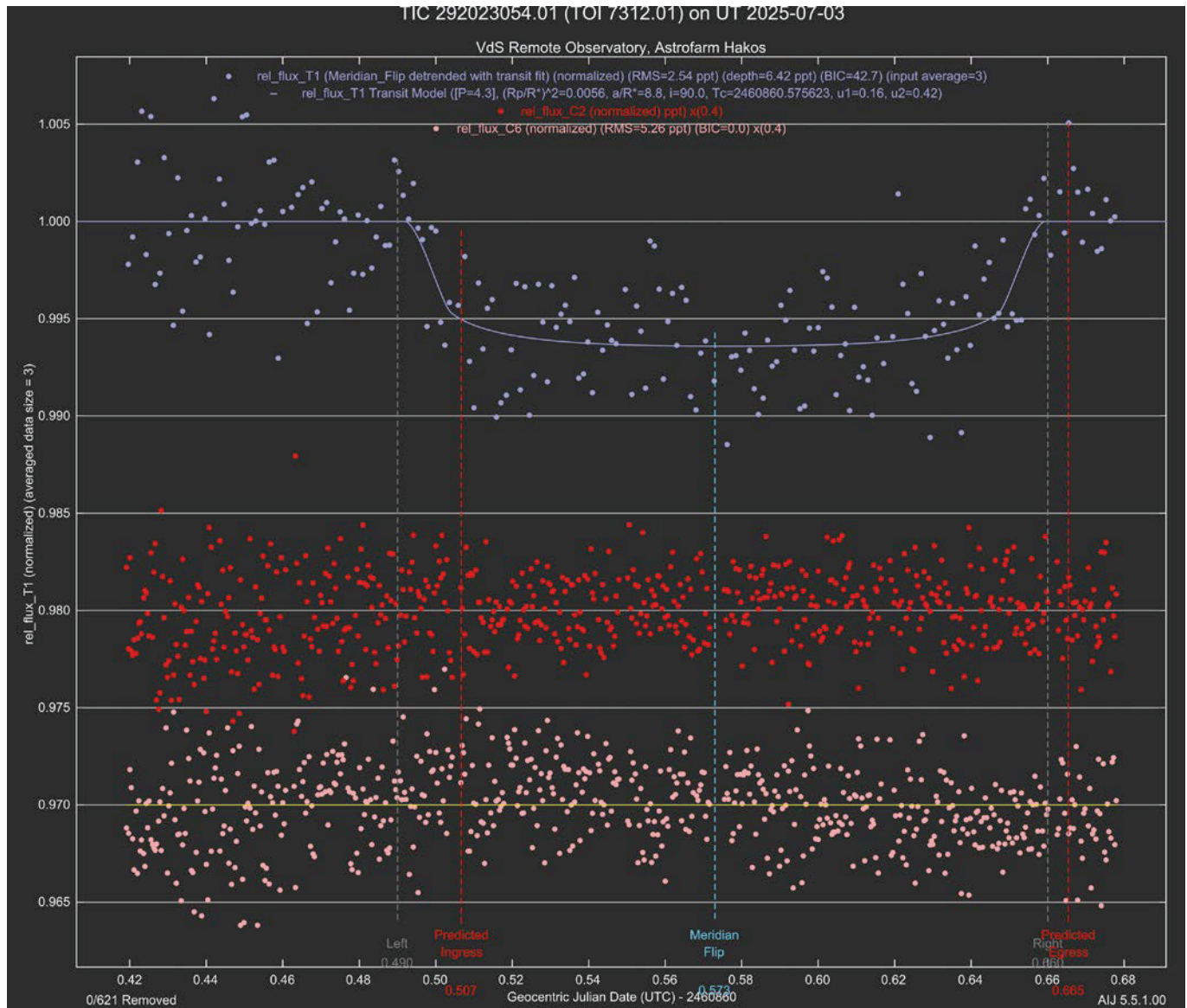
2 Ringe für die Aperturfotometrie mit dem Zielstern (T1) im Zentrum des grünen Kreuzes, erstellt mit AIJ. In diesem Fall lagen die optimalen Größen für die Ringe bei 13 px, 23 px und 31 px.

Praktische Umsetzung

In der Praxis beginnt eine Nachbeobachtung mit der Suche nach passenden Kandidaten mithilfe der Website „Swarthmore Transit Finder“ [3]. Diese gibt anhand von Inputparametern wie Koordinaten, Beobachtungszeitraum, minimale Höhe über dem Horizont, Grenzmagnitude und Transittiefe beobachtbare Transitereignisse aus. Mit dem Fachgruppenteleskop auf der Astrofarm Hakos in Namibia sind Kandidaten mit einer scheinbaren Magnitude von bis zu 15 mag bei einer Transittiefe von 10 ppt (parts per thousand) beobachtbar. Der ExoFOP-Katalog [4] liefert genauere Informationen über das System wie Radius und Temperatur von Stern und Planet.

Bei der Datenaufnahme sollte die Belichtungszeit so gewählt werden, dass das SNR (Signal-Rausch-Verhältnis) maximiert wird, ohne die Pixel zu sättigen und so Daten zu verlieren. Wie auch in der Astrofotografie ist ein heller, naher Mond hinderlich. Um die Rohhelligkeit des Sterns, die später beispielsweise für die Messung der Transittiefe benötigt wird, genau messen zu können, sollte das Objekt möglichst lange vor und nach dem Transit aufgenommen werden (Baseline).

Nach der Kalibrierung und Registrierung wird AstroImageJ [5], eine Software für die wissenschaftliche Auswertung astronomischer Bilder, genutzt, um die reduzierten Bilder in eine Lichtkurve umzuwandeln. Zum Erstellen der Lichtkurve wird differenzielle Fotometrie verwendet, bei der die Helligkeit des Zielsterns mit der Helligkeit mehrerer Vergleichssterne verglichen wird (Abb. 1). Die Helligkeit des Sterns in jedem Bild wird durch Aperturfotometrie berechnet. Dabei wird der Lichtstrom in Form der Pixelwerte innerhalb einer „Object Aperture“ (erster Ring), einer kreisförmigen Region, die den Stern komplett einschließen sollte, summiert. Davon wird der Lichtstrom des nahen Hintergrundes, also dem Bereich zwischen dem zweiten und dritten Ring, abgezogen (Abb. 2). Geeignete Größen für die jeweiligen Ringe können anhand eines „seeing-profiles“, also dem Helligkeitsprofil eines Sterns in Abhängigkeit vom Abstand zum Zentrum des Sterns, gewählt werden. Die Lichtkurve wird durch die Funktion „perform multi aperture photometry“ erstellt. Im Fenster „Multi-plot Y-data“ ist auch das Fitten der Lichtkurve und damit das Bestimmen der Parameter des Systems möglich.



3 Mit AIJ erstellte Lichtkurve für TOI-7312.01, bei dem ein Helligkeitsabfall am Zielstern detektiert wurde (blau). Außerdem sind die Lichtkurven zweier Vergleichssterne (rot und pink) abgebildet, die jeweils eine konstante Helligkeit aufweisen.

Die Nachbeobachtungen werden durch TFOP (TESS Follow-up Observing Program) [6] organisiert. Dabei ist „Sub Group 1“, bei der ich mit dem Fachgruppenteleskop registriert bin, für erdgebundene Fotometrie zuständig. Mitglieder erhalten Informationen darüber, welche Exoplaneten in welchem Filter zu beobachten sind und können ihre Ergebnisse über TFOP teilen.

Insgesamt gelang unter der Betreuung von Jan Beckmann und Georg Piehler (Poweruser) der Nachweis von fünf Exoplaneten-Kandidaten. Bei TOI-7312.01 wurde der Status durch unsere Beobachtung sogar von PC (Planet Candidate) auf VPC (Verified Planet Candidate) angehoben (Abb. 3). TOI-7312.01 ist ein etwa 11 Erdradien gro-

ßer heißer Jupiter, der seinen Heimatstern in nur 4,3 Tagen umrundet.

Das Teleskop der Fachgruppe Remote-Sternwarten bietet ausgezeichnete Voraussetzungen für fotometrische Beobachtungen. Der stabile Himmel über Namibia ermöglicht eine kontinuierliche Datenaufnahme: Während man bei der Astrofotografie die Belichtung jederzeit unterbrechen und später fortsetzen kann, erfordert die Messung einer Lichtkurve einen langen, wolkenlosen Zeitraum. Die Empfindlichkeit des Equipments in Verbindung mit dem außergewöhnlich dunklen Himmel in Namibia ermöglicht die Erfassung von Lichtkurven lichtschwacher Sterne bis zu einer Helligkeit von 15 mag. Gerade um

solche Sterne kreisen die meisten bislang nicht nachbeobachteten Exoplaneten-Kandidaten. Ein weiterer großer Vorteil ist die einfache Zugänglichkeit des Fachgruppenteleskops. Das Stellen von Beobachtungsanträgen ist unkompliziert und die freundliche Betreuung und Beratung hinsichtlich der Wahl von Filter und Belichtungszeit in den Beobachtungsnächten hat auch mir als Anfängerin in der astronomischen Praxis den Zugang zu exzellenten Daten eröffnet.

Die Fachgruppe Remote-Sternwarten hat es mir ermöglicht, selbst einen Blick auf faszinierende, fremde Welten zu werfen und einen kleinen Beitrag zur Forschung zu leisten. Für diese Chance bin ich sehr dankbar!

Literatur- und Internethinweise (Stand 28.11.2025):

- [1] G. Ricker et al., 2014: "Transiting Exoplanet Survey Satellite", *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems* 1, www.spiedigitallibrary.org/journals/Journal-of-Astronomical-Telescopes-Instruments-and-Systems/volume-1/issue-01/014003/Transiting-Exoplanet-Survey-Satellite/10.1117/1.JATIS.1.1.014003.full
- [2] N. M. Guerrero et al., 2021: "The TESS Objects of Interest Catalog from the TESS Prime Mission", *Astrophysical J. Suppl. Ser.* 254, p. 39: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4365/abefe1>
- [3] E. Jensen, 2022: "Find Exoplanet Transits", <https://astro.swarthmore.edu/transits/>
- [4] NExScl, 2022: "Exoplanet Follow-up Observing Program Web Service", IPAC, www.ipac.caltech.edu/doi/10.26134/ExoFOP5, zum Katalog: <https://exofop.ipac.caltech.edu/tess/>
- [5] K. Collins et al., 2017: "AstroImageJ: Image processing and photometric extraction for ultra-precise astronomical light curves", *Astron. J.* 153, <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-3881/153/2/77>
- [6] K. Collins et al., 2018: "TESS Follow-up Observing Program (TFOP) Working Group: A Mission-led Effort to Coordinate Community Resources to Confirm TESS Planets", *Am. Astron. Soc. Meeting Abstracts* 231, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018AAS...23143908C/abstract>



Aus der VdS-Fachgruppe Remote-Sternwarten: Drei Jahre technische Betreuung und andere Herausforderungen

von Kai-Oliver Detken und Thomas Appel

Die Fachgruppe Remote-Sternwarten [1] besteht seit Herbst 2021. Nach entsprechender Planung baute sie im April 2023 die erste Remote-Sternwarte auf der Astrofarm Hakos in Namibia auf. Nach einem viermonatigen Testbetrieb konnte die gesamte Fachgruppe im September 2023 ihr First Light feiern. Das Betriebskonzept und die technische Betreuung mussten im Vorfeld detailliert geplant werden. Nach fast drei Jahren Betriebszeit soll dieser Artikel einen Überblick über die Fallstricke und die technische Komplexität einer Remote-Sternwarte geben.

Remote-Sternwarten haben den Vorteil, dass man sie (idealerweise) in Gegenden in Betrieb nimmt, die kaum Luft- und Lichtverschmutzungen unterliegen und möglichst viele Sonnentage im Jahr besitzen. Der Nachteil liegt aber in der schlechten Erreichbarkeit, wenn Teile vor Ort repariert oder ausgetauscht werden müssen. Um diesem Nachteil bestmöglich zu entge-

hen, wurde die Farm Hakos in Namibia [2] als Standort für die VdS-Remote-Sternwarte von der Fachgruppe ausgesucht. Dort ist auch die Internationale Amateursternwarte (IAS) [3] ansässig, die auf Hakos zwei Remote-Sternwarten betreibt, wodurch kleinere Reparaturen vor Ort auch ohne einen expliziten Wartungstermin organisiert werden können. Einige Mitglieder der IAS sind zudem auch VdS-Mitglied und in der Fachgruppe aktiv, so dass ein reger Austausch existiert. Dass dies sehr praktisch ist, zeigte bereits der Ausfall des Netzteils unserer GM3000-Montierung von 10Micron [4] (s. Abb. 1). Denn die IAS hatte noch ein Netzteil vor Ort auf Lager und konnte uns dies ausleihen, so dass es zu keinerlei Ausfallzeit kam. Auch durch die häufigeren Reiseaktivitäten der IAS-Mitglieder, die auch ihre eigenen Sternwarten kontinuierlich warten müssen, können Ersatzteile oftmals im Gepäck mitgenommen werden. Praktisch ist weiterhin, dass Jürgen Obstfelder, ein Mitglied der Fachgruppe, der

die Untergruppe Infrastruktur leitet, direkt vor Ort wohnt. So kann er, zusammen mit Friedhelm Hund, der zuvor für die technische Leitung auf Hakos verantwortlich war, in Notfällen eingreifen. Da Jürgen auch die Gäste auf Hakos und andere, neue Remote-Sternwarten betreut, die ab Herbst 2025 in Betrieb gehen sollen, ist er damit allerdings mehr als gut ausgelastet.

Herausforderung beim Austausch von Komponenten

Geht mal etwas defekt und muss getauscht werden, ergeben sich, wie auch in anderen Ländern, gewisse Herausforderungen: So ist beispielsweise die Zollaufsicht in Namibia verschärft worden, was zu längeren Verzögerungen führen kann. Dabei ist die erstmalige Einfuhr von neuem Equipment noch am einfachsten. Anders gestaltet es sich jedoch bei bereits gebrauchten bzw. reparierten Teilen. So sind beispielsweise nach einigen Monaten die Flatpanels beider Geräte ausgefallen und mussten