

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Ein Bericht von Peter C. Slansky

18.1.2010



Teil I: Vorüberlegungen und Berechnung

Die Beobachtung der Geminiden 2006 war meine erste systematische Meteorbeobachtung. Zusammen mit Matthias Knülle und Ulf Wossagk beobachtete ich visuell und fotografisch. Die Fotos realisierten wir mit klassischer Fototechnik, nämlich mit einer Batterie von insgesamt 13 Kleinbildkameras. Doch der hellste Bolide, den wir sahen, lag außerhalb des Gesichtsfeldes unserer Kameras. Daher reifte schon bald in mir der Plan zum Bau einer **All-Sky-Kamera** für meine Canon EOS 20Da.

Prinzipiell gibt es für eine All-Sky-Kamera zwei Möglichkeiten:

1. man verwendet ein Fischaugenobjektiv mit einem Bildwinkel von 180°
2. man verwendet eine verkleinernde Zwischenoptik und nimmt das entstehende Zwischenbild mit einem normalen Objektiv auf.

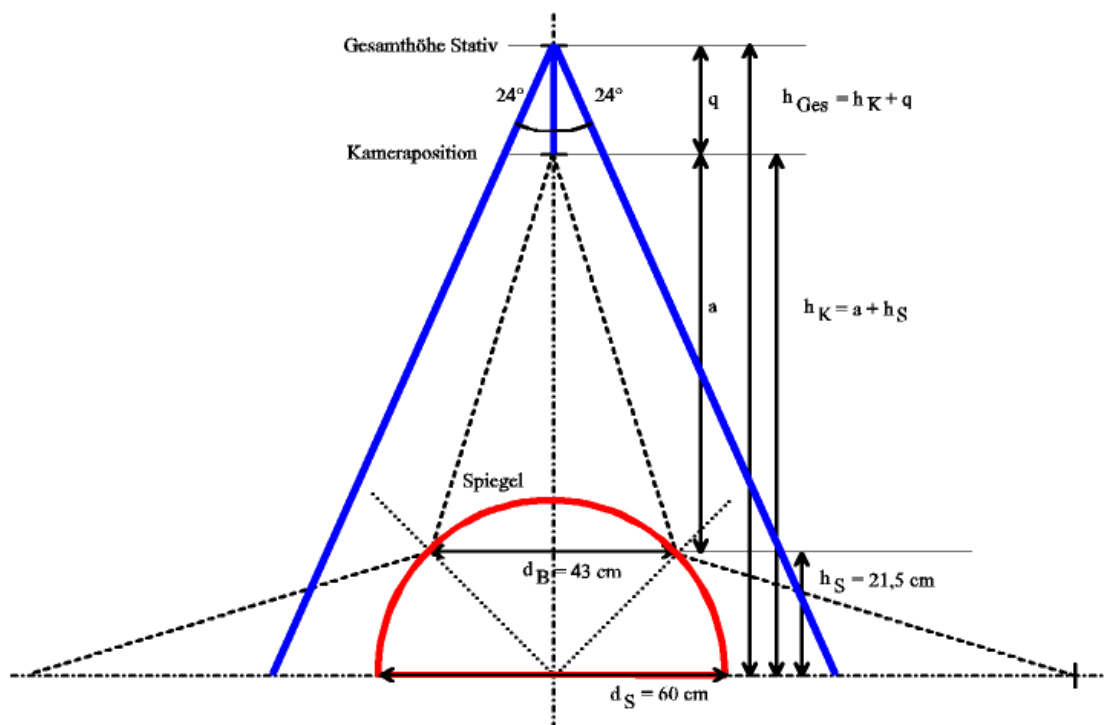
Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Für die zweite Möglichkeit kann man einen asphärischen Weitwinkelvorsatz nehmen oder konvexen sphärischen Spiegel. Der Nachteil beim Spiegel ist, dass hierbei auch die Kamera mit dem Stativ mit abgebildet wird. Dennoch entschied ich mich dafür, da dies die mit Abstand billigste Lösung ist. So begann ich mit der Suche nach einem entsprechenden Spiegel.

Professionelle All-Sky-Kameras, wie etwa die auf dem Wendelsteinobservatorium, werden mit einer verspiegelten Konvexlinse gebaut. Doch das war mir zu teuer. Außerdem erscheint hierbei das störende Abbild der Kamera recht groß, da der Durchmesser der Linse meist nur um die 20 cm beträgt und die Kamera demzufolge nah an den Spiegel rücken muss. In meinem Lebensmittelgeschäft sah ich die Lösung:



Natürlich ist ein solcher Kunststoffspiegel nicht annähernd so präzise wie ein Glasspiegel, doch will ich meine Bilder ja nicht ausmessen. Im Internet fand ich mehrere Anbieter für solche Überwachungsspiegel. Am preisgünstigsten war die Firma Becker & Partner. So bestellte ich einen Spiegel im Durchmesser von 60 cm. Damit ging es an die Dimensionierung:



Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Durch meine Kamera waren einige Parameter vorgegeben: Die maximale Brennweite meines Zoomobjektivs beträgt 50 mm, die Bildfeldhöhe des EOS-Sensors 15 mm. Vereinfacht kann man annehmen, dass sich die Kamera in unendlicher Höhe über dem Spiegel befände: dann fiel das Licht vom Horizont waagrecht auf den Spiegel und würde bei einem Winkel von 45° senkrecht nach oben in das Kameraobjektiv gespiegelt. Dabei wäre der Durchmesser des Bildkreises gleich dem Durchmesser des Spiegels dividiert durch Wurzel 2. Bei einem Spiegeldurchmesser d_S von 60 cm ergibt sich so d_B zu 43 cm. In Wirklichkeit ist die Kamera natürlich näher am Spiegel und das Bild oberhalb des Horizonts ist entsprechend kleiner. Doch diese Betrachtung schafft eine zusätzliche Sicherheit, dass das runde Bild auch sicher mit dem rechteckigen Sensor erfasst wird. Der Bildkreis muss mit der gegebenen Brennweite $f = 50$ mm von einem bestimmten Abstand a aus aufgenommen werden, damit die Bildgröße gerade 15 mm beträgt, um den Sensor der EOS in der Bildhöhe gerade auszufüllen. Mit etwas Sicherheit lässt sich der Aufnahmeabstand so zu $a = 153$ cm berechnen.

Die Kamerahöhe über dem Boden h_K ergibt sich aus dem Aufnahmeabstand a plus $d_B/2$ zu rund 175 cm.

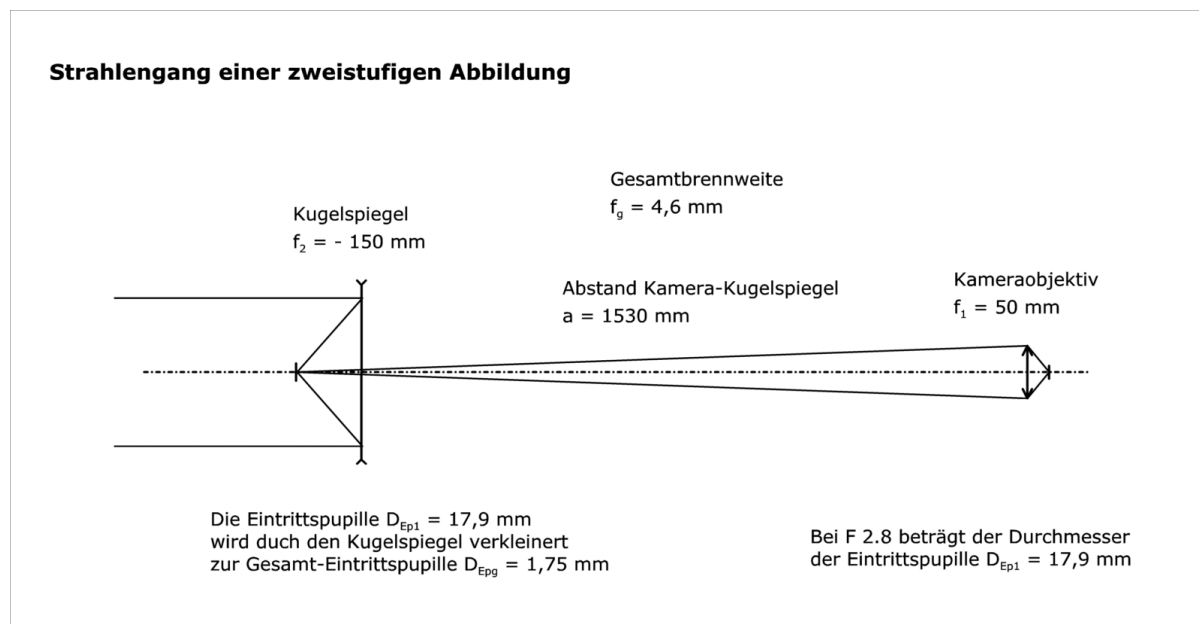
Das Stativ, bestehend aus den drei Beinen und dem Kopf mit der Kamerabefestigung, sollte aus Fichtenholz gebaut werden. Es wurde so dimensioniert, dass die Kamera um einen gewissen Betrag $q = 25$ cm nach unten abgehängt ist, damit sie noch gut handhabbar bleibt. Damit ergab sich die Gesamthöhe des Stativs $h_{Ges} = h_K + q$ von 190 cm. Aus den verwendeten Metallwinkeln ergab sich eine Winkelung der Stativbeine von 24° gegenüber der Mittelachse. Damit ergibt sich die Länge der Beine über den Cosinus zu 208 cm.

Teil II: Optische Parameter

- Die ALSK liefert ein rundes Bild $180^\circ \times 360^\circ$
- Die Abbildung erfolgt zweistufig: über das Objektiv mit $f_1 = 50$ mm und einen Konvexspiegel mit $f_2 = -150$ mm, der sich in einem Abstand von $a = 1530$ mm vor dem Objektiv befindet
- Die effektive Gesamtbrennweite errechnet sich zu $f_g = (f_1 * f_2) / (f_1 + f_2 - a) = 4,6$ mm
- Die Eintrittspupille des Gesamtsystems ergibt sich aus die Abbildung der Eintrittspupille des Objektivs durch den Kugelspiegel
- Bei einer Blendeneinstellung von F 2.8 am Objektiv beträgt die Eintrittspupille des Objektivs $D_{Ep1} = f_1 / 2.8 = 17,9$ mm
- Mit $f_2 = -150$ mm und $a = 1530$ mm ergibt sich der Durchmesser der Gesamteintrittspupille: $D_{Epg} = D_{Ep1} * f_2 / a = 1,75$ mm
- Die effektive Gesamtblende bleibt unverändert bei F 2.8
- Da Meteore aber als punktförmige Lichtquellen angesehen werden müssen, ist für ihre Aufnahme nicht die Blendenzahl F, sondern der

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Durchmesser der Eintrittspupille D_{Ep_g} maßgebend. Dieser ist gegenüber dem Objektiv um den Faktor 10 geringer. Das bedeutet einen Verlust an Empfindlichkeit der ALSK gegenüber der ohne Kugelspiegel verwendeten Kamera um den Faktor 100 oder 5 Mag.



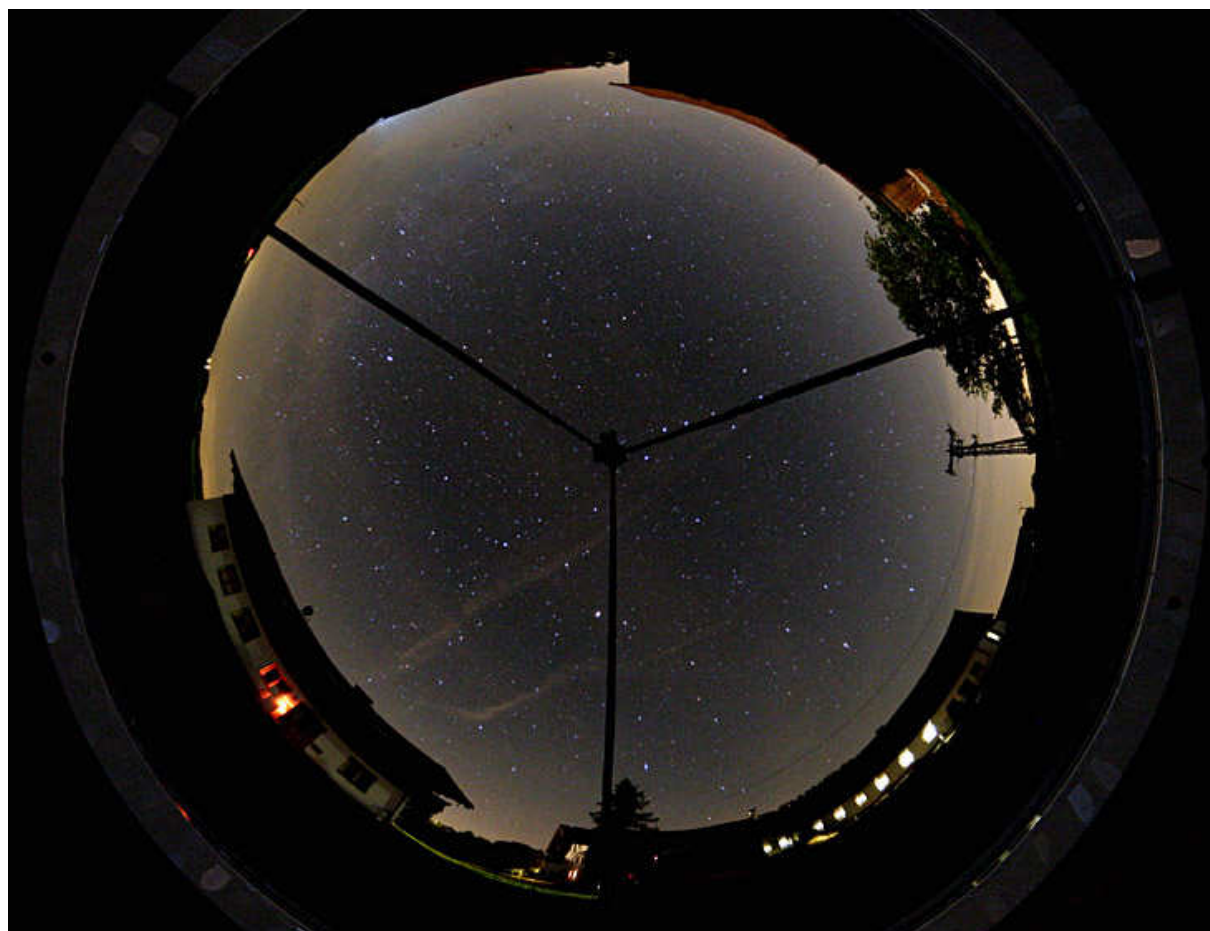
Teil III: Bau

Der Bau der ALSK erfolgte im Sommer 2007. Beine und Kopf bestehen aus Kiefernholzleisten, die Verbindungselemente aus verzinktem Stahlblech. Bei der Fertigung des Dreibeins half mir freundlicherweise Herr Guggenmos, der Haustechniker unserer Hochschule.

Teil IV: First Light

Ihr First Light sollte die ALSK am 14.12.2007 an den Geminiden haben, doch es war komplett bewölkt. Auch die Beobachtung der Perseiden am 12.8.2008 und der Quadrantiden am 2./3.1.2009 fielen dem Wetter zum Opfer, so dass das First Light lange werten musste.

Am 20. Mai 2009 war es dann so weit: es war drei Tage vor Neumond und am nächste Tag war Feiertag. So fuhr ich trotz nicht optimalem Himmel zu Matthias Knülle hinaus. Wegen der leichten Wolkenschleier war klar, dass wir nur Testaufnahmen machen würden. Die Wiese hinter seinem Haus erwies sich leider als zu feucht: der Spiegel taute sofort an. So stellten wir die ALSK auf einem Holzstapel in der Nähe des Hauses auf.

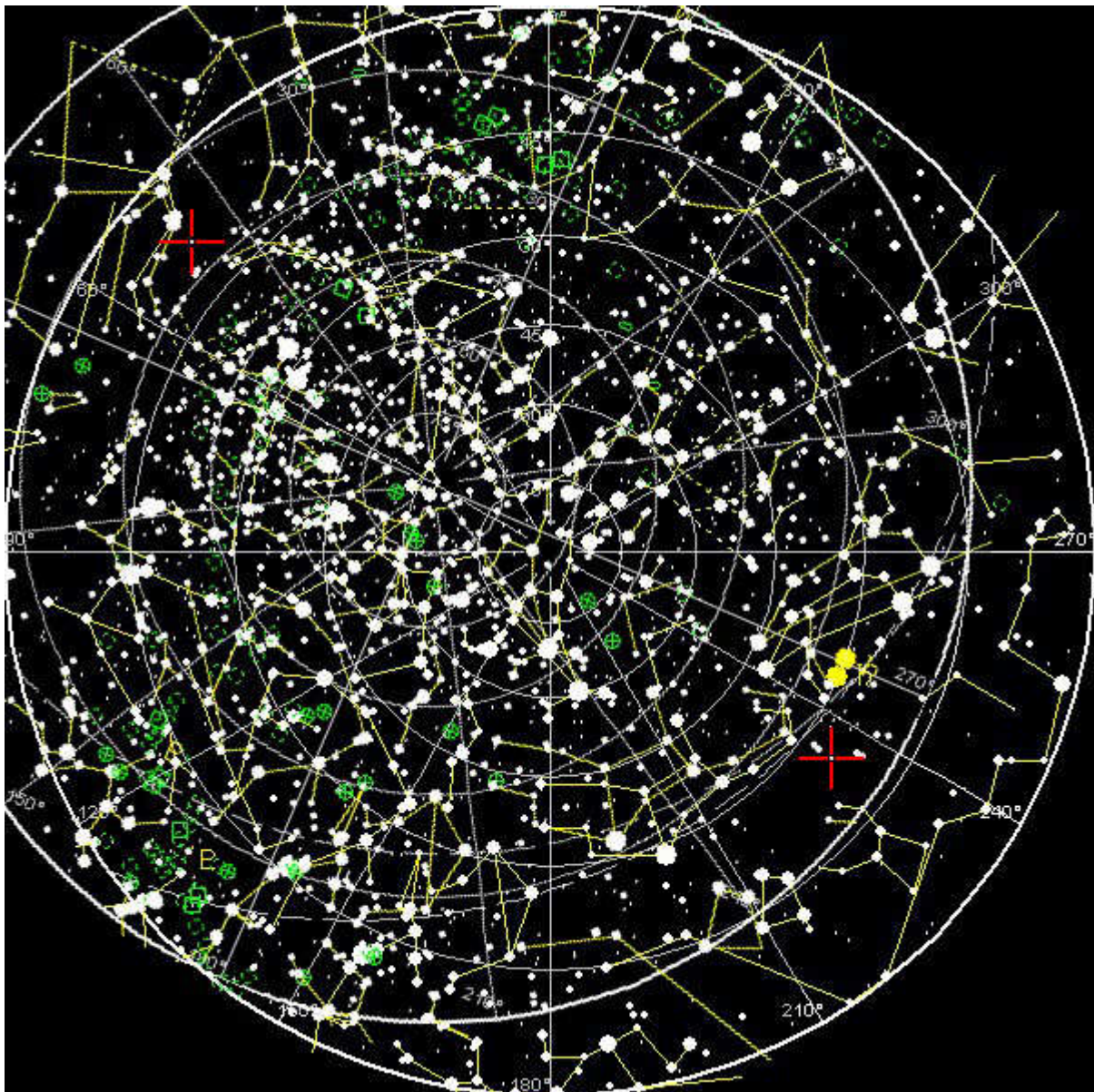


Objekt	Sommernachthimmel
Aufnahmeort	Loitersdorf/Niederbayern
Datum	20.5.2009
Uhrzeit	23:26 MESZ
Optik	All-Sky-Kamera ALSK mit Sigma 2.8/18-50mm
Brennweite	4,6 mm effektiv
Blende	2.8
Kamera	Canon EOS 20Da
Format	22,5 x 15 mm
Empfindlichkeit	3200 ISO
Filter	-
Belichtungszeit	30 Sek.
Programme	Fitswork 3.49, Photoshop CS3

Teil V: Von der Zenitperspektive zur Polarperspektive

Während eines Regentages stellte ich mir mit Matthias Knülle die Frage, ob die ALSK auch für tief belichtete Deep-Sky-Aufnahmen, z. B. für Himmelspanoramen, einsetzbar ist.

Das folgende Bild zeigt die Überlagerung zweier Bilder in Zenitperspektive im Abstand von 2 Stunden. Die beiden rot markierten Sterne wurden als Ankerpunkte genommen. Es ist deutlich zu erkennen, dass alle Sterne zwischen den beiden markierten nicht passgenau sind.



Das Problem besteht darin, dass eine ALSK normalerweise eben auf den Boden gestellt wird und die Kamera exakt aus dem Zenit auf den Kugelspiegel ausgerichtet ist. Dies nenne ich im Folgenden die *Zenitperspektive*.

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Der Sternenhimmel rotiert aber um den Himmelsnordpol, der um den Winkel $90^\circ - \beta$ zur optischen Achse der Kamera geneigt ist. β ist der Breitengrad des Beobachtungsortes, also z. B. 48° für München. Aus dieser Winkeldifferenz zwischen Rotationsachse und optischer Achse ergibt sich durch den sphärischen Spiegel der ALSK für alle Objekte außer dem Himmelsnordpol eine unterschiedliche optische Verzeichnung. Daraus folgt:

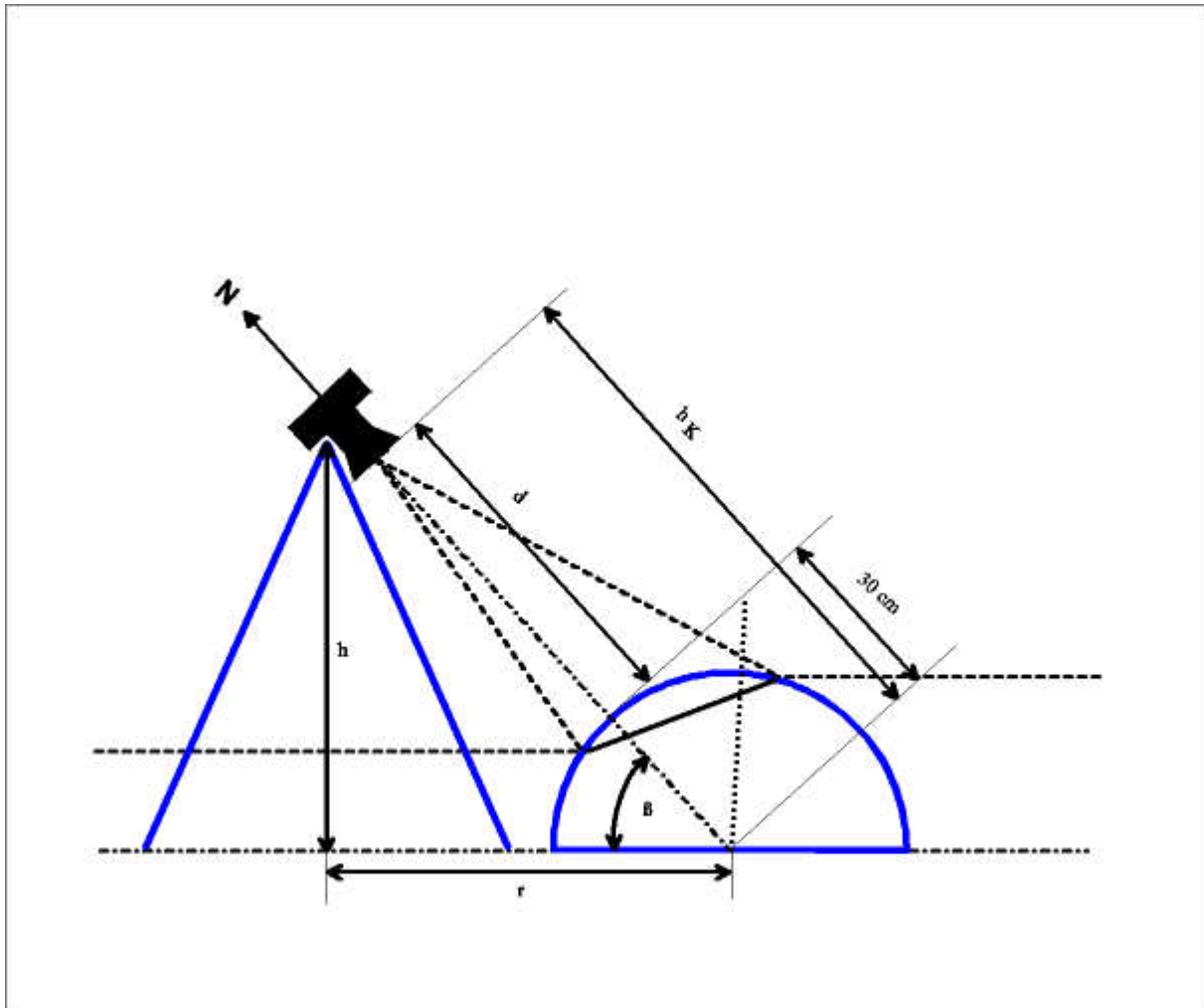
In Zenitperspektive aufgenommene Einzelbilder mit der ALSK können nicht passgenau überlagert werden!

Nun stelle man sich vor, die ALSK stünde am Nordpol. Dann zeigte ihre optische Achse, rückwärts verlängert, genau auf den Himmelsnordpol, der am Nordpol identisch mit dem Zenit ist. Der Sternenhimmel rotierte dann exakt um die optische Achse der Kamera. Durch eine genügend kurze Belichtungszeit können Strichspuren vermieden werden. Mit genügend Einzelbildern wäre es so möglich, ein relativ tief belichtetes Himmelspanorama von $360^\circ \times 180^\circ$ zu erstellen. Außerhalb des Halbkugelspiegels der ALSK würde die Landschaft abgebildet; es entstünde ein kreisförmiges Bild, mit dem Horizont am Rand und der Landschaft außen herum. Das Bild entspräche perspektivisch in etwa dem eines Planetariumsprogramms wie oben. Die Überlagerung beliebig vieler nacheinander aufgenommener Einzelbilder ergäbe ein passgenaues Summenbild.

Nun berücksichtigen wir die Verhältnisse in Mitteleuropa: Dort könnte die gesamte ALSK, also Spiegel plus Kamera mit Dreibein, um den Winkel β , entsprechend dem Breitengrad des Beobachtungsorts, zum Erdboden geneigt aufgestellt werden: Wieder zeigt die optische Achse der Kamera rückwärts verlängert auf den Himmelsnordpol, wieder würde der Sternenhimmel um die optische Achse der Kamera rotieren.

Aber ein solch unpraktischer Aufbau ist ja gar nicht nötig, da *meine* ALSK ja einen Halbkugelspiegel hat. Damit kann die Kamera bis zu einem Winkel von 45° schräg auf den Spiegel ausgerichtet werden und immer noch wird die komplette Himmelshalbkugel abgebildet - wenn auch mit unterschiedlicher Verzeichnung am Ost- bzw. Westhorizont und am Nord- und am Südhorizont. Am Südhorizont fallen die Lichtstrahlen besonders schräg auf den Spiegel (siehe unten). Entsprechend geringer ist die Verzeichnung am Nordhorizont. Das entstehende Bild hat die Form einer Ellipse. Diese Betriebsweise der ALSK nenne ich nachfolgend *Polarperspektive*. Am Nordpol fallen natürlich Zenit- und Polarperspektive zusammen.

Nachfolgend die Berechnung der polarperspektivisch betriebenen ALSK für einen Beobachtungsort auf dem 48. Breitengrad (München):



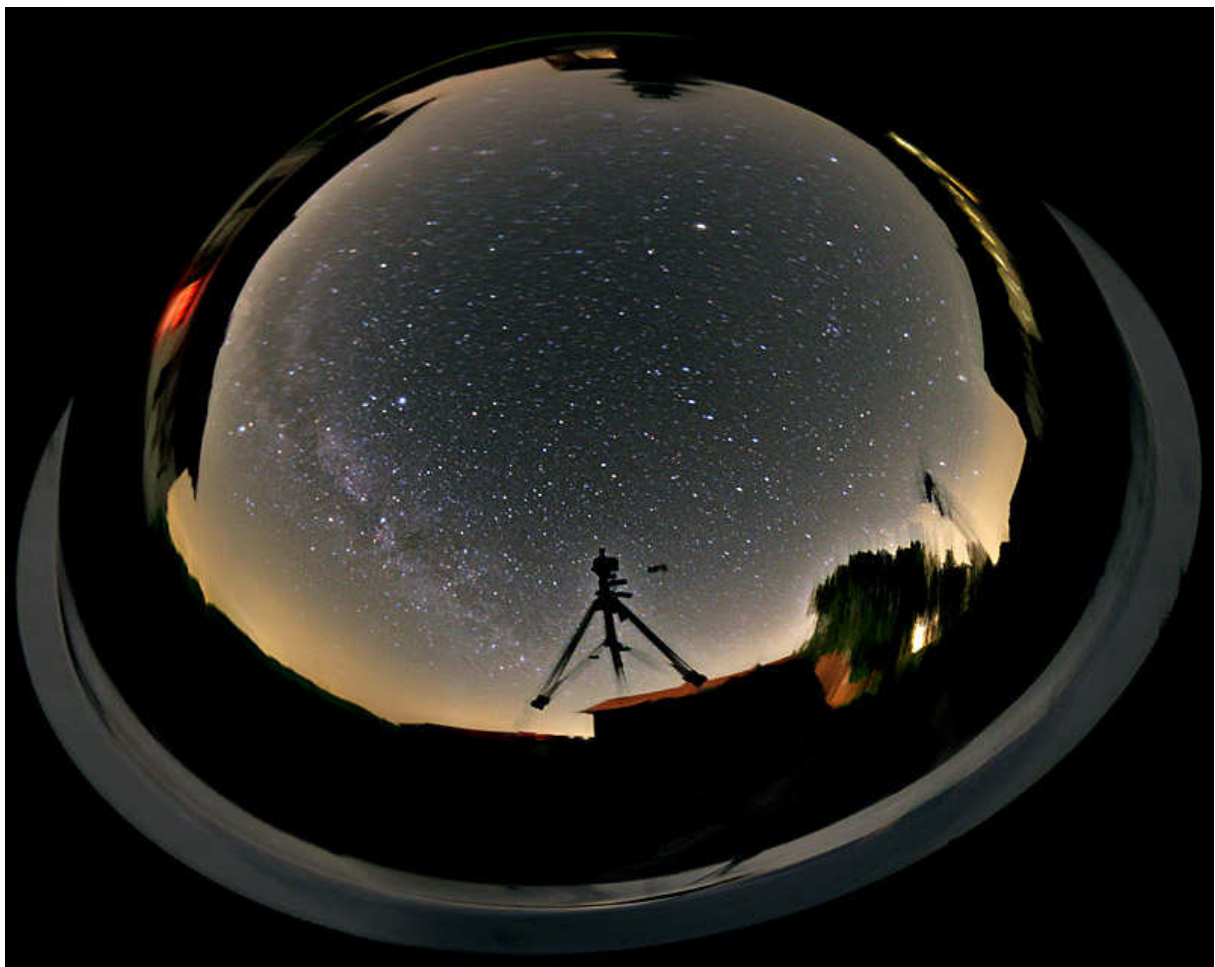
Die neue Höhe h der Kamera errechnet sich mit $\sin \beta * h_K = \sin 48^\circ * 1,75\text{ m} = 1,30\text{ m}$. Die Berechnung des Abstands r erübrigt bei Anwendung der unten beschriebenen Aufbaumethode.

Die Justage der Polachse erfolgte mit einem Manfrotto-Fotostativ. Hierbei sitzt die Kamera auf einem Sechskant-Schwalbenschwanz, so dass sie definiert um 180° gedreht werden kann. Nachfolgend die Aufbaumethode in Stichworten:

1. Aufbau des Fotostativs auf dem Boden so, dass der Schwenkkopf bei 10 cm ausgedrehter Säule mindestens 130 cm Höhe erreicht
2. Nivellierung des Schwenkkopfs mit den beiden Wasserwaagen
3. Ausrichtung der EOS 20Da mit dem mittleren Autofokusfeld auf den Polarstern
4. Exakte Mittenausrichtung des Polarsterns im Life-Focus-Modus
5. Belichtung eines Fotos der Polarsternregion mit etwa 30 Sek, so dass auch die Sterne rund um Polaris sichtbar werden
6. Feineinstellung der Kamera von Polaris weg auf Himmels-Nord anhand einer Sternkarte der Polregion

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

7. Überprüfung durch eine längere Belichtung: Zentrum der Strichspuren muss mittig im Bildfeld liegen
8. *Vorsichtig* alle Stativschrauben anziehen
9. *Vorsichtig* Kamera mit Sechskant vom Schwalbenschwanz abbauen und um 180° gedreht wieder einbauen: Kamera schaut nun unter dem Winkel β auf den Boden
10. durch den Kamerasucher: Verschieben des Halbkugelspiegel auf dem Boden so, dass sich das Kameraobjektiv exakt in der Suchermitte, also in sich selbst spiegelt - da der Spiegel halbkugelig geformt ist, spielt es keine Rolle, ob er auf ebenem Boden liegt
11. Starten der Belichtungssequenz



Für mein erstes ALSK-Himmelspanorama wählte ich mit der Canon EOS 20Da bei maximaler Empfindlichkeit von 3200 ISO eine Belichtungszeit von 30 Sekunden. Damit liegt die Rotationsunschärfe eines Sterns am Horizont theoretisch unter 3 Pixeln. Zwischen den Aufnahmen wurden ebenso lange Belichtungspausen zum Abkühlen der Kamera programmiert. Das Summenbild besteht aus 24 Belichtungen mit einer Gesamtbelichtungszeit von 12 Minuten. Durch die schräge Aufsicht auf den Kugelspiegel ergibt sich eine elliptische Verzeichnung des Himmels wie bei

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

einer drehbaren Sternkarte. Die noch erkennbare Unschärfe der Sterne führe ich auf die nicht perfekte Polachsenjustierung und auf Ungleichmäßigkeiten des Kugelspiegels zurück.

Teil V: Bau einer Spiegelheizung

Die ersten Versuche mit der ALSK hatten gezeigt, dass der große Kunststoffspiegel, auf dem Boden liegend, sehr anfällig gegen Beschlagen ist. Daher baute ich eine Spiegelheizung. Diese besteht aus einer 25W-Glühbirne im Innern des Halbkugelspiegels. Die Innenschale des Spiegels wurde schwarz gestrichen, so dass das Licht der Birne in Wärme umgesetzt wird.



Am 3. Januar 2010 beobachteten Matthias Knülle und ich in Loitersdorf die Quadrantiden. Hierbei hatte die ALSK ihr Second Light mit der Spiegelheizung. Die war bei -10°C auch nötig: Innerhalb kurzer Zeit hatten sich kleine Eiskristalle auf dem Spiegel abgesetzt. 5 Minuten nach Einschalten der Spiegelheizung waren sie verschwunden.

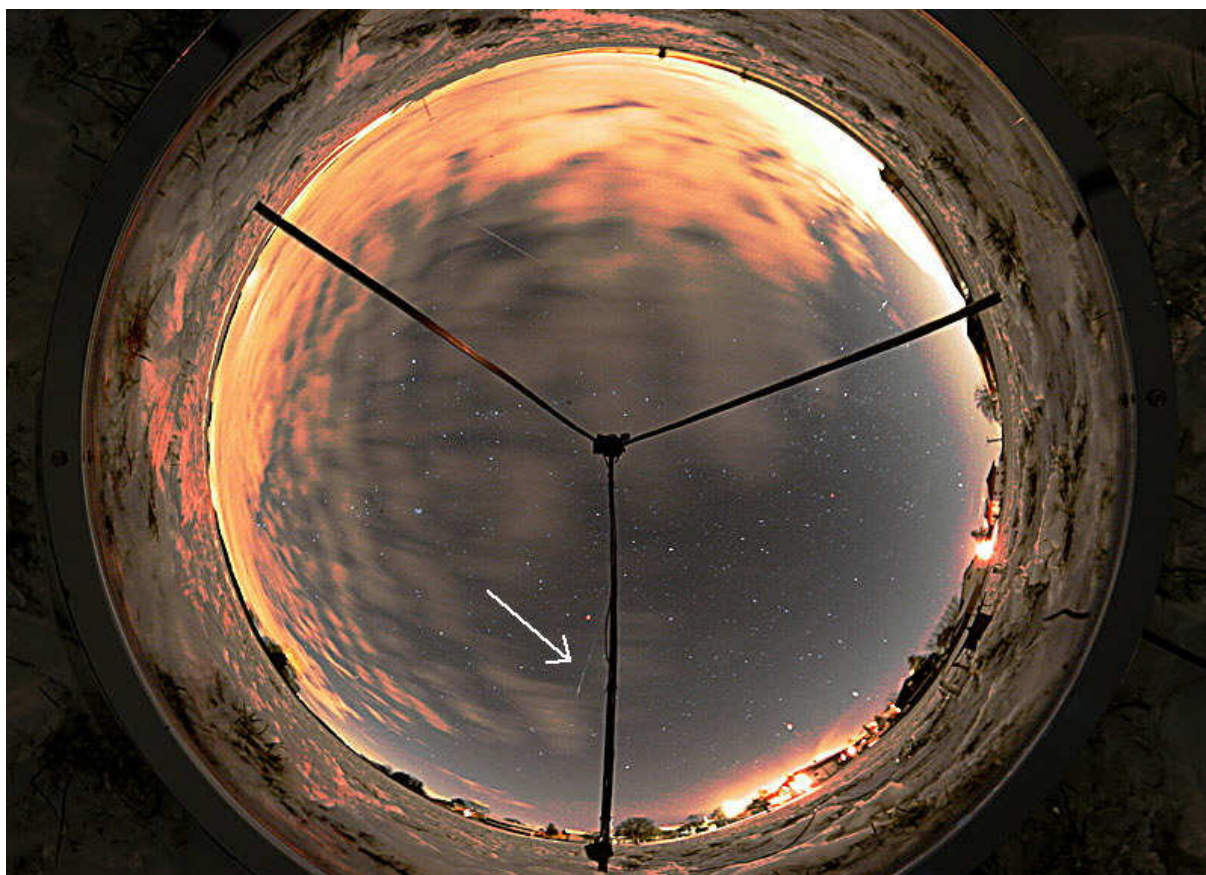
Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Die visuelle Quadrantiden-Beobachtung wurde leider ein Reifall: Zwischen 18:30 Uhr und 20:30 Uhr MEZ sichteten wir nur drei Meteore, davon einen sporadischen. Ständig zogen Wolken durch und die zahlreichen Scheinwerfer am Ortsrand störten sehr. Immerhin gingen der ALSK - außer unzähligen Flugzeugen - zwei hellere Meteore und ein Iridiumflare, der genau durch den Andromedanebel zog, "ins Netz":



Iridiumflare

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung



Objekt	Quadrantid
Sternbild	Pegasus / Fische
Aufnahmeort	Loitersdorf
Datum	3.1.2010
Uhrzeit	N.N.
Optik	All-Sky-Kamera ALSK mit Sigma 2.8/18-50mm
Brennweite	4,6 mm effektiv
Blende	2.8
Kamera	Canon EOS 20Da
Empfindlichkeit	3200 ISO
Filter	-
Belichtungszeit	1 Min.

Damit ist das Projekt ALSK erfolgreich abgeschlossen und die All-Sky-Kamera in Betrieb genommen.

Projekt ALSK: Bau einer All-Sky-Kamera zur Meteorbeobachtung

Nachfolgend die Vor- und Nachteile einer All-Sky-Kamera mit Halbkugelspiegel gegenüber einem Fischaugenobjektiv:

Vorteile:

- Preisgünstiger Selbstbau möglich
- Variabler Bildausschnitt möglich von All-Sky bis Ausschnitt
- Hohe Lichtstärke (= Lichtstärke des Objektivs)
- Mit verschiedenen Kamerasystemen betreibbar
- Unempfindlich gegen Beschlag (mit Spiegelheizung)

Nachteile:

- Obstruktion durch Kamera und Dreibein
- Umständlicher Aufbau, großes Transportvolumen
- Keine nachgeführten Aufnahmen möglich
- Mit Spiegelheizung abhängig von der Nähe einer Steckdose

Peter C. Slansky

18.1.2010

Quellen:

- E. Hecht: „Optik“; Oldenbourg Verlag, München 2005
- www.lrz-muenchen.de/~slansky/bereiche/astronomie/aufnahmetechniken/aufnahmetechniken10a.html