

Zeitmessung mit CMOS-Kameras am Windows-Computer

Von Nikolai Wünsche, IOTA/ES

Stand: Jan. 2025

Einführung

Bei der Messung von Bedeckungseignissen müssen die gemeldeten Zeiten in der Regel mindestens auf $\pm 20\text{ms}$ genau sein. Das ist eine große Hürde, die genommen werden muss. Aber wie?

Mit Video Time Insertern (VTI) oder Kameras mit GPS-Modul ist das vergleichsweise einfach. Beide setzen einen Zeitstempel ins Bild, bevor das Bild in den Computer übertragen wird.

VTI stammen aus der Zeit der 8-bit-Kameras mit analogem Ausgang. Aus verschiedenen Gründen geht die Zeit dieser Systeme vorbei.

Kameras, die mit einem GPS-Modul jedes Bild mit einem genauen Zeitstempel versehen, sind ein Nischenprodukt. Zurzeit gibt es deshalb nur wenige Kameras am Markt, die QHY 174 GPS aus China und die neuere DVTI+CAM aus der Schweiz. Diese Kameras werden aus Kostengründen Einsteigern in dieses Beobachtungsfeld anfangs nicht zur Verfügung stehen. (Man kann sie sich allerdings bei der IOTA/ES ausleihen!)

Doch viele Amateurastronomen haben bereits eine andere Kamera zur Himmelsbeobachtung.

Kann man nicht auch andere, moderne Astro-CMOS-Kameras für Sternbedeckungen verwenden?

Im Prinzip ja, aber: Nicht jede Astro-Kamera ist geeignet. Zeitmessungen gelingen nur mit einem „Global Shutter“ im Sensor. Kameras mit einem „Rolling Shutter“ erlauben nicht ohne weiteres eine genaue Zeitdefinition für das ganze Bild und sind nicht gut geeignet.

(Mit einem Global Shutter ist Beginn und Ende der Belichtungszeit für alle Pixel des Sensors gleich. Mit einem Rolling Shutter „rollt“ die Belichtung zeilenweise über den Sensor und es gibt keine einheitliche Zeit für Beginn und Ende der Belichtung für das gesamte Bild.)

Astro-CMOS-Kameras setzen keine Zeitstempel auf das Bild. Das erledigt erst die Aufnahme-Software auf dem Computer. Daher sind zwei Probleme zu lösen:

- **Die Computer-Uhr muss \pm einige Millisekunden genau an der UTC synchronisiert sein**
- **Der Computer muss das Bild der Kamera mit der geringstmöglichen Verzögerung verarbeiten.**
Nur dann wird die UTC hinreichend genau auf jedes einzelne Bild gestempelt.

Computer-Uhr exakt mit UTC synchronisieren

Normalerweise läuft die Uhr eines Windows-Computers mit bis zu wenigen Sekunden Abweichung zur Normalzeit. Was für normale Büro-Anwendungen vollkommen genügt, reicht bei Bedeckungsbeobachtungen bei weitem nicht aus.

Grundlage für die Zeit-Synchronisierung von Milliarden Computern auf der Welt ist das „**Network Time Protocol**“ (NTP)¹. Es stammt aus der UNIX-Welt, läuft aber ebenso gut auf jedem Windows-Rechner. Mithilfe dieses Protokolls synchronisieren sich die einzelnen Rechner an NTP-Zeitservern.

¹ NTP - a comprehensive Guide on Network Time Synchronization: <https://www.meinbergglobal.com/english/info/ntp.htm>

Solche **Zeitserver** gibt es zahlreich über die ganze Welt verstreut. Sie selbst synchronisieren sich an Atomuhren – oder hilfsweise am GPS: GPS-Empfänger können, quasi als Abfallprodukt, einen auf eine Mikrosekunde genauen Zeitimpuls ausgeben, mit dem man dann einen Internet-Zeitserver hoch genau mit der UTC synchronisieren kann.

Die Firma Meinberg, Lieferant von spezieller Hardware zur Zeitmessung, stellt kostenlos NTP-Software bereit, die auf dem NTP-Standard beruht und für das Windows-Betriebssystem compiliert wurde. Mit dieser Software kann man seinen PC über das Internet ausreichend genau mit der UTC synchronisieren.

Es mag noch andere Anbieter ähnlicher Software geben. Die Meinberg-Software ist sehr gut dokumentiert und gilt allgemein als hoch zuverlässig und liefert die genaueste Synchronisation². Daher wird sich der Artikel auf diese Software beschränken.

Die NTP-Software findet man auf der Webseite von Meinberg³. Dort gibt es ebenfalls eine genaue Anleitung zur Installation und hilfreiche Links. **Es empfiehlt sich, diese Anleitung genau zu befolgen**, weil das die meisten der möglichen Probleme vermeidet.

Ergänzend sollte man den „NTP Time Server Monitor“ von Meinberg⁴ installieren: Mit diesem Programm kann man sehr leicht überprüfen, ob NTP und die Zeitsynchronisierung auf dem eigenen Rechner einwandfrei arbeiten. Außerdem kann man auch die Zeitabweichungen der Computer-Uhr von der UTC bestimmen und automatisch in eine Log-Datei schreiben und so dokumentieren.

Kurzer Exkurs zu NTP:

Das NTP-Programm auf dem eigenen PC nennt sich „NTP Daemon“ (<https://docs.ntpsec.org/latest/ntp.html>). Es läuft unter Windows als Dienst. Der Daemon sucht sich aus einer Liste möglicher NTP-Server den heraus, dessen Zeitsignal am Zuverlässigsten und mit genau bestimbarer Verzögerung zu empfangen ist. Weitere NTP-Server werden beobachtet und als Reserve verwendet.

Mit recht komplizierten Algorithmen gelingt es, die Zeitdauer, die das NTP-Signal vom Server zum Daemon benötigt, genau zu bestimmen.

Mit normalen Zeitservern im Internet gelingt es, den PC auf wenige Millisekunden genau mit der UTC zu synchronisieren. Befindet sich der NTP-Server im eigenen lokalen Netz, sinkt die Zeitabweichung der lokalen Rechner auf weit unter 1ms. Durch den geringeren Jitter („Zittern“ der Zeitverzögerung) synchronisiert der Rechner auch schneller.

Solche Zeitserver kann man selbst z. B. mit einem Raspberry Pi und einem GPS-Modul bauen oder als kleine Hilfsgeräte fertig kaufen. (Kommerzielle NTP-Server wie z. B. von Meinberg sind für Rechenzentren gedacht und für Privatleute oder Astro-Klubs schlachtweg zu teuer.)

Das Verhalten des NTP-Daemon lässt sich mit der Konfigurationsdatei **ntp.conf** steuern. Ein Beispiel findet sich weiter unten.

Die genaue Zeitsynchronisierung dauert eine Weile. Man sollte den Rechner mindestens 30 Minuten vor einem Ereignis starten und – möglichst per LAN, nicht WLAN - mit dem Internet verbunden haben.

Wenn man WLAN nutzt, ist die Zeitsynchronisation weitaus ungenauer als über LAN!⁵

² https://iota-es.de/JOA/JOA2020_2.pdf, Seite 10 ff.

³ https://www.meinberglglobal.com/english/sw/ntp.htm#ntp_stable

⁴ <https://www.meinberglglobal.com/english/sw/ntp-server-monitor.htm>

⁵ <https://www.satsignal.eu/ntp/Win-7-Wi-Fi-vs-LAN.html>

Der Weg des Bildes in den Computer

Software

Für die Beobachtung von Bedeckungssereignissen muss eine geeignete Software verwendet werden. Software für lang belichtete Astrofotografie ist ungeeignet, da sie keine ausreichend genauen Zeitstempel erzeugen kann.

Die Software muss die Kamera auslösen und dann das Bild in den Rechner und die Software laden, um den Zeitstempel in das Bild (und den Header der Bilddatei) zu setzen, das Bild zu verarbeiten und abzuspeichern.

Vor allem **SharpCap**⁶ hat sich als Standard-Software für die Beobachtung von Bedeckungssereignissen etabliert. Das Programm unterstützt eine große Zahl von Kameras.

Kritisch ist die Klärung der Frage: Welcher Zeitpunkt wird als Zeitstempel gesetzt⁷, Belichtungsbeginn, Belichtungsmitte oder –ende? Auskunft dazu gibt die Hilfe bzw. Tutorials der Software. Gegebenenfalls kann man es auch selbst herausfinden, wenn man eine lange Belichtung (mehrere Sekunden) ausführt und schaut, welche der drei Möglichkeiten zutrifft. Bei der Auswertung der Beobachtung ist das unbedingt zu berücksichtigen, damit im Beobachtungsreport die korrekte Zeit erscheint.

Dateiformat der Aufnahmen

Man kann die Bilder – je nach Software – in verschiedensten Formaten ablegen. Für Bedeckungsbeobachtungen empfiehlt sich die Speicherung als

- .adv (Astronomical Digital Video⁸) oder als
- .fits (Flexible Image Transport System⁹).

.adv ist speziell für Bedeckungs-Beobachtungen entwickelt worden und wird von der gängigen Auswertesoftware unterstützt.

.fits produziert Einzelbilder und ist im Prinzip gut geeignet, erzeugt aber gerade bei hohen Frameraten eine riesige Anzahl von Dateien, die sich dann allerdings in einem Zip-Archiv zusammenfassen lassen.

Das Format .ser (Simple uncompressed video format¹⁰) ist immer noch verbreitet, weist aber zahlreiche Nachteile auf. Es muss abgeraten werden, dieses Format noch zu verwenden.

Einstellungen

Das Grundsatzproblem bei der Zeitmessung ist: Das Betriebssystem Windows ist kein Echtzeitbetriebssystem. Wenn die Software die Belichtung der Kamera ausgelöst hat, wird das Bild erst verzögert in den Computer transferiert und verarbeitet. Wie groß diese Verzögerung während der Beobachtung ist, kann man weder direkt beeinflussen noch kann man ihre Dauer feststellen.

Daher werden die einzelnen Bilder immer erst verspätet mit einem Zeitstempel versehen. Ausgelaufene Bilder (dropped frames) sind häufig. Es kommt sogar vor, dass die Reihenfolge der Frames durcheinandergerät und es Rückwärts-Sprünge der Zeit gibt.

Es kommt nun darauf an, dropped frames zu verhindern und die Verzögerung so klein zu halten, dass sie das Messergebnis (die Ereignis-Zeit) nicht unzulässig verfälscht.

Dafür gibt es zwei Gruppen von Möglichkeiten, am Computer und seiner Software und bei der Bedienung der Kamera:

⁶ <https://www.sharpcap.co.uk/>

⁷ Siehe <https://forums.sharpcap.co.uk/viewtopic.php?t=2268>

⁸ <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020JOA....10c...8P/abstract>

⁹ https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_documentation.html

¹⁰ <http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de/astro/ser/>

Computer:

- **Schneller Computer mit Windows 10 oder höher** - Der Computer sollte ausreichend schnell sein, also einen i5 oder i7-Prozessor mit >3GHz, reichlich RAM und eine große SSD (>250GB) haben.
- **USB 3** - Kamera und Computer sollten ein möglichst schnelles Interface haben, z. B. USB 3. Aktive USB-3-Verlängerungskabel machen manchmal Probleme; möglichst nur das Originalkabel verwenden, das mit der Kamera geliefert wurde.
- **Windows Update ruhigstellen** - Man kann während der Beobachtung im Bereich *Windows Update* eine Update-Pause einstellen und natürlich auch die Betriebszeit so festsetzen, dass Windows nicht gerade während der Beobachtung versucht, den Rechner neu zu starten.
- **Sauberer Beobachtungsrechner** - Auf dem Rechner sollte ausschließlich die Software installiert sein, die für die Beobachtungen gebraucht wird. Im Idealfall läuft auch die Teleskopsteuerung und der ressourcenhungige OccultWatcher¹¹ auf einem anderen Rechner.
- **Dienste minimieren** – Vor allem, wenn der Rechner kein reiner Beobachtungsrechner ist, sollte man im *Task-Manager* > *Autostart* kritisch schauen, dass dort nur die Dienste automatisch gestartet werden, die wirklich erforderlich sind.
- **Rechtzeitig beginnen** - Der Rechner muss mindestens 30 Minuten vor Beobachtungsbeginn laufen, damit notwendige Prozesse wie Virenscan usw. vor der Beobachtung abgeschlossen sind. Die Prozessorbelastung ohne das Kameraprogramm sollte nicht über 1..2% liegen! (Im *Task-Manager* kann man sich die derzeitige Auslastung des Systems ansehen.)
- **Treiber aktuell** - Die Treiber für die Kamera und die Aufnahme-Software sollten aktuell bzw. auf einem Stand sein, bei dem ein problemloses Arbeiten möglich ist. *SharpCap*-Nutzer könnten außerdem das entsprechende SharpCap-Forum¹² besuchen und dort auch nach kameraspezifischen Infos schauen.

Kamera

Riesige Sensoren sind auch in den Kameras der Amateurastronomen angekommen. Für Bedeckungsbeobachtungen benötigt man aber weder ein riesiges Bildfeld noch eine enorme Bildauflösung oder Farbbilder. Im Gegenteil: Weniger ist mehr!

„Dateigröße minimieren“ ist der wichtigste Baustein bei den Einstellungen. Wie klein man das Bildfeld machen kann, hängt natürlich auch von der Anzahl der Referenzsterne ab. Niemand zwingt einen übrigens, eine bestimmte Fenstergröße oder Seitenverhältnis zu wählen. Im Übrigen kann auch ein Brennweitenreduzierer nützlich sein, vor allem an langbrennweitigen Teleskopen wie Schmidt-Cassegrain-Systemen.

- **Bildfeld minimieren.** Kleine Bilddateien haben eine geringe Dateigröße. Sie belasten den Rechner nur minimal und werden daher mit geringer Zeitverzögerung geschrieben. Ich persönlich arbeite an 1,5m Brennweite meistens mit effektiv 400 Pixeln x 300 Pixeln (800 x 600 mit 2-fach Binning bei 6µm-Pixeln). Das ist meistens ausreichend!
- **Framerate sinnvoll festlegen.**
 - Richtwert: Mindestens fünf Frames müssen in die vorhergesagte maximale Dauer des Ereignisses hineinpassen. Beispiel: maximale Dauer zu 1,0s vorhergesagt. Dann max. 200ms belichten, ergibt ca. 5 Frames per Sekunde (fps).
 - Je höher die Framerate, desto höher das Risiko von Zeitfehlern oder dropped frames, aber auch die Chance, z. B. unbekannte Doppelsterne zu entdecken. Hier muss man ein Optimum finden.
 - Ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) geht vor Framerate. Das heißt für die Auswahl der beobachtbaren Ereignisse auch: Nichts Unmögliches versuchen, also keine zu schwachen Sterne mit unzureichendem SNR aufzeichnen.

¹¹ <http://www.occultwatcher.net/>

¹² <https://forums.sharpcap.co.uk/>

- Für gewählte Framerate und Bildfeldgröße Probelauf durchführen, siehe unten.
- Bild in 12 bit¹³ und als Graustufenbild, nicht als Farbbild, aufnehmen. Für glatte Lichtkurven und zur Messung kleiner Helligkeitsunterschiede sind mindestens 12bit erforderlich, auch wenn das die Dateien vergrößert.
- Den Wert für „USB-Traffic“ (in der Aufnahme-Software) für die konkrete Kamera-Einstellung ausprobieren. Zu große Werte bremsen den Datentransport, zu kleine Werte führen zu dropped frames.
- Auch USB 2-Kameras möglichst an einer USB 3-Buchse betreiben.

Probelauf

Wie schon gesagt, ist die Verzögerung der Zeitstempel nicht bestimmbar. Aber es gibt Indizien, nach denen man abschätzen kann, ob diese Verzögerung akzeptabel niedrig ist oder sie eventuell kritische Werte erreicht. Um das zu beurteilen, macht man eine Probe-Aufnahme mit den Einstellungen, die man für seine Beobachtung verwenden möchte.

Die Probeaufnahme sollte man dann in PyMovie¹⁴ einlesen. Nun muss man diese Datei prüfen:

- Gibt es dropped frames?
Wenn nein, OK. Wenn ja, muss man nach den Ursachen suchen und sie abstellen. (Z. B.: USB-Traffic verändern, andere USB3-Buchse oder ggf. anders USB-Kabel nutzen usw.)
- Sind die Zeitstempel regelmäßig?
Wenn es problematische Verzögerungen bei der Verarbeitung der Bilder gibt, sind die Zeitstempel unregelmäßig oder springen sogar rückwärts.
 - Geringe Abweichungen sind normal. Hier muss man mit Augenmaß prüfen und auch die erforderliche Genauigkeit $\pm 20\text{ms}$ im Auge behalten.
 - Die Zeitstempel werden immer etwas nach hinten weglauen. Wenn man z. B. 20ms belichtet, wird man nicht exakt 50 Bilder je Sekunde erhalten, sondern nur z. B. 48. Das ist normal.
 - Der Abstand der Zeitstempel darf etwa bis 10% schwanken. Mal sind es 20ms, mal 18 oder 19, mal 22ms. Solche Abweichungen sind in Ordnung. Außerdem liegen sie weit innerhalb des Genauigkeitslimits.
 - Einzelne Ausreißer können an zu großer Hintergrundaktivität des Rechners liegen (nicht notwendige Programme schließen, unnötige Dienste beenden). Ggf. Framerate reduzieren.

Sind die Abweichungen größer als 15...20% der Belichtungszeit, muss man die Ursache finden und beseitigen.

Wenn man dann noch etwas niedrigere Frameraten als getestet verwendet oder das Bildfeld zum Testen etwas größer gewählt hat als bei der eigentlichen Beobachtung, ist man zusätzlich auf der sicheren Seite.

Die verschiedenen Einstellungen für typische Beobachtungen kann man in SharpCap als Profile hinterlegen und so sehr leicht umschalten.

NTP einrichten und überwachen

Beispieldatei `ntp.conf`

Für eine optimale Zeitsynchronisation ist eine angepasste Konfigurationsdatei sinnvoll. Die Konfigurationsdatei heißt „`ntp.conf`“ und befindet sich im Ordner ...\\NTP\\etc. Sie ist eine reine Textdatei und

¹³ Je nach Kamera auch 14bit oder 16bit.

¹⁴ <https://occultations.org/observing/software/pymovie/> (PyMovie ist ein mächtiges, komplexes Werkzeug. Es empfiehlt sich, die Video-Tutorials anzusehen.)

kann in jedem Editor verändert werden.

Das Beispiel unten kann nur eine Vorlage sein, man muss noch Hand anlegen:

- Pfade und IP-Adressen sind natürlich dem eigenen lokalen Netzwerk anzupassen!
- NTP-Pool-Server: Das sind NTP-Internet-Zeitserver eines Pools, die durch die NTP-Organisation im Wechsel benannt werden. An mehreren dieser Server synchronisiert NTP die PC-Uhr des eigenen Rechners.

Zur Auswahl der NTP Pool Server (server 0.de.pool.ntp.org usw.): Räumlich naheliegende Staaten auswählen. (Eine weite Übertragung der Signale erhöhen das Jitter und damit die Unsicherheit.)

- Es empfiehlt sich, an den in den Kommentaren genannten Orten nachzulesen.
- Wer einen lokalen Zeitserver hat, kann ihn wie hier angegeben einbinden (nach „Use Local Time Servers – if available“). Der entsprechende Befehl darunter ist durch ein „#“ auskommentiert und wäre anzupassen. Wer ständig einen lokalen NTP-Server nutzt, kann die Zahl der Pool-Ser- ver auf vier verringern (letzte Zeile mit # auskommentieren).
- Mit einem eigenen Zeitserver (z. B. als Eigenbau mit einem Raspberry Pi) kann man den PC ge- nauer als 100 µs und dazu schneller mit der UTC synchronisieren, da Zeitfehler wie Jitter wegfa- llen.
- Loopstats ist die Statistik-Datei, die die Abweichungen der Rechner-Uhr von der UTC protokol- liert. Die Textdatei kann man in den NTP Server Monitor laden und die Werte grafisch darstellen lassen. Es wird jeden Tag eine neue Datei angelegt. Die Loopstats-Datei ist sehr wichtig, um jetzt oder ggf. auch noch viel später die Qualität der Synchronisation der PC-Uhr an die UTC einschät- zen zu können. Daher sollte man diese Datei gemeinsam mit den Beobachtungsdaten dauerhaft aufbewahren.

NTP überwachen

Hierzu nutzt man am einfachsten den Meinberg „NTP Time Server Monitor“.

Im Fenster <Status> sieht man, ob der Rechner im Moment an die UTC synchronisiert wird und wie groß die Abweichung ist. Diese Daten werden in kurzen Abständen in die Datei loopstats geschrieben und so dokumentiert.

Mit einer Grafik kann man sich auch die Entwicklung des Offsets, der Differenz UT – PC-Uhr seit dem Start des PC ansehen. Deutlich ist ein Einschwingen hin zu einer Abweichung im Bereich weniger Mil- lisekunden zu sehen. Nutzt mal WLAN als Verbindung ins Internet, ist der Fehler etwas 10-mal grö- ßer. Der zulässige Zeitfehler von ± 20 ms kann mit WLAN-Anbindung nicht eingehalten werden!

Fazit

Wie man sieht, ist eine genaue Zeitmessung via NTP nicht ohne Tücken. Für ein bestmögliches Ergeb- nis muss man sich damit beschäftigen und auch vor und während der Beobachtung ein Auge darauf haben.

Aber es ist möglich: Ich selbst habe zahlreiche Ereignisse mit NTP gemessen, die von vielen Beobach- tern beobachtet wurden. Ein Zeitfehler meiner Daten wäre sofort aufgefallen. Doch sie passten exakt im Rahmen der angegebenen Fehlergrenzen.

Wer sich intensiver mit Bedeckungseignissen beschäftigt, wird sich irgendwann eine Kamera mit GPS-Modul kaufen. Diese Kamera kann man schließlich auch für andere Zwecke nutzen!

Um diese GPS-Kameras kennenzulernen, können sich IOTA/ES-Mitglieder eine solche Kamera kosten- los ausleihen.

Beispieldatei ntp.conf

```
# NTP Network Time Protocol
# ***** ATTENTION *****: *You have to restart the NTP service when you change this file to activate the changes*
# PLEASE CHECK THIS FILE CAREFULLY AND MODIFY IT IF REQUIRED
# please check http://www.ntp.org for additional documentation and background information
# restrict access to avoid abuse of NTP for traffic amplification attacks
# see http://news.meinberg.de/244 for details
restrict default noquery nopeer nomodify notrap
restrict -6 default noquery nopeer nomodify notrap

# allow status queries and everything else from localhost
restrict 127.0.0.1
restrict -6 ::1

# Use drift file
driftfile "C:\Software\NTP\etc\ntp.drift"

enable stats
statsdir "C:\Software\NTP\etc"
statistics loopstats

# your local system clock, could be used as a backup
# (this is only useful if you need to distribute time no matter how good or bad it is)
#server 127.127.1.0
# but it should operate at a high stratum level to let the clients know and force them to
# use any other timesource they may have.
#fudge 127.127.1.0 stratum 12

# Use Local Time Servers - if available
# server 192.168.2.2 iburst prefer minpoll 4 maxpoll 5 # MEINBERG LANtime300

# Use a NTP server from the ntp pool project (see http://www.pool.ntp.org)
# Please note that you need at least four different servers to be at least protected against
# one falseticker. If you only rely on internet time, it is highly recommended to add
# additional servers here.
# The 'iburst' keyword speeds up initial synchronization, please check the documentation for
# more details!
server 0.de.pool.ntp.org iburst minpoll 6 maxpoll 7
server 1.de.pool.ntp.org iburst minpoll 6 maxpoll 7
server 2.de.pool.ntp.org iburst minpoll 6 maxpoll 7
server 1.nl.pool.ntp.org iburst minpoll 6 maxpoll 7
server 2.uk.pool.ntp.org iburst minpoll 6 maxpoll 7
```

Wenn NTP optimal eingerichtet ist, braucht man die Konfiguration eigentlich nie wieder ändern.