



universität
wien

DIPLOMARBEIT

**Bestimmung von ΔT
aus der Beobachtung
der totalen Sonnenfinsternis
vom 11. Juli 1991**

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasser:	Walter Max SCHWENDENWEIN
Matrikel-Nummer:	7705591
Studienrichtung:	Astronomie
Betreuerin:	Univ.-Prof. Dr. Maria Gertrude FIRNEIS

Wien, im November 2009

© 2009 Walter Max Schwendenwein

ZUSAMMENFASSUNG

Die Problemstellung bestand darin, die gewonnen Aufnahmen der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991 zu analysieren und den Unterschied ΔT zwischen „Terrestrial Time“ TT und „Universal Time Coordinated“ UTC zu ermitteln.

Nach einer Idee von Frau Univ.-Prof. Dr. Maria Gertrude Firneis (1967) wurde dazu die zeitliche Änderung des Abstandes der Mittelpunkte von Sonne und Mond genau vermessen und mit einem extrapolierten bekannten Vergangenheitswert für 1990 verglichen.

Im Gegensatz zu der optischen Vermessung der Ränder von Sonne und Mond mit anschließender Ermittlung der Mittelpunkte wurde in der vorliegenden Arbeit die Randerkennung und weitere Auswertung mit dem symbolischen Computer-Algebra-System „Mathematica“ gelöst.

Die Beobachtung dieser Finsternis in Baja California, Mexiko, wurden auf Filmmaterial mittels schwarz-weiß- Bilder dokumentiert, die danach digitalisiert und reduziert wurden.

Bei jedem der 121 verwertbaren Aufnahmen wurde ein automatisierter Kantenerkennungsalgorithmus ausgeführt, mit anschließender manueller Optimierung der Sonnen- bzw. Mondränder.

Durch diese Ränder wurde jeweils ein Kreisfit gelegt. Die Abstände der Kreismittelpunkte von Sonne bzw. Mond wurden gegenüber der Aufnahmezeit in UTC in ein Diagramm eingetragen.

Diese Punkte ergaben jeweils eine Ausgleichsgerade vor bzw. nach der Totalität. Diese beiden Ausgleichsgeraden bilden nahe der Zeitachse einen Schnittpunkt. Die Lage dieses Schnittpunktes definiert die Mitte der Finsternis in UTC und nach Reduktion in UT1.

Der sich ergebende Wert wurde mit vorausberechneten Zeit aus den veröffentlichten Besselschen Elementen der Ephemeriden unter Annahme eines provisorischen ΔT errechnet. Theoretischer und beobachteter Zeitpunkt wurden verglichen und das wahre ΔT ermittelt.

Das Ergebnis lautet: ΔT am 11. Juli 1991 belief sich auf $57,96 \pm 0,20$ Sekunden.

ABSTRACT

The problem to be solved was to analyze photographs taken on the occasion of the total solar eclipse of July 11th 1991 and to derive the difference ΔT between "Terrestrial Time" TT and "Universal Time Coordinated" UTC.

Owing to the idea of Prof. Dr. Maria Gertrude Firneis (1967) measurements due to the progression of time between the distance of the sun' and the moon's centre points were taken and compared with the extrapolated last value known for 1990.

Contrary to the optical measurements taken of the sun- and moon-circumference points and the following determination of the centres the edge-identifications and the following calculation was carried out in this work by using the symbolic-computer-algebra-system "Mathematica".

The observation of this solar eclipse in Baja California, Mexico, was documented with black and white photographs taken on film material and consequently digitalized and reduced later on.

From each of the 121 useable photographs an automated edge-fitting algorithm was carried out with manual optimization for solar and lunar circumferences.

Through these circumference points a circle-fit was implied. The distance of the circle-centres of sun and moon were drawn in a diagram according to the times at which that pictures were taken in UTC.

These points resulted in two linear regression lines preceding and following totality. These regression lines intersect near the time-axes with a small ordinate. This point of intersection defines mid-eclipse in UTC and after further reduction in UT1.

The derived value was compared with the time precalculated from the published Besselian Elements of the ephemeris taking into account a provisional ΔT . Theoretical and observed mid-eclipse times were compared and the true ΔT was derived.

The result obtained is: ΔT on July 11th 1991 was 57.96 ± 0.20 seconds.

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	3
ABSTRACT	4
INHALT	5
1. Einleitung	6
2. Zeit	7
3. Sonnenfinsternisse	15
4. Die Reise	22
5. Beobachtung und Material.....	25
6. Auswertung der gewonnenen Daten.....	29
7. Rechnerische Bestimmung der lokalen Finsternismitte	60
8. Ergebnis und Diskussion.....	67
ANHANG	
Literaturverzeichnis und Links	73
Abbildungsverzeichnis	75
Softwareverzeichnis	76
Danksagung	77
Lebenslauf	78

1. Einleitung

Am 20. Mai 1966 fand eine ringförmige Sonnenfinsternis statt, deren partielle Phasen in Österreich sichtbar waren. Zu diesem Zeitpunkt befand ich mich in der vierten Klasse Volksschule und konnte, dieses Phänomen am Vormittag durch rußgeschwärzte Gläser beobachten - es beeindruckte mich sehr. Unser Lehrer sprach auch davon, dass es totale Sonnenfinsternisse gäbe, bei denen der Mond die Sonne völlig verdeckte. Diese Ereignisse wären allerdings schwer zu beobachten, weil sie immer nur an wenigen Orten sichtbar wären. Ich nahm mir bereits damals vor, zumindest einmal in meinem Leben eine solche totale Sonnenfinsternis zu beobachten.

In weiterer Folge sah ich jedes Jahr in diversen Jahrbüchern und Kalendern nach, ob eine solche Finsternis von Österreich aus beobachtbar wäre - leider vergebens. In den 1960-er Jahren eroberte der Mensch den erdnahen Weltraum. Eine Entwicklung, die auch meine Jugend prägte. Mein Wunsch Astronaut zu werden erfüllte sich begreiflicherweise nicht. Dafür konnte ich den Beruf des Linienpiloten einschlagen, mein Interesse an der Astronomie nahm jedoch keineswegs ab.

Im Jahr 1989 begann ich mit meinem Astronomiestudium und organisierte - bereits als Flugkapitän - nun endlich eine Reise zu der relativ nah stattfindenden totalen Sonnenfinsternis vom 22. Juli 1990 nach Finnland. Wir flogen mit einer Fokker 50, die ich selbst pilotierte, in 25.000 Fuß Höhe durch den Mondschaten. Bei dieser Reise wurde ich von zwei Passagieren, DI Dr. Heinz Scsibrany und Rudolf Conrad angesprochen, doch im Jahr 1991 zu der großen und für unsere verbleibende Lebenszeit längsten totalen Sonnenfinsternis nach Mexiko zu reisen.

Frau Univ.-Prof. Dr. Maria Gertrude Firneis ermutigte mich auch zu diesem Unternehmen, zumal niemand sonst von der Universität Wien zu dieser Finsternis in offizieller Mission reiste. Ich sollte während der partiellen Phasen Material für die Bestimmung von ΔT gewinnen. Dieses ΔT , die Differenz zwischen TT und UT1, kann aus der Vermessung der Abstände der Mittelpunkte der Sonnen- bzw. der Mondscheibe gewonnen werden. Das Institut für Astronomie der Universität Wien stellte mir auch ein neues GPS-Ortungssystem zur Verfügung, um meinen Beobachtungsplatz ideal wählen zu können.

Die Reise nach Mexiko führte uns nach Zapopan nahe Guadalajara im Bundesstaat Jalisco und weiter nach Baja California Sur, wo ich diese Finsternis erfolgreich beobachten und Aufnahmen gewinnen konnte.

Familiengründung, Hausbau und starker Einsatz in meinem Beruf verzögerten die Auswertung des Materials um Jahre. Mittlerweile war die Digitaltechnik nicht mehr wegzudenken und somit auch computergestützte Bildanalyse möglich. Ich entschloss mich daher, eine komplett neue Methode zur Auswertung von Finsternisbildern zu entwickeln, um das gewünschte ΔT zu erhalten. Gerade dieser Weg stellt den wesentlichen Bestandteil dieser Diplomarbeit dar.

2. Zeit

2.1 Allgemeiner Zeitbegriff

Der Begriff der Zeit gab den Menschen schon immer Rätsel auf. Man kann die Zeit nur erfahren, aber nicht anders begreifen. Bis ins 20. Jahrhundert galt sie als absolut, bis Einstein sie untersuchte.

Zeit erfährt man als Veränderung von Zuständen. Blicke alles völlig gleich - man könnte die Zeit nicht erfassen.

Der Zeitbegriff entwickelte sich in der Geschichte der Menschheit durch die Erfahrung der - meist periodischen - Veränderungen in der Natur, vor allem durch den Wechsel von Tag und Nacht, also durch die Erdrotation. In weiterer Folge prägte natürlich der Mondlauf mit seinen Phasen die Zeitskalen, ebenso wie der Wechsel der Jahreszeiten bedingt durch den Lauf der Erde um unsere Sonne. Diese Vorgänge des laufenden - aber meist zyklischen - Wandels stellten sich in verschiedenen Weltregionen und Kulturen unterschiedlich dar, sei es nun in Form des winterlichen Schnees in den Alpen oder durch die Nilüberschwemmung im alten Ägypten und prägten auch die Kalender und Zeitskalen der Menschen.

2.2 Ortszeit

Innerhalb des Tages gab der Sonnenstand die Uhrzeit an - jeder Längengrad hatte somit seine „Ortszeit“. Mittag war, wenn die Sonne vom Beobachter aus am höchsten stand. Jeder Ort, der auf einem anderen Meridian lag, hatte somit eine andere Zeit. Dass sich die Sonne auch nicht immer gleichmäßig bewegte, fiel nur wenigen gebildeten Sternkundigen auf.

Die Ortszeit war durchaus sinnvoll und dem Rhythmus der Menschenalltags angepasst, solange die maximale Geschwindigkeit der Fortbewegungsmittel durch den Galopp der Pferde oder dem Lauf eines Stromes definiert war. Schnellere Transportmittel oder Übertragungswege waren unbekannt oder - etwa in Form von Licht-, Rauch oder Akustikzeichen - lediglich auf kurze Entfernungen beschränkt.

2.3 Zonenzeit

Seit der Erfindung schnellerer Übertragungs- und Transportwege war die Einführung von Zeitzonen angebracht. Alle 15 Längengrade befindet sich eine andere Zeitzone, die sich typischerweise um eine Stunde von der Nachbarzone unterscheidet. Diese Zeitzonen laufen jedoch nicht streng an den Meridianen sondern - manchmal mit durchaus erheblichen Abweichungen - meist an politischen Grenzen. Auch religiöse Elemente beeinflussen die Zeitzonen - so etwa definiert Nepal seine Zeitzone durch den Meridian E 86° 15' - nahe des Grabes eines Heiligen - mit UTC+5:45. Manche Länder wie etwa der Iran oder Indien, aber auch die „Australian Central Standard Time“, sind um eine halbe Stunde gegenüber anderen Zeitzonen verschoben.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

2.4 Mittlere Zeit.

Der scheinbare Lauf der Sonne am Firmament erfolgt nicht gleichmäßig. Die maßgeblichen Einflüsse ergeben sich einerseits aus der elliptischen Bahn der Erde um die Sonne nach den Keplerschen Gesetzen, andererseits aber auch aus der Projektion der scheinbaren Sonnenbahn auf den Horizont, je nach Länge des Tagesbogens, also abhängig von der Jahreszeit auf Grund der Schiefe der Erdachse zur Ekliptik. Somit gehen die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne und der jeweilige Sonnenazimut in einem horizontalen Koordinatensystem gemeinsam in eine Kurve ein, die sogenannte „Zeitgleichung“ (Abbildung 1).

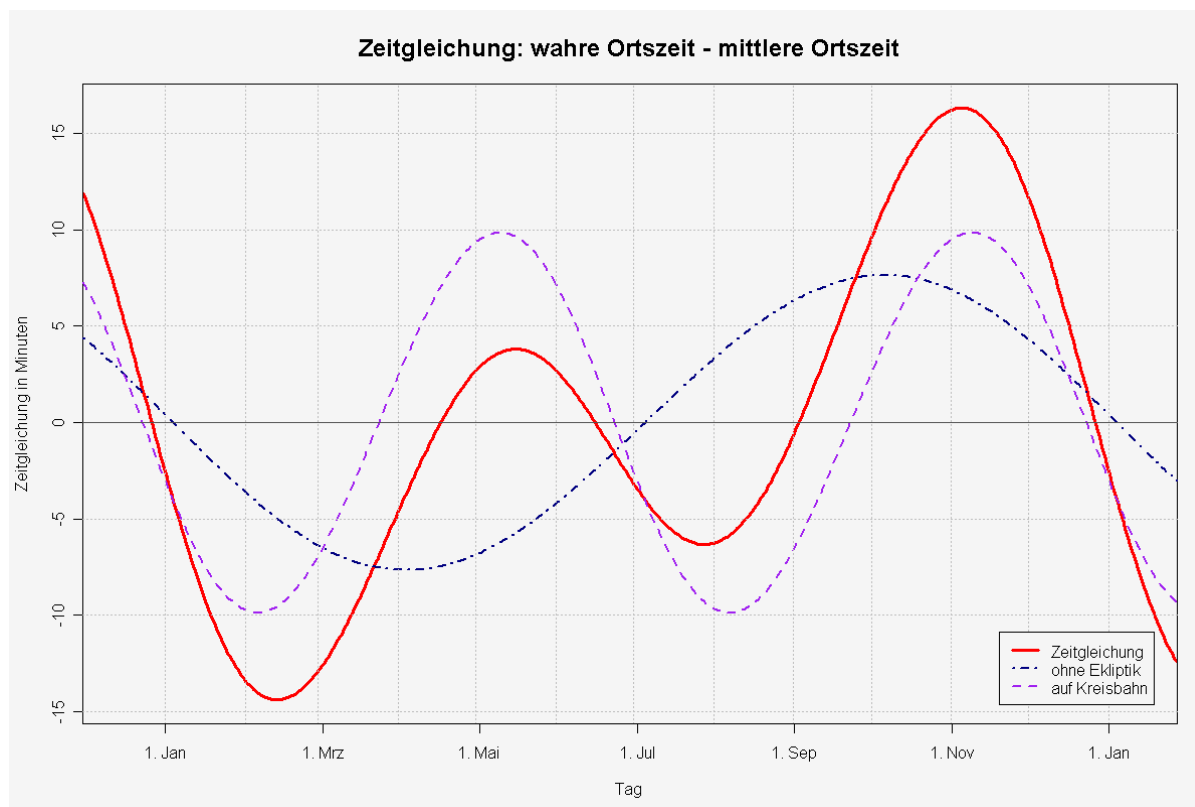


Abbildung 1: Zeitgleichung (Wikipedia [A1])

Wie ersichtlich ist, bedingt die Zeitgleichung Abweichungen bis zu etwa 16 Minuten gegenüber der mittleren Sonnenzeit. Genaue Sonnenuhren berücksichtigen diese Tatsache durch ihre Bauart, in einer Korrekturtabelle oder ähnlichem.

2.5 Tageslänge und Zeiteinheiten

Die ursprünglichste Zeitdefinition ergab sich durch die Tageslänge. Geschichtlich wurde die Zeit zwischen zwei Meridiandurchgängen der Sonne, also jeweils Mittag, auf Tag und Nacht aufgeteilt. Nach dem üblichen Zwölfersystem wurden zwölf Stunden Tag und zwölf Stunden Nacht definiert, somit 24 Stunden.

Jede Stunde wurde in eine „kleinere“ Einheit, der „Minute“ (aus lat. „minutus“ = „klein“, „winzig“) geteilt. Hierzu bediente man sich der weit verbreiteten 60-er Unterteilung, weil in der Zahl 60 die ganzzahligen Teiler 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 und 30 enthalten sind, vor allem auch die ersten drei Primzahlen.

Ebenso wurde jeder Minute in eine „zweitkleinere“ Einheit, der „Sekunde“ (aus lat. „secundus“ = „der zweite“ aber auch „geringer“) geteilt. Somit war die Sekunde, die Basiseinheit der Zeit, definiert als der 86.400-ste Teil eines mittleren Sonnentages. Dies war für lange Zeit ausreichend genau.

Die Sekunde wurde schließlich zur Basiseinheit der Zeit.

2.6 Ephemeridensekunde

Mit zunehmender Genauigkeit der Zeitmessung stellte man fest, dass die Erdrotation nicht ausreichend gleichförmig war. Kurzzeitschwankungen wie die Massenverlagerungen im Erdinneren und Langzeiteffekte, vor allem die Gezeitenreibung, führen dazu, dass man die Sekunde neu definieren musste.

Die Sekunde wurde daher nicht an die Erdrotation - also an den Tag - gebunden sondern an den Umlauf der Erde um die Sonne, genauer an das „Tropische Jahr“.

Das Tropische Jahr definierte sich früher als die Zeit eines Erdumlaufs um die Sonne entlang der Ekliptik von Frühlingspunkt zu Frühlingspunkt. Die neuere Definition besagt schlicht, es sei der Zeitraum, in dem die mittlere ekliptikale Länge der Sonne um 360° zunimmt. Aber auch das Tropische Jahr ist veränderlich, derzeit nimmt es etwa eine halbe Sekunde pro Jahrhundert ab, daher musste ein Referenzzeitpunkt festgelegt werden.

Eine Ephemeridensekunde definiert sich somit als der Bruchteil $1/31556925,9747$ des Tropischen Jahres am 0. Januar 1900 (unter „0. Januar 1900“ versteht man den 31. Dezember 1899). Sie wurde 1960 von der Generalkonferenz für Maß und Gewicht als Zeiteinheit des SI-Systems ratifiziert (Nelson [1]).

Die daraus definierte Ephemeridenzeit stimmte somit zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit der Weltzeit (UT) überein.

Doch relativ bald darauf fand man, dass es besser sei, die Basiseinheit der Zeit von der menschlich erfahrbaren Zeit wie Tag oder Jahr völlig abzukoppeln und rein physikalisch zu definieren.

2.7 Internationale Atomzeit

Auf der 13. Internationalen Generalkonferenz für Maß und Gewicht „CGPM“ (für franz. „Conférence Générale des Poids et Mesures“) 1967 entschloss man sich nunmehr, eine von der ungenauen Erddotation unabhängige Definition der Sekunde zu finden.

Die neue SI-Sekunde lautet nunmehr:

Eine Sekunde ist das 9192631770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids Caesium 133 entsprechenden Strahlung (CGPM[2]).

Sie hat die gleiche Dauer wie die Ephemeridensekunde.

1972 wurde diese Sekunde der neu eingeführten internationalen Atomzeit „TAI“ (für franz. „Temps Atomique International“) zu Grunde gelegt.

Die TAI wurde so eingerichtet, dass sie am 1. Januar 1958 der Weltzeit (UT) entsprach. Dadurch ergab sich eine Differenz zur alten Ephemeridenzeit, denn diese hatte sich seit 1900 von der Weltzeit (UT) bereits um etwa 32 Sekunden entfernt.

Seither galt die konstante Beziehung: $ET = TAI + 32,184 \text{ Sekunden}$.

Die derzeitige TAI wird beim Internationalen Büro für Maß und Gewicht „BIPM“ (für franz. „Bureau International des Poids et Mesures“) nahe Paris, aus den Daten von über 260 Atomuhren aus über 60 Ländern gewonnen.

2.8 GPS-Zeit

Die für das internationale Satellitennavigationssystem GPS „Global Positioning System“ verwendete Zeit bezeichnet man als GPS-Zeit. Sie hat einen einfachen Bezug zur TAI und somit zur TT:

$$TAI - \text{GPS-Zeit} = +19 \text{ sec}$$

$$TT = \text{GPS time} + 51.184 \text{ sec.}$$

Die GPS-Zeit startete am 5. Januar 1980 um 24:00:00 und war zu diesem Zeitpunkt gleichlautend mit der UTC.

2.9 Dynamische Zeit

Da die Zeit unter Berücksichtigung der relativistischen Effekte gemäß Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie nicht konstant verläuft, sondern immer einem Bezugssystem unterliegt, führte man 1984 die Dynamische Zeit ein.

Man unterschied die TDT „Terrestrial Dynamic Time“, die die relativistischen Effekte auf der Erde berücksichtigt, und die TDB „Barycentric Dynamical Time“, die sich auf das Schwerezentrum des Sonnensystems bezieht.

1991 wurden auf der 21. Generalversammlung der Internationalen Astronomischen Union (IAU) das nicht aussagekräftige „Dynamic“ gestrichen und drei genau definierte Begriffe eingeführt:

Die TT „Terrestrial Time“: Bezugssystem ist das Geoid auf Meeresniveau, auf der die Atomsekunde abläuft.

Die TCG „Geocentric Coordinated Time“, bezogen auf den Erdmittelpunkt. Hier gibt es einen klaren linearen Zusammenhang zwischen TCG und TT, der im Jahr 2000 nochmals leicht angepasst wurde.

Er lautet: Verhältnis zwischen TT und TCG: $1 - 6.969290134 \times 10^{-10}$ (IAU [3])

Die TCB „Barycentric Coordinated Time“. Sie stellt die Zeit dar, die im Baryzentrum des Sonnensystems abläuft, also in jenem Punkt, an dem sich alle Gravitationskräfte des Sonnensystems aufheben. Dieser Punkt liegt - wenn auch durch den Planetenlauf variabel - stets innerhalb der Sonne.

Diese Begriffe stellen die derzeit fundamentalsten und modernsten Zeitskalen dar.

2.10 Weltzeit

Eine stabile Zeit mit genauer Definition ist physikalisch bedeutsam, zumal sie in viele andere Konstante und Maßeinheiten nach dem SI-System eingeht.

Am täglichen Zeitablauf des Menschen ändert sich dadurch jedoch nichts. Nach wie vor bestimmen die Tageslänge und das Kalenderjahr das tägliche Leben. Deshalb berücksichtigt der Gregorianische Kalender auch die Wanderung des Frühlingspunktes durch die Lunisolare Präzessionsbewegung der Erdachse, um die Lage der Jahreszeiten zum Kalender stabil zu halten. Er passt sich fast ideal an das Tropische Jahr an.

Geschichtlich war für globale Zeitmessungen eine einheitliche Weltzeit unausweichlich. Vor allem Bücher mit Navigationsinhalten für die Schifffahrt - und später auch für die Luftfahrt - sollten sich auf eine weltweit gültige Zeit beziehen. Auch sollten astronomische Tabellen und Publikationen auf diese Weltzeit verwenden.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Schließlich setzte sich die führende Seemacht der vergangenen Jahrhunderte durch: Großbritannien. Der Nullmeridian des weltweiten Gradnetzes wurde durch die Sternwarte in Greenwich gelegt, damit verbunden wurde auch diese Zeit als die Weltzeit definiert und in weiterer Folge auch als GMT „Greenwich Mean Time“ bezeichnet, also als „mittlere Zeit in Greenwich“.

Noch heute wird die Weltzeit mit „Z“ wie „Zero“, bezeichnet. Mann nennt sie auch „Zulu“-Zeit - nach dem internationalen Buchstabieralphabet, das bei NATO und ICAO (Internationale Zivilluftfahrtorganisation) gebräuchlich ist.

1928 wurde die GMT durch die UT „Universal Time“ ersetzt, es handelte sich jedoch nur um einen Namensänderung. Die UT orientiert sich somit an der Erdrotation und am Tropischen Jahr. Sie ist daher keine gleichförmige und konstante Zeitskala.

Im Laufe der Jahre wurden noch drei Untergruppen von UT präzisiert:

UT0: Die durch Beobachtung gewonnene Weltzeit

UT1: Die UT0 korrigiert um die Polschwankungen der Erde

UT2: Zusätzliche Korrektur der mittleren jährlichen Schwankungen der Erdrotation

Schließlich wurde 1968 die UTC „Koordinierte Weltzeit“ eingeführt. Sie basiert auf der TAI und wird durch ganze Schaltsekunden so nachgeführt, dass die Differenz zur UT1 nie mehr als 0,9 Sekunden beträgt.

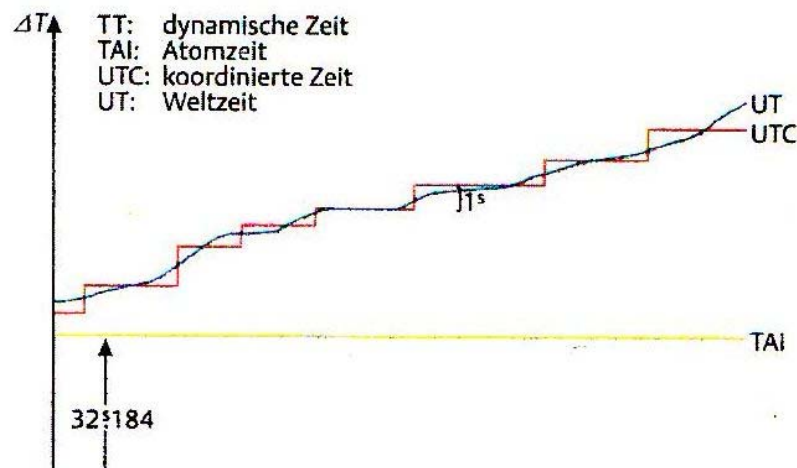


Abbildung 2: Zusammenhang der wichtigsten Zeitskalen (Zeitlinger [A2])

Die Differenz von UT1 – UTC, genannt $\Delta UT1$ wird wöchentlich vom International Earth Rotation Service bekanntgegeben.

UTC ist somit jene Zeit, die Zeitzeichensender ausstrahlen und dadurch die offizielle Weltzeit.

2.11 Sternzeit

Die Sternzeit soll hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Für die vorliegende Arbeit ist sie nicht von Bedeutung.

Der Begriff ist insofern etwas verwirrend, weil es sich dabei keineswegs um eine „Zeit“ im klassischen Sinn handelt, sondern um ein Winkelmaß, genau genommen um den Stundenwinkel des Frühlingspunktes in Bezug auf den Meridian für einen Beobachter in einem horizontalen Koordinatensystem.

Wird ein Sonnentag - vereinfacht dargestellt - von Sonnenhöchststand zu Sonnenhöchststand definiert, so wird ein Sternzeittag vom Meridiandurchgang des Frühlingspunktes bis zum darauffolgenden gleichen Ereignis gezählt. Ein Sonnentag dauert etwa vier Minuten länger, weil die Erde sich um etwa ein Bogengrad täglich auf der Ekliptik weiterbewegt und - nachdem der Frühlingspunkt den Meridian erneut passiert hat, sich noch etwa ein Grad weiter drehen muss, bis die Sonne wieder durch den Meridian geht.

Die Dauer eines Sternzeittages beträgt 23 Stunden 56 Minuten 4,091 Sekunden.

Die Mittlere Greenwich Sternzeit (GMST) kann mit dem Fehler von 0,1 Sekunden pro Jahrhundert wie folgt berechnet werden (USNO [4]):

$$\text{GMST} = 18,697374558 + 24,06570982441908 * D$$

wobei „D“ das Zeitintervall in Tagen seit dem 1. Jänner 2000 12:00 UT darstellt.

Da sich sowohl die Sternzeit als auch das Tropische Jahr am Frühlingspunkt orientieren, hat die Sternzeit somit eine direkte Beziehung zur TT und wird vor allem für Beobachtungen und zum Nachführen der Instrumente bei Himmelsaufnahmen benötigt.

Globale Sternzeituhren geben den jeweiligen Stundenwinkel des Frühlingspunktes gegenüber dem Nullmeridian an. In Katalogen veröffentlichte Sternzeittabellen beziehen sich üblicherweise auf den Nullmeridian.

Sternzeituhren für einen bestimmten Beobachtungsort zeigen die sogenannte „Ortssternzeit“.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 19912.12 ΔT

Zieht man UT1 von TT ab, so erhält man ΔT :

$$\Delta T = TT - UT1$$

Diese Beziehung gibt somit die Differenz zwischen der physikalisch definierten, möglichst gleichförmigen TT „Terrestrial Time“, basierend auf der TAI „Internationalen Atomzeit“ und der im täglichen Leben anwendbaren UT1 „Universal Time 1“ an.

Da der Verlauf von UT1 unsicher ist, kann ΔT immer nur extrapoliert aber nie definitiv vorhergesagt werden.

Man kann ΔT daher nur durch Beobachtungen bestimmen und dann mit dem vorher extrapolierten Wert vergleichen.

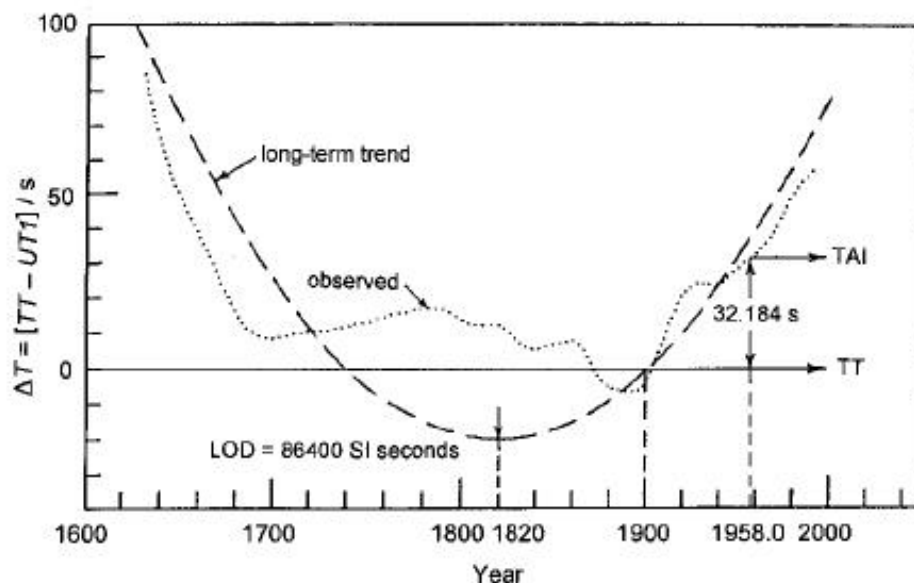


Abbildung 3: Historischer Verlauf von ΔT (Stephenson [A3])

Wie aus der Abbildung 3 deutlich wird nahm ΔT lange Zeit ab, stimmte definitionsgemäß 1900 mit UT überein und nimmt derzeit laufend zu. Grund ist die zunehmend langsamer werdende Erdrotation, insbesondere wegen der Gezeitenreibung, durch die Drehmoment auf den Mond übertragen wird.

Finsternisse stellen wegen der sehr genau messbaren Beziehung in den Positionen von Sonne und Mond eine wesentliche Quelle zur Gewinnung von ΔT dar. Zusätzlich kann dieser Wert mittels Sternbedeckung durch den Mond und mittels Meridiankreisbeobachtung von Fixsternrektaszensionen bestimmt werden.

3. Sonnenfinsternisse

3.1 Allgemeines

Sonnenfinsternisse treten ein, wenn sich Sonne, Mond und Erde näherungsweise in einer Linie befinden. Dies wurde durch M. G. Firneis ausführlich beschrieben [5].

Nicht bei jedem Umlauf des Mondes um die Erde kommt es zu einer Finsternis, weil die Mondbahn etwa 5° zur Ekliptik geneigt ist und der Mondschaten deshalb meist an der Erde vorbei fällt.

Steht jedoch der Neumond nahe der Ekliptik, also in oder nahe seinem Knotenpunkt, so fällt der Schattenkegel des Mondes auf die Erdoberfläche.

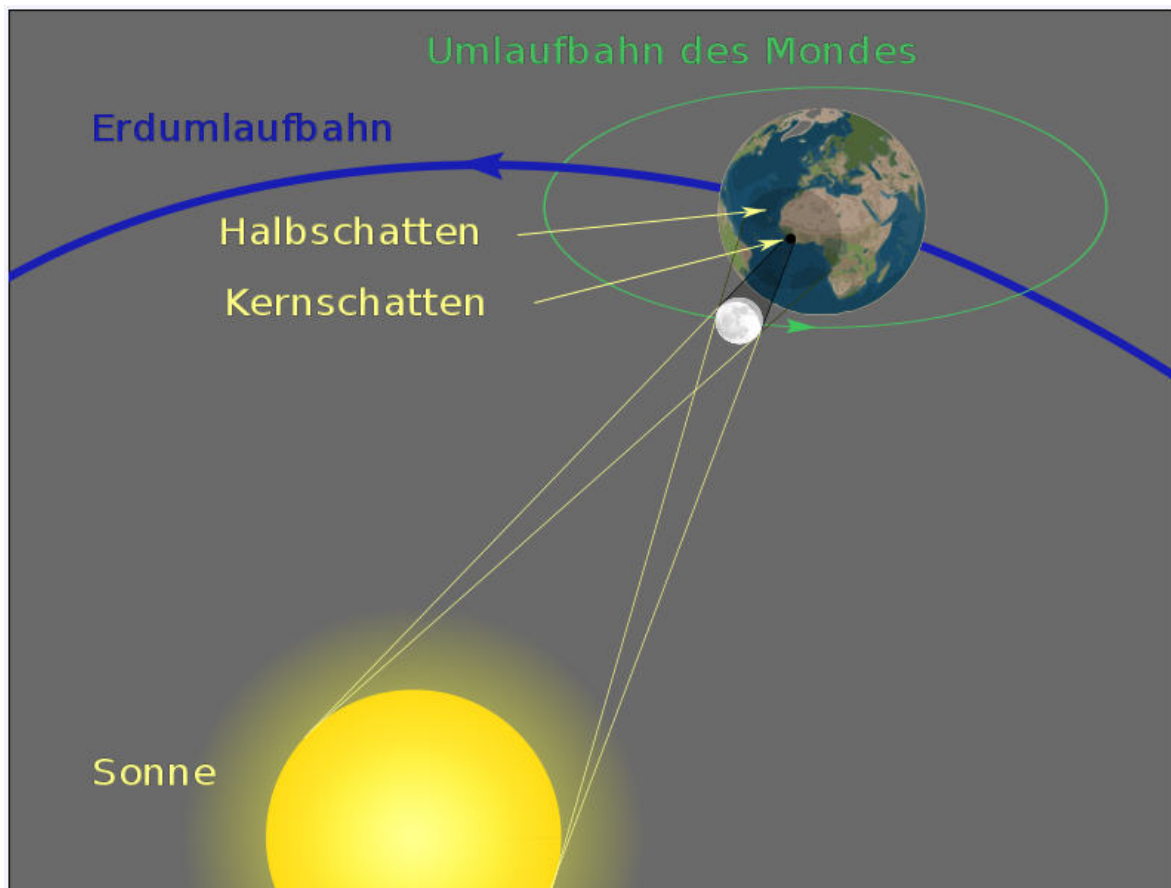


Abbildung 4: Sonnenfinsternis (Wikipedia [A4])

3.2 Mondbahn

Der Mond läuft in einer annähernd elliptischen Bahn um das gemeinsame Bayrzentrum des Systems Erde - Mond. Dieser gemeinsame Schwerpunkt liegt nur etwa 1700 km unterhalb der Erdoberfläche, nachdem der Mond immerhin 1/81-stel der Erdmasse besitzt. Die Mondbahn unterliegt mannigfachen Einflüssen der anderen Himmelskörper. Deren Berechnung stellt eine komplizierte Aufgabe für die Himmelsmechanik dar.

Die mittlere Entfernung Erde-Mond beträgt 384.401 km, Die minimale Erdentfernung beläuft sich auf 356.400 km, der maximale Abstand auf 406.700 km. Die numerische Exzentrizität $e = 0,0549$ schwankt von 0,044 bis 0,067 in einem halben Jahr. Die Bahnebene des Mondes ist im Mittel um $5^\circ 08' 43''$ gegenüber der Ekliptik geneigt. Dieser Wert schwankt jedoch um $\pm 9''$ in einem halben Finsternisjahr, also einer Periode von 173,31 Tagen (Keller[6]).

Wäre das System Erde - Mond ohne weitere gravitative Einflüsse, wäre die Mondbahn mit hoher Genauigkeit bestimmbar. Vor allem die Sonne führt aber zur Abweichung von der elliptischen Bahn. Erst die Analyse des Dreikörpersystems nach der Gravitationstheorie von Newton führte zu einer einigermaßen befriedigenden Erklärung der Bahnstörungen.

Während die Lagen des aufsteigenden Knotens sowie des Perigäums durch den Sonneneinfluss gleichmäßig wandern, was man „säkulare Störung“ bezeichnet, unterliegen die anderen Bahnelemente, vor allem die Große Halbachse, die numerische Exzentrizität und die Bahnneigung periodischen Einflüssen, abhängig von der ekliptikalen Länge des Mondes λ_m und der Sonne λ_s .

Die Tatsache, dass der Mond auf einer elliptischen Bahn um die Erde und daher nicht mit konstanter Winkelgeschwindigkeit läuft, somit um $\pm 6,3^\circ$ in seiner Position um die mittlere Position schwankt, ist mit dem zweiten Keplerschen Gesetz erklärbar. Dies nennt man die „Große Anomalie“, ohne eine wirkliche Anomalie zu sein, da die geschichtliche Idealvorstellung einer kreisförmigen Mondbahn eben nicht der Wirklichkeit entspricht.

Man beschreibt zudem fünf Störungen:

- Evektion
- Variation
- Jährliche Gleichung
- Parallaktische Gleichung
- Säkulare Gleichung

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

3.3 Evektion

Die Evektion (von lat. „evehere“, „hinausfahren“) bezeichnet eine periodische Mondbahnstörung.

Nach Schneider [7] zeigt sich, dass sich die numerische Exzentrizität der Mondbahn um einen Summanden verändert, der proportional ist zu:

$$\cos(\lambda_s - 2\lambda_m + \Pi) \quad 3.1$$

Ein weitere Term verändert die Lage des Perigäums proportional zu:

$$\sin(\lambda_s - 2\lambda_m + \Pi) \quad 3.2$$

Π bedeutet die mittlere säkulare ekliptikale Länge des Perigäums.

Nach genauerer Analyse ergibt sich folgender Term als maximale Mondbahnstörung in ekliptikaler Länge:

$$\Delta\lambda_m^{max} = e_m \left(\frac{15}{4}\mu + \frac{263}{16}\mu^2 + \frac{48217}{708}\mu^3 + \frac{1880537}{9216}\mu^4 \right) + \mathcal{O}(\mu^5) \approx 1,27^\circ \quad 3.3$$

Hier bedeutet $\mu = \omega_s/\omega_m \approx 0,075$ das Verhältnis aus siderischem Monat und siderischem Jahr, $e_m \approx 0,0549$ die mittlere numerische Exzentrizität der Mondbahn.

Die Periode der Störung beträgt somit:

$$P = \frac{2\pi}{(2 - c)\omega_m - 2\omega_s} \approx 31,8 \text{ Tage} \quad 3.4$$

Der Korrekturfaktor $c \approx 0,992$ ist von μ unabhängig.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

3.4 Variation

Unter Variation (von lat. „varius“, „ungleich“) im Sinne der Himmelsmechanik versteht man eine Mondbahnstörung, die eine Periode von 14,8 Tagen aufweist, somit die Dauer eines halben Synodischen Monats.

Wiederum nach Schneider [7] zeigt sich, dass nach genauer Analyse die Amplitude $39' 30''$ aufweist.

$$\Delta\lambda_m^{max} = \frac{11}{4}\mu^2 + \frac{59}{12}\mu^3 + \frac{893}{72}\mu^4 + \frac{2855}{108}\mu^5 + \mathcal{O}(\mu^6) \approx 35' = 0,583^\circ \quad 3.5$$

Die ersten Glieder hängen nicht von der numerischen Exzentrizität ab, die verbleibenden etwa $5'$ jedoch von Termen, in die sowohl die Exzentrizität der Erdbahn als auch die der Mondbahn einfließen.

Die Periode der Störung beträgt genau die Dauer eines Synodischen Monats:

$$P = \frac{2\pi}{2(\omega_m - \omega_s)} \approx 29,6 \text{ Tage} \quad 3.6$$

3.5 Sonstige Bahnstörungen

Weitere untergeordnete Bahnstörungen treten noch mit unterschiedlicher Periodenlänge und Amplitude auf:

Die „Jährliche Gleichung“ in der Dauer eines Anomalistischen Jahres, also zwischen zwei Periheldurchgängen, beschreibt Störungen von $\pm 11' 11''$.

Die „Parallaktische Gleichung“, wie die Variation ebenfalls mit der Periode eines Synodischen Monats, beläuft sich auf $\pm 2' 08''$.

Schließlich führt die Übertragung von Drehmoment durch die Erde auf den Mond zu einer „Säkularen Akzeleration“, also einer Beschleunigung, die $+8''$ pro Jahrhundert beträgt. Diese Beschleunigung führt zu einer Entfernung des Mondes um $3,8 \text{ cm}$ pro Jahr.

3.6 Libration

Unter Libration versteht man, dass die der Erde zugewandte Seite des Mondes trotz gebundener Rotation im Laufe leicht unterschiedlich beobachtet werden kann.

Man unterscheidet verschiedene Arten der Libration (Voigt [8]):

Libration in Länge: die gebundene Rotation des Mondes führt dazu, dass der Mondkörper zwar gleichmäßig rotiert, jedoch durch seine elliptische Umlaufbahn unterschiedliche Winkelgeschwindigkeiten aufweist. Somit dreht er sich nahe des Perigäums optisch zu schnell, nahe des Apogäums zu langsam. Diese seitliche Drehung beträgt maximal $7,9^\circ$, sie bezieht sich auf den anomalistischen Monat, weil die Perigäumsdurchgänge relevant sind.

Libration in Breite: verantwortlich dafür ist die Schiefe der Rotationsachse des Mondes gegenüber seiner Bahnebene. Dieses „Nicken des Mondes“ beträgt $6,7^\circ$ auf Grundlage des drakonischen Monats, also zwischen Durchläufen durch denselben Mondknoten.

Parallaktische Libration: Zwischen Auf- und Untergang des Mondes dreht sich die Erde um etwa 180° . Dadurch wird die Mondoberfläche unter einer anderen Parallaxe gesehen, die etwa 1° beträgt. Dies tritt täglich auf und wird daher auch tägliche Libration genannt.

Physische Libration: ausgelöst durch die Gezeitenkräfte der Erde schwankt der Mond leicht um etwa $0,04^\circ$.

All diese Librationen gemeinsam und verknüpft mit den unterschiedlichen Beobachtungsorten auf der Erde zwischen Nordpol und Südpol ergeben, dass etwa 60% der Mondoberfläche von der Erde aus direkt beobachten werden können.

Für Finsternisberechnung haben diese Librationen insofern Bedeutung, als durch das unterschiedliche Mondrandprofil leicht andere Kontaktzeiten entstehen können und Erscheinungen wie der Diamantringeffekt, das Perlschnurphänomen und fliegende Schatten. beeinflusst werden.

Für die vorliegende Arbeit haben die Kontaktzeiten allerdings keine Bedeutung, da bei der Bestimmung von ΔT die Mitte der Finsternis maßgeblich ist.

3.7 Monat

In der Astronomie unterscheidet man verschiedene Monatsbegriffe. Die im Folgenden angegebenen Perioden stellen mittlere Werte dar und beziehen sich auf die Epoche J2000.0 (Hermann [9]):

:

Synodischer Monat: Die Periode zum Wiedererreichen gleicher Mondstellung gegenüber der Sonne, genau genommen die mittlere Dauer zwischen zwei gleichen Mondphasen, mit einer Periode von 29d 12h 44min 3s. Dies definiert den klassischen Monat.

Siderischer Monat: Die Zeit für einen Umlaufzeit des Mondes in Bezug auf die Fixsterne, mit einer Dauer von 27d 7h 43min 12s.

Tropischer Monat: Mondumlaufsdauer bezogen auf den Frühlingspunkt. Durch die Lunisolare Präzession der Erdachse, die zur Wanderung des Frühlingspunktes führt, ist er etwa 7 Sekunden kürzer als der Siderische Monat, somit 27d 7h 43min 05s.

Drakonitischer Monat: Die Periode zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen durch den selben Mondknoten (auch „Drachenpunkt“ genannt, daher der Name). Dieser Zyklus ist vor allem für die Berechnung der Sonnen- und Mondfinsternisse wichtig. Er dauert 27d 5h 5min 36s.

Anomalistischer Monat: Die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Perigäumsdurchgängen des Mondes. Hierbei handelt es sich um seine eigentliche Bahnperiode. Die Dauer beläuft sich auf 27d 13h 18min 33s.

3.8 Das Finsternisjahr

Die Schnittlinie der beiden Ebenen Erdbahn - Mondbahn, die sogenannte Knotenlinie, bewegt sich entgegen dem Umlaufsinn des Mondes rückläufig in 18,6134 Jahren durch die Ekliptik. Dadurch ergeben sich jeweils andere Finsterniszeiten im Jahr, weil nur dann eine Sonnenfinsternis eintritt, wenn der Schatten des Mondes entlang der Knotenlinie und somit auf die Erde fällt. Hierzu müssen sowohl die Sonne als auch der Mond nahe dem Mondknoten stehen.

Unter dem Finsternisjahr versteht man somit die Periode zwischen dem Durchlauf der Sonne durch den gleichen Mondknoten. Es beträgt 346 Tage 14 Stunden und 53 Minuten. Es ist somit erheblich kürzer als ein Sonnenjahr (Meeus [10]).

Daher verfrühen sich die Finsterniszeiten, die nach jeweils einem halben Finsternisjahr eintreten deutlich im Laufe des Tropischen Jahres. Dadurch kann es vorkommen, dass drei Finsternisperioden in ein Kalenderjahr fallen und somit maximal fünf Sonnenfinsternisse eintreten.

3.9 Der Saros-Zyklus

Die Tatsache, dass 223 Synodische Monate, also 6585,32 mittlere Sonnentage, fast gleich der Dauer von 242 Drakonischen Monaten mit 6585,35 mittleren Sonnentagen entspricht führt zu einer Wiederholung von Finsternissen, die unter sehr ähnlichen himmelsmechanischen Voraussetzungen ablaufen. Zudem ergeben 239 Anomalistische Monate 6585,54 mittlere Sonnentage. Dies entspricht etwa 18,03 Kalenderjahren.

Daher ereignen sich ähnliche Finsternisse im Abstand von 18 Jahren, 10 Tagen und 8 Stunden - liegen anstatt 5 Schaltjahre nur 4 in diesem Zeitraum, dann beträgt das Intervall 18 Jahre, 11 Tage und 8 Stunden. Sie werden in einem sogenannten Saros-Zyklus zusammengefasst.

In den genannten 8 Stunden dreht sich die Erde um etwa 120° weiter, so dass die Finsternisse nach drei Saros-Perioden etwa wieder am gleichen Ort eintreten, meist jedoch etwas weiter nördlich - bei absteigendem Knoten - oder weiter südlich - bei aufsteigendem Knoten.

Ein Saros-Zyklus besteht aus etwa 71 Finsternissen und dauert etwa 1270 Jahre. Es können etwa 38 Saros-Zyklen gleichzeitig ablaufen.

Durch die doch nicht ganz genaue Übereinstimmung der oben angegebenen Perioden haben Saros-Zyklen endliche Dauer.

3.9 Himmelsmechanische Voraussetzungen

Trifft nur der Halbschatten des Mondes die Erde, dann spricht man von einer partiellen Finsternis. Zentrale Finsternisse können total oder ringförmig, selten in einer Kombination ringförmig-total sein, je nachdem, ob die Spitze des Kernschattenkegels die Erdoberfläche erreicht oder nicht.

Zufällig ergibt sich, dass der Mond etwa 400-mal geringeren Durchmesser hat als die Sonne, dafür aber etwa 400-mal näher der Erde ist. Beide Himmelskörper erscheinen daher mit einem Winkeldurchmesser von etwa einem halben Bogengrad am Himmel.

Günstige Voraussetzungen für einen möglichst langen Finsternisverlauf sind dann gegeben, wenn nach Light [11]

- der Mond in Erdnähe, also nahe seines Perigäums steht
- die Erde sich in Sonnenferne, also nahe ihres Aphels befindet
- die Finsternis möglichst äquaturnah und mit senkrechtem Schatteneinfall verläuft

Alle Voraussetzungen waren bei der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991 in hohem Maß erfüllt.

4. Die Reise

4.1 Vorbereitung

In Vorbereitung zur Reise zur Totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991 war zuerst der Beobachtungsort festzulegen.

Zwei Hauptregionen standen zur Auswahl: Hawaii und Mexiko.

Hawaii war aus damaliger Sicht infrastrukturell einfacher zu erreichen, jedoch im Juli touristisch überlaufen und bot mit nur knapp über vier Minuten Totalitätsdauer deutlich geringere Beobachtungsmöglichkeiten.

Die mexikanische Ortschaft Tuxpan im Bundesstaat Nayarit hingegen lag am Punkt der größten Verfinsterung. Mit 6 Minuten und 58 Sekunden berechneter Totalitätsdauer war diese Finsternis des Saros-Zyklus 136 außergewöhnlich lang.

Zwei Perioden zuvor, am 20. Juni 1955, hatte der Zyklus mit einer Totalitätsdauer von 7:06 die Mitte erreicht.

Der Mond befand sich am 11. Juli 1991 um 10 Uhr UTC in Erdnähe, die Erde am 6. Juli um 15 Uhr in ihrem Aphel.

Über Tuxpan stand die Sonne zum Zeitpunkt der Finsternis im Zenit.

Wettervorhersagen zufolge war die Bewölkungswahrscheinlichkeit im Bundesstaat Nayarit relativ groß.

Ideale Beobachtungsbedingungen sollten sich aber im Südteil der mexikanischen Halbinsel Niederkalifornien ergeben.

Dr. Dr. Heinz Scsibany, Rudolf Conrad und ich selbst versuchten daher in einem Reisebüro einen Flug nach San José del Cabo zu buchen. Wir bekamen zur Antwort, dass alle Hotels im Bereich des Finsternisgebietes um den 11. Juli 1991 ausgebucht wären. Man schlug uns eine Ausweichlösung im Bundesstaat Durango vor. Ein Blick auf den Finsternisverlauf zeigte uns aber, dass Durango nicht im Bereich der Totalität lag.

Wir entschlossen uns daher, die nächste in der Totalitätszone liegende Großstadt mit entsprechender Hotelinfrastruktur zu wählen: Guadalajara, die Hauptstadt des Bundesstaates Jalisco.

Frau Univ.-Prof. Dr. Maria Firneis erwirkte dankenswerterweise von der Universität Wien den Ankauf eines GPS-Gerätes der Herstellerfirma Magellan, um den erwünschten Beobachtungsplatz möglichst genau zu finden.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

4.2 Anreise

Wir flogen am Freitag, dem 5. Juli 1991, mit einer B727 der Iberia von Wien über Barcelona nach Madrid. Dort übernachteten wir.

Am Samstag, dem 6. Juli 1991, flogen mit einer B747 der Iberia von Madrid nach México D. F. Am gleichen Tag noch reisten wir mit einer MD88 von Aeroméxico weiter zum Flughafen Guadalajara. Mit einem Leihwagen erreichten wir unser Hotel, das Crowne Plaza in der Stadt Zapopan, direkt neben Guadalajara.

4.3 Wettervorhersage

Ursprünglich war geplant, die Finsternis mangels Reisemöglichkeit nach Baja California in der Nähe der Stadt Tuxpan, nahe der Finsternismitte, zu beobachten. Dieser Ort wäre von Guadalajara aus auf dem Landweg relativ problemlos erreichbar gewesen. Tägliche Wetterberatungen am Flughafen von Guadalajara ergaben jedoch, dass die Bewölkungswahrscheinlichkeit für den östlich des Golfs von Kalifornien gelegenen Bereich Mexikos als sehr hoch einzustufen war.

4.4 Reise nach Baja California

Meine nunmehrige Frau, Carmen Beatriz López Avendaño, damals Hotelangestellte beim Gästeservice, schaffte es, uns sowohl einen Flug - wenn auch mit Zwischenlandung und Wartezeit in Mazatlán - nach Baja California zu besorgen, als auch über Privatkontakte ein Hotelzimmer in Cabo San Lucas.

Am Mittwoch, dem 10. Juli 1991, flogen wir somit mit Mexicana nach Mazatlán, Bundesstaat Sinaloa, und nach vierstündiger Wartezeit mit Aerocalifornia zum Flughafen San José del Cabo, Bundesstaat Baja California Sur. In einem Taxi fuhren wir weiter zum Hotel nach Cabo San Lucas.

4.5 Finsternistag Anreise

Am Donnerstag, dem 11. Juli 1991, dem Tag der Finsternis bestiegen wir bereits gegen vier Uhr einen Kleinbus, den wir mit Fahrer am Vorabend gemietet hatten, um möglichst früh zu unserem geplanten Beobachtungsplatz in der Zentrallinie an der Ostküste zu fahren. Nach relativ langer Anreise über teil nicht befestigte Straßen konnten wir den gewünschten Beobachtungsort bei folgenden Koordinaten erreichen:

N 23° 28' 35"
W 109° 27' 28"
Höhe 34 m über Meeresniveau

Laut Berechnung und Genauigkeit des Navigationssystems, angenommen mit einer Bogensekunde, befanden wir uns auf etwa 30 Meter genau in der Zentrallinie.

4.6 Finsternistag Abreise

Der Beobachtungsverlauf wird unter Punkt 5 genauer beschrieben.

Nach Ende der Finsternis führte uns unser Fahrer direkt zu Flughafen San José del Cabo, wo wir unsere gebuchte Maschine der Mexicana direkt nach Guadalajara nahmen.

4.7 Rückreise nach Europa

Am Freitag, dem 12. Juli 1991, verließen wir Guadalajara mit einer MD88 der Aeroméxico in Richtung México D. F., um mit etwa vierstündiger Verspätung um vier Uhr morgens des 13. Juli 1991 mit einer B747 der Iberia zurück nach Madrid zu reisen.

Nach einer weiteren Übernachtung in Madrid flogen wir schließlich am Sonntag, dem 14. Juli 1991, mit einer B727 der Iberia von Madrid über Barcelona zurück nach Wien.

5. Beobachtung und Material

5.1 Verlauf der Totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

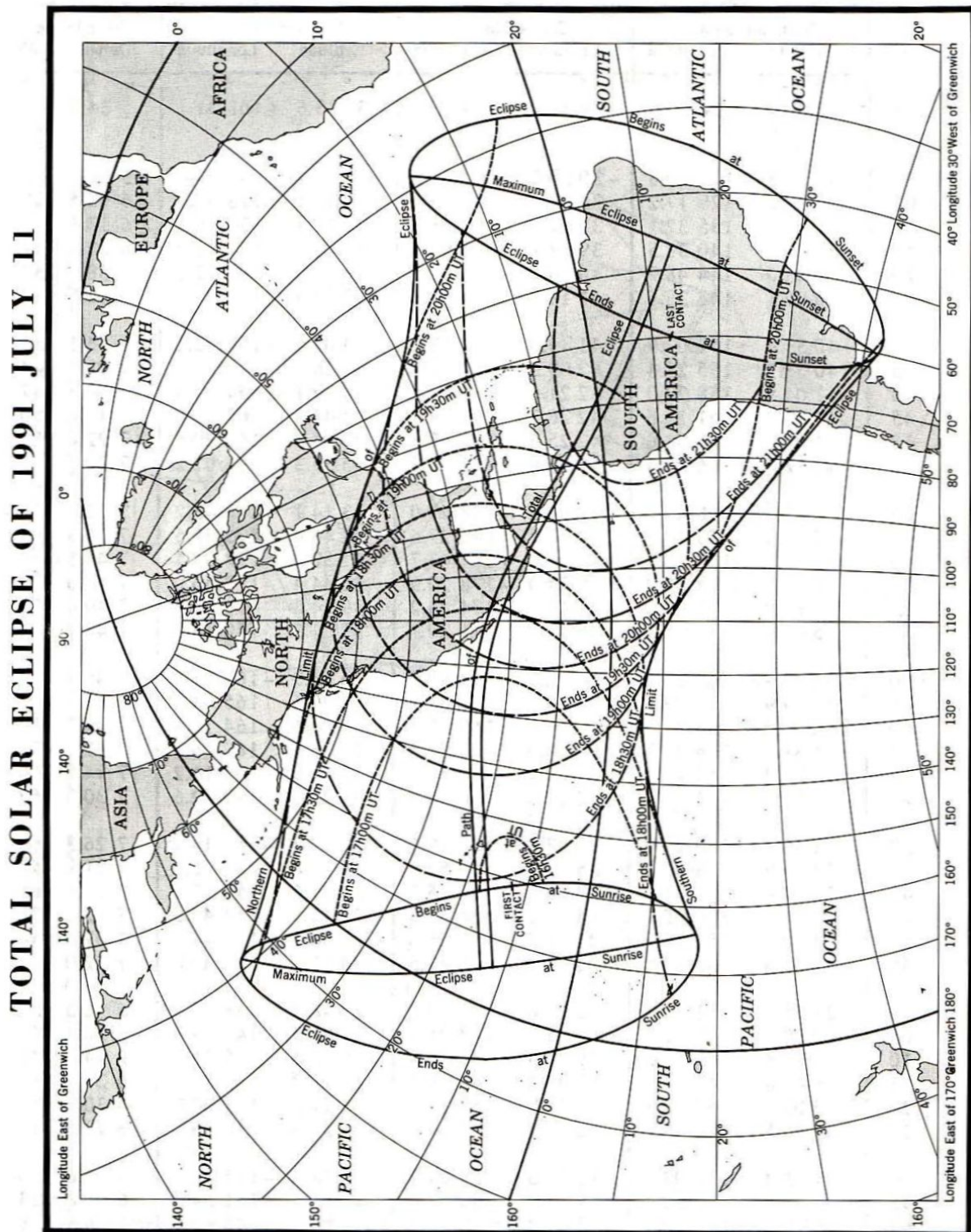


Abbildung 5: Verlauf der Finsternis vom 11. Juli 1991 (Astronomical Almanac [A5])

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

5.2 Beobachtungsort

Die Beobachtung selbst erfolgte wie erwähnt vom Standort

N 23° 28' 35" $\pm$ 1"
W 109° 27' 28" $\pm$ 1"
Höhe 34 m $\pm$ 30" über Meeresniveau

Die Position wurde mit einem GPS-Empfänger Magellan bestimmt. Beim Empfang von mindestens vier Satelliten, was stets der Fall war, lag die Genauigkeit - in dieser Zeit noch künstlich herabgesetzt - bei einer Bogensekunde, also etwa 30 Meter.

Der Ort befand sich knapp nördlich des Wendekreises des Krebses an der Ostküste der Halbinsel Baja California nahe Cabo Pulmo.

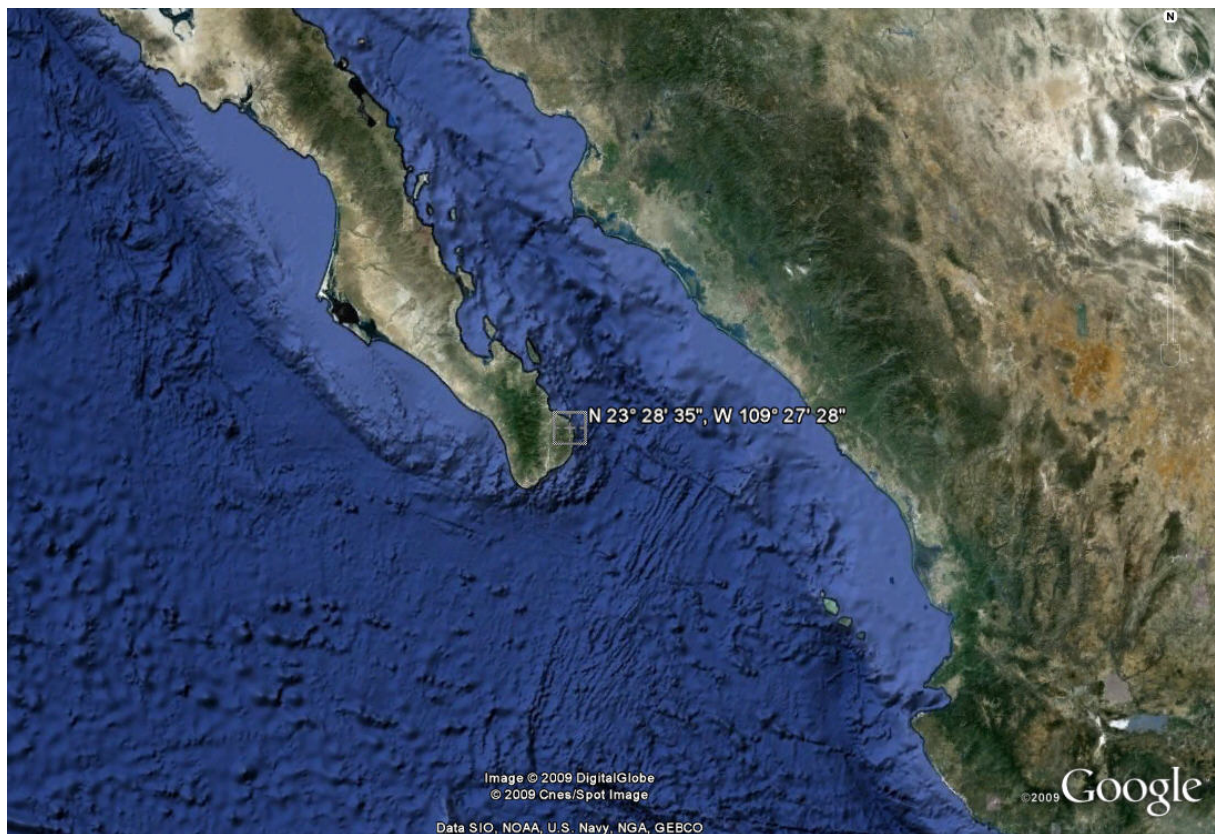


Abbildung 6: Lage des Beobachtungsortes (Google Earth [A6])

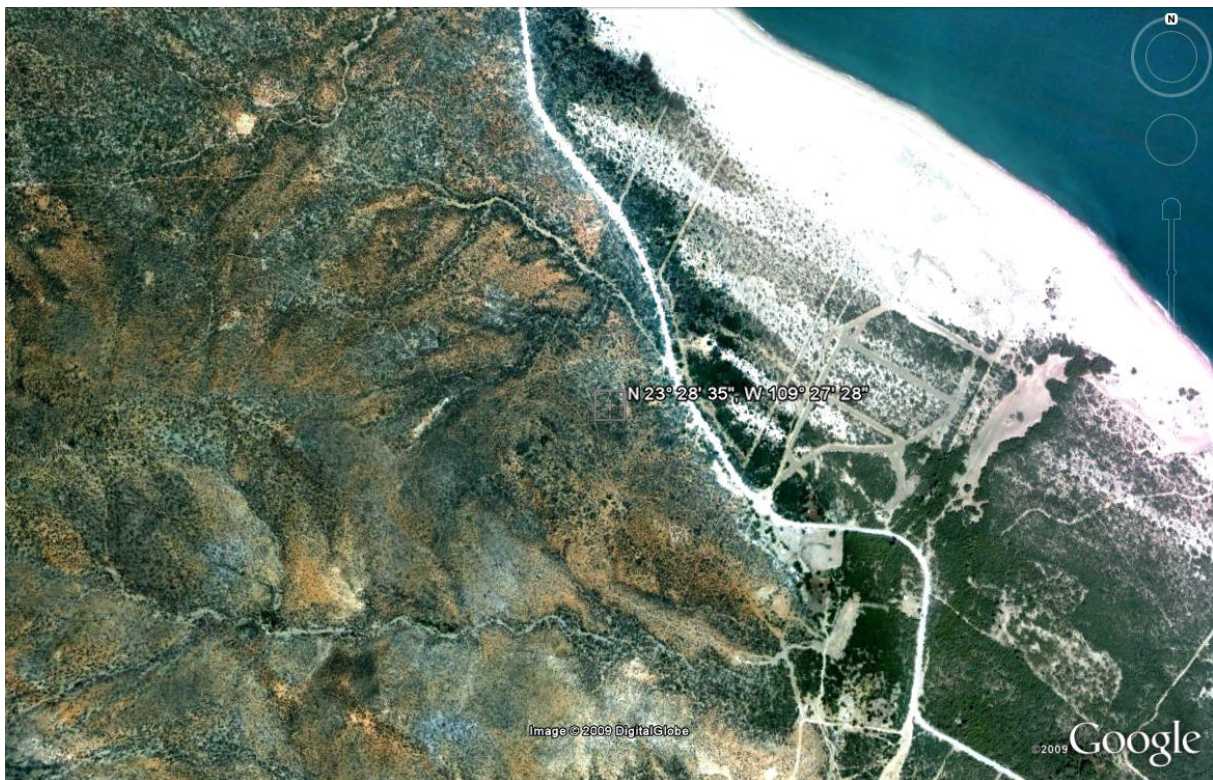


Abbildung 7: Detailansicht Lage des Beobachtungsortes (Google Earth [A7])

5.2 Beobachtungszeit

Die Kontaktzeiten der Finsternis wurden in UTC wie folgt vorhergesagt (CalSky [12]):

1. Kontakt:	17:25:24
2. Kontakt:	18:50:10
Finsternismitte:	18:53:38
3. Kontakt:	18:57:07
4. Kontakt:	20:21:35

Aufnahmen wurden im Minutenrhythmus mit einem Drahtauslöser händisch durchgeführt.

Die erste Aufnahme, noch vor dem 1. Kontakt, entstand um 17:25 Uhr UTC.

Die letzte Aufnahme vor dem 2. Kontakt erfolgte um 18:50 Uhr UTC.

Während der Totalität entstanden keine Aufnahmen für diese Arbeit.

Nach dem 3. Kontakt wurde ab 18:58 Uhr UTC wieder minütlich eine Aufnahme gewonnen.

Letztmalig erfolgte kurz nach dem 4. Kontakt ein Schlussbild um 20:22 UTC.

5.3 Zeitzeichen

Während der gesamten Dauer der Finsternis, einschließlich der partiellen Phasen, lief laut über einen Sony-Weltempfänger die Zeitansage des Zeitzeichensenders WWV aus Fort Collins, Colorado, USA, in englischem Klartext.

Dieser Sender wird vom National Institute of Standards and Technology betrieben und versendet die exakte UTC (NIST [13]).

Der Auslöser wurde - wie erwähnt - bei jeder vollen Minute UTC betätigt.

5.4 Kamera und Objektiv

Auf einem stabilen Stativ war die Spiegelreflexkamera Marke Miranda Laborec mit einem MTO-500 mm Objektiv und einem zusätzlichen 2-fach Konverter von Vivitar montiert.

Die Nachführung erfolgte über einen händischen Aufsatz mit zwei Verstellerschrauben.

Als Sonnenfilter wurde eine Folie Typ „Astrosolar“ eingesetzt.

5.5 Film

Für die Aufnahmen wurde ein Schwarz-Weiß-Film der Firma Kodak, Typ Technical PAN mit 100 ASA verwendet. Er zeichnet sich durch extrem feines Korn aus.

Es wurden fünf Filme zu je 36 Aufnahmen belichtet, wobei der Filmwechsel jeweils innerhalb einer Minute erfolgte, sodass keine Aufnahme der partiellen Phase ausfiel.

5.6 Belichtungszeit

Durch Versuche vor der Finsternis stellte sich eine Belichtungszeit von einer tausendstel Sekunde als ideal dar.

5.7 Wetter

Zu Beginn der Finsternis herrschte fast wolkenloses Wetter.

Offensichtlich mit zunehmender Abkühlung der Atmosphäre bildeten sich gegen Beginn der Totalität einige höhere Zirkuswolken.

Nach dem dritten Kontakt wurde die Bewölkung immer stärker, lockerte dann kurzfristig auf, verdichtete sich aber gegen Ende der Finsternis wieder, sodass gegen Ende der Finsternis keine verwertbaren Aufnahmen gewonnen werden konnten.

6. Auswertung der gewonnenen Daten

6.1 Entwicklung des Film

Rudolf Conrad entwickelte für mich noch 1991 nach mehreren Teststreifen die fünf Filme selbst in hervorragender Qualität.

6.2 Einscannen der Filme

Die im Safe gelagerten Filmstreifen wurden im November 2008 entrollt und chronologisch beschriftet.

Im November 2008 wurde zur Digitalisierung der Bilder ein fabrikneuer Filmscanner der Marke Nikon COOLSCAN V ED erworben.

Danach wurden die Streifen zum Scannen vorbereitet. Da der Filmscanner nur Streifen bis zu maximal sechs Bilder verarbeiten konnte, wurden die Filme in 6-er-Streifen geschnitten.

Zum Einscannen der Schwarz-Weiß-Negative diente die mitgelieferte Scanner-Software Nikon Scan 4. 0. 2.

Die Bilder wurden mit maximaler Auflösung (3999x3999 dpi) als .bmp-Daten eingelesen.

6.3 Umwandlung in Schwarz-Weiß-Bilder

Die Dateinamen wurden nach der Aufnahmezeit durchnummeriert, und die Bilder mit dem Bildbearbeitungsprogramm IrfanView in Schwarz-Weiß umgewandelt, um sie in Mathematica besser verarbeiten zu können. Das Datenformat .bmp wurde beibehalten.

6.4 Auswertung mit Mathematica

Zum Unterschied von H. Haupt und Mg. G. Firneis [14] wurde durch mich eine digitalisierte Auswertung des Bildmaterials angewandt.

Das Auswertungsverfahren im erworbenen symbolischen Computer-Algebra-System Mathematica wurde auf alle verfügbaren Bilder angewandt.

Der Filteralgorithmus zur Kantenerkennung von Irwin Sobel [15] wurde dabei angewendet.

Am folgenden Beispiel wird der Auswertungsvorgang näher erläutert (rote Kommentarboxen):

Load Image

```
In[431]:= Image2 = Import[
  "E:\Astronomie\Studium\Diplomarbeit\Images\Irfan-BMP\SF-1991-07-11-I-048.bmp",
  "Graphics"][[1]];
Image1 =
  Image2;
```

Laden des Bildes

Normalize "cImage"

```
In[433]:= ClearAll[xMax, yMax, iMax, iMin];

cImage = Image1;

xMax = Dimensions[Image1[[1]]][1];
yMax = Dimensions[Image1[[1]]][2];

iMax = Max[Image1[[1]]];
iMin = Min[Image1[[1]]];

For [x = 10, x < xMax, x++
  Module[{},
    For [y = 10, y < yMax, y++
      Module[{},
        cImage[[1, x, y]] = N[Image1[[1, x, y]] / iMax];
      ]
    ]
  ]
]
```

Normalisieren der
Bilddaten

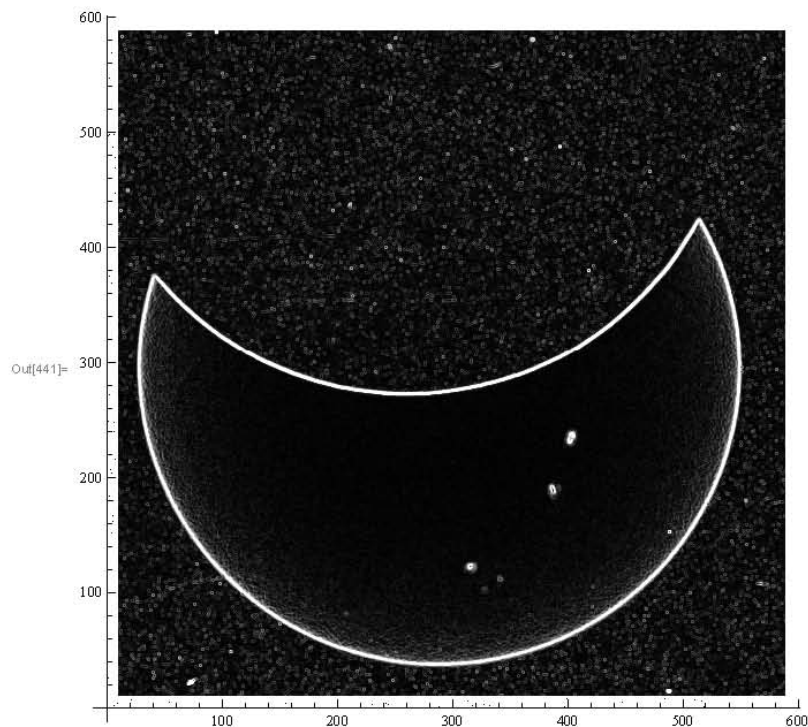
2 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

Apply Sobel Edge Detection Filter to "cImage" and write the result to "Image₁"

```
In[440]:= Image1 =  
  Raster[  
    Sqrt[ListConvolve[  
      {{1, 2, 1},  
       {0, 0, 0},  
       {-1, -2, -1}}, #]^2 +  
    ListConvolve[  
      {{1, 0, -1},  
       {2, 0, -2},  
       {1, 0, -1}}, #]^2  
    ] & [cImage[[1]]];
```

Anwendung des Sobel-
Filteralgorithmus zur
Kantenerkennung

```
Graphics[Image1, Axes → Automatic, ImageSize → Scaled[1]]
```



Prepare Histogram parameters and create result lists

```
In[442]:= xMax = Dimensions[Image1][[1]][[1]];
yMax = Dimensions[Image1][[1]][[2]];

Parts = 10;
ivFrac = (1 - (iMin / iMax)) / Parts;
ivLow = iMin / iMax;
ivHigh = ivLow + ivFrac;

hist = {};
histDataOnly = {};
For [x = 0, x < Parts, x++,
  Module[{},
    AppendTo[hist, {ivLow, ivHigh, 0}];
    AppendTo[histDataOnly, {}];
    ivLow += ivFrac;
    ivHigh += ivFrac;
  ]
]
```

Erstellen eines
Histogramms der
Grauwertverteilung

Create Histogram of "Image₁"

```
In[451]:= For [x = 0, x < xMax, x++,
  Module[{},
    For [y = 0, y < yMax, y++,
      Module[{},
        For [h = 0, h < Dimensions[hist][[1]], h++,
          Module[{},
            If[ (Image1[[1, x, y]] >= hist[[h, 1]]) && (Image1[[1, x, y]] < hist[[h, 2]]),
              Module[{},
                hist[[h, 3]]++;
                histDataOnly[[h]]++;
              ]
            ]
          ]
        ]
      ]
    ]
  ]
]

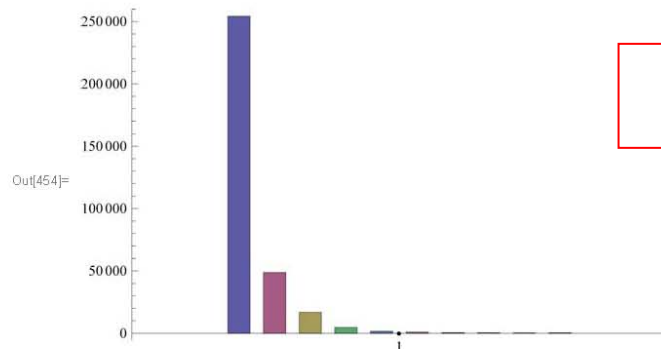
In[452]:= hist
Out[452]:= {{ $\frac{1}{256}, \frac{53}{512}, 254211$ }, { $\frac{53}{512}, \frac{13}{64}, 48840$ }, { $\frac{13}{64}, \frac{155}{512}, 16892$ },
  { $\frac{155}{512}, \frac{103}{256}, 4751$ }, { $\frac{103}{256}, \frac{257}{512}, 1719$ }, { $\frac{257}{512}, \frac{77}{128}, 955$ },
  { $\frac{77}{128}, \frac{359}{512}, 615$ }, { $\frac{359}{512}, \frac{205}{256}, 510$ }, { $\frac{205}{256}, \frac{461}{512}, 412$ }, { $\frac{461}{512}, 1, 447$ }}
```

4 | *Eclipse-Fit-Image-048.nb*

Create a Bar-Chart representation of the Histogram

In[453]= << BarCharts`

In[454]= BarChart[histDataOnly[[1 ;; Parts]]]



Histogramm mit
Grauwertverteilung

Set every Picture element of "cImage" to 0 if its gray-value lies not within a certain range

In[455]= cImage = Image₁;xMax = Dimensions[Image₁][[1]]yMax = Dimensions[Image₁][[2]]

For [x = 0, x < xMax, x++

Module [{},

For [y = 0, y < yMax, y++

Module [{},

If [! ((Image₁[[1, x, y]] ≥ $\frac{359}{512}$) && (Image₁[[1, x, y]] ≤ 1)), cImage[[1, x, y]] = 0];

]

]

]

]

Graphics[cImage, Axes → Automatic, ImageSize → Scaled[1]];

Verwerfen aller
Grauwerte über einer
empirisch ermittelten
Grenze (variabel)

EXECUTE

Sonne

Select regions to remove from the Image

```

In[460]:= Image1 = cImage;

In[461]:= ClearAll[sList];
sList = {};

DynamicModule[{list = {}, raList = {}},
EventHandler[

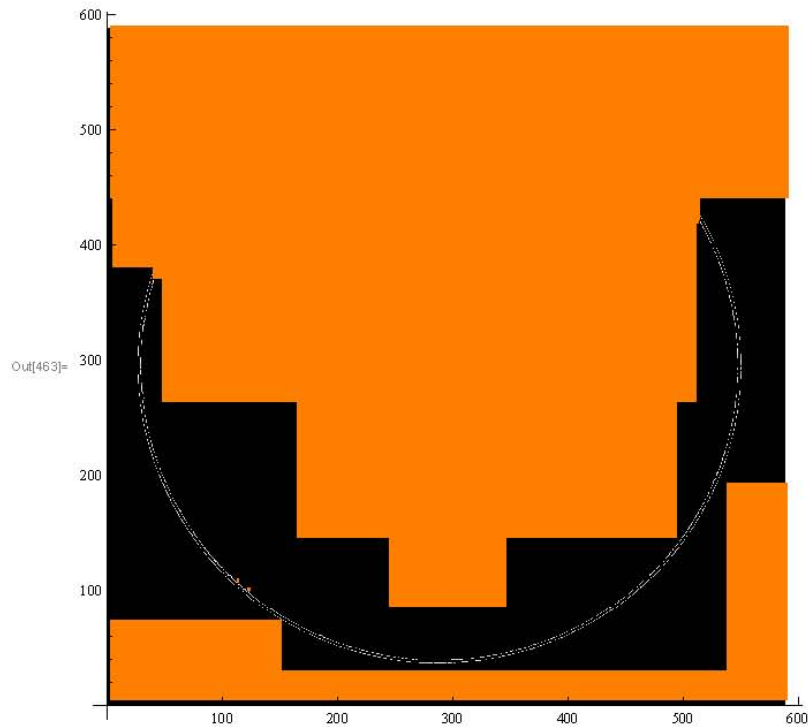
Dynamic[
If[Length[list] == 2,
Graphics[
{{Image1}, raList},
Axes → Automatic, ImageSize → Scaled[1]
],
Graphics[
{{Image1}, raList, {Orange, Point[{list}]}},
Axes → Automatic, ImageSize → Scaled[1]
]
]
],
{"MouseClicked" =>
Module[{},
AppendTo[list, MousePosition["Graphics"]];
If[Length[list] == 2,
Module[{},
AppendTo[sList, list];
AppendTo[raList, {Orange, Rectangle[list[[1]], list[[2]]]};
];
If[Length[list] > 2, list = {MousePosition["Graphics"]}];
],
{"KeyDown", "d"} =>
Module[{},
sList = Drop[sList, -1];
raList = Drop[raList, -1];
]
]
]
]

```

Laden des Bildes mit
den verbleibenden
Grauwerten und
Definition von orangen
Rechtecken zur
Überdeckung von
unerwünschten
Bereichen

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

6 | *Eclipse-Fit-Image-048.nb*



Manuelle Überdeckung
aller vom Algorithmus
dargestellten
unerwünschten Kanten
(Mond, Sonnenflecken,
Bildfehler)

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Eclipse-Fit-Image-048.nb | 7

In[464]:= Dynamic[MatrixForm[sList]]

Out[464]=

$\begin{pmatrix} 591.269 \\ 440.962 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 3.2117 \\ 590.559 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 39.5581 \\ 371.065 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 362.427 \\ 444.23 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 42.3902 \\ 380.978 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 5.09982 \\ 442.342 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 514.893 \\ 422.044 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 355.347 \\ 443.286 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 513.949 \\ 419.212 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 402.078 \\ 423.933 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 511.117 \\ 426.293 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 47.5826 \\ 264.386 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 494.124 \\ 146.378 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 165.118 \\ 272.883 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 345.906 \\ 86.4306 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 245.363 \\ 163.372 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 538.495 \\ 193.11 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 590.89 \\ 8.07348 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 3.2117 \\ 29.7869 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 590.418 \\ 5.24129 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 150.485 \\ 74.1578 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2.73967 \\ 11.3777 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 151.429 \\ 73.2137 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 149.069 \\ 69.4375 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 121.691 \\ 101.536 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 124.052 \\ 99.6474 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 114.139 \\ 107.2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 112.723 \\ 109.56 \end{pmatrix}$

Liste der Koordinaten
aller orangen Rechtecke

EXECUTE

Create "cImage" where the gray-values of the picture elements in the regions selected during the previous step are set to 0

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

8 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

Create a list "sPoints" containing (x/y) coordinates of every picture element from "cImage" with gray-value > 0

```

In[471]:= sPoints = {};

xMax = Dimensions[cImage[[1]][[1]];
yMax = Dimensions[cImage[[1]][[2]];

For [x = 0, x < xMax, x++
Module[{},
  For [y = 0, y < yMax, y++
Module[{},
  If [cImage[[1, x, y]] > 0, AppendTo[sPoints, {y, x}]]];
]
]
]

sPoints

lPlot = ListPlot[sPoints, AspectRatio -> Automatic,
  ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic]

Out[475]= {{272, 37}, {273, 37}, {274, 37}, {275, 37}, {276, 37}, {277, 37}, {278, 37}, {279, 37},
{280, 37}, {281, 37}, {282, 37}, {283, 37}, {285, 37}, {286, 37}, {287, 37}, {288, 37},
{289, 37}, {290, 37}, {291, 37}, {292, 37}, {293, 37}, {294, 37}, {295, 37}, {297, 37},
{298, 37}, {299, 37}, {300, 37}, {302, 37}, {303, 37}, {261, 38}, {262, 38}, {263, 38},
{264, 38}, {309, 38}, {310, 38}, {311, 38}, {312, 38}, {313, 38}, {314, 38}, {253, 39},
{254, 39}, {255, 39}, {321, 39}, {322, 39}, {323, 39}, {324, 39}, {325, 39}, {247, 40},
{248, 40}, {266, 40}, {267, 40}, {269, 40}, {270, 40}, {300, 40}, {301, 40}, {302, 40},
{303, 40}, {304, 40}, {305, 40}, {306, 40}, {307, 40}, {308, 40}, {309, 40}, {330, 40},
{241, 41}, {242, 41}, {243, 41}, {257, 41}, {258, 41}, {260, 41}, {261, 41}, {317, 41},
{318, 41}, {319, 41}, {335, 41}, {336, 41}, {236, 42}, {237, 42}, {238, 42}, {250, 42},
{251, 42}, {254, 42}, {325, 42}, {326, 42}, {327, 42}, {328, 42}, {341, 42}, {342, 42},
{232, 43}, {233, 43}, {234, 43}, {244, 43}, {245, 43}, {246, 43}, {331, 43}, {332, 43},
{333, 43}, {344, 43}, {345, 43}, {346, 43}, {227, 44}, {228, 44}, {229, 44}, {239, 44},
{240, 44}, {336, 44}, {337, 44}, {338, 44}, {339, 44}, {349, 44}, {350, 44}, {351, 44},
{223, 45}, {224, 45}, {225, 45}, {235, 45}, {236, 45}, {237, 45}, {343, 45}, {353, 45},
{354, 45}, {220, 46}, {221, 46}, {231, 46}, {232, 46}, {347, 46}, {348, 46}, {358, 46},
{216, 47}, {217, 47}, {226, 47}, {227, 47}, {351, 47}, {352, 47}, {361, 47}, {362, 47},
{213, 48}, {214, 48}, {222, 48}, {223, 48}, {224, 48}, {353, 48}, {356, 48}, {365, 48},
{210, 49}, {220, 49}, {358, 49}, {359, 49}, {360, 49}, {368, 49}, {369, 49}, {370, 49},
{207, 50}, {217, 50}, {363, 50}, {364, 50}, {371, 50}, {372, 50}, {203, 51}, {204, 51},
{211, 51}, {212, 51}, {213, 51}, {367, 51}, {375, 51}, {200, 52}, {209, 52}, {369, 52},
{377, 52}, {378, 52}, {198, 53}, {206, 53}, {371, 53}, {372, 53}, {373, 53}, {380, 53},
{195, 54}, {202, 54}, {375, 54}, {383, 54}, {193, 55}, {200, 55}, {378, 55}, {385, 55},
{386, 55}, {190, 56}, {197, 56}, {381, 56}, {188, 57}, {195, 57}, {384, 57}, {390, 57},
{185, 58}, {186, 58}, {192, 58}, {193, 58}, {386, 58}, {387, 58}, {393, 58}, {183, 59},
{189, 59}, {190, 59}, {388, 59}, {389, 59}, {395, 59}, {396, 59}, {181, 60}, {188, 60},
{391, 60}, {398, 60}, {179, 61}, {185, 61}, {186, 61}, {187, 61}, {394, 61}, {400, 61},
{177, 62}, {182, 62}, {396, 62}, {402, 62}, {180, 63}, {398, 63}, {404, 63}, {172, 64},
{178, 64}, {400, 64}, {405, 64}, {406, 64}, {176, 65}, {407, 65}, {168, 66}, {174, 66},
{404, 66}, {410, 66}, {167, 67}, {172, 67}, {406, 67}, {412, 67}, {165, 68}, {170, 68},
{408, 68}, {414, 68}, {163, 69}, {410, 69}, {161, 70}, {167, 70}, {413, 70}, {417, 70},
{159, 71}, {165, 71}, {414, 71}, {419, 71}, {163, 72}, {421, 72}, {156, 73}, {161, 73},
{417, 73}, {423, 73}, {154, 74}, {159, 74}, {419, 74}, {424, 74}, {152, 75}, {158, 75},
{421, 75}, {426, 75}, {151, 76}, {156, 76}, {422, 76}, {428, 76}, {149, 77}, {154, 77},
{429, 77}, {147, 78}, {152, 78}, {426, 78}, {431, 78}, {146, 79}, {151, 79}, {427, 79},
{432, 79}, {149, 80}, {429, 80}, {434, 80}, {143, 81}, {148, 81}, {430, 81}, {435, 81},

```

Erstellung einer
Koordinatenliste aller
verbleibenden Punkte

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Eclipse-Fit-Image-048.nb | 9

{146, 82}, {432, 82}, {437, 82}, {140, 83}, {145, 83}, {434, 83}, {438, 83}, {439, 83},
 {143, 84}, {144, 84}, {435, 84}, {440, 84}, {142, 85}, {436, 85}, {136, 86}, {140, 86},
 {437, 86}, {438, 86}, {443, 86}, {444, 87}, {133, 88}, {138, 88}, {136, 89}, {442, 89},
 {447, 89}, {444, 90}, {448, 90}, {133, 91}, {445, 91}, {449, 91}, {128, 92}, {132, 92},
 {445, 92}, {451, 92}, {126, 93}, {131, 93}, {447, 93}, {125, 94}, {130, 94}, {449, 94},
 {453, 94}, {124, 95}, {128, 95}, {450, 95}, {454, 95}, {123, 96}, {127, 96}, {455, 96},
 {122, 97}, {126, 97}, {457, 97}, {125, 98}, {454, 98}, {458, 98}, {124, 99}, {455, 99},
 {459, 99}, {119, 100}, {456, 100}, {460, 100}, {121, 101}, {457, 101}, {461, 101},
 {119, 102}, {120, 102}, {121, 102}, {462, 102}, {115, 103}, {464, 103}, {118, 104},
 {461, 104}, {464, 104}, {465, 104}, {117, 105}, {466, 105}, {111, 106}, {115, 106},
 {116, 106}, {463, 106}, {467, 106}, {110, 107}, {464, 107}, {468, 107}, {109, 108},
 {465, 108}, {469, 108}, {108, 109}, {112, 109}, {466, 109}, {470, 109}, {107, 110},
 {111, 110}, {471, 110}, {106, 111}, {110, 111}, {109, 112}, {473, 112}, {104, 113},
 {109, 113}, {475, 113}, {106, 114}, {107, 114}, {108, 114}, {472, 114}, {476, 114},
 {106, 115}, {472, 115}, {473, 115}, {477, 115}, {102, 116}, {105, 116}, {474, 116},
 {478, 116}, {100, 117}, {104, 117}, {475, 117}, {479, 117}, {99, 118}, {476, 118},
 {480, 118}, {98, 119}, {102, 119}, {481, 119}, {97, 120}, {478, 120}, {96, 121},
 {100, 121}, {101, 121}, {479, 121}, {99, 122}, {480, 122}, {95, 123}, {98, 123},
 {484, 123}, {94, 124}, {97, 124}, {485, 124}, {93, 125}, {97, 125}, {92, 126}, {95, 126},
 {96, 126}, {484, 126}, {487, 126}, {91, 127}, {94, 127}, {95, 127}, {488, 127},
 {90, 128}, {94, 128}, {89, 129}, {93, 129}, {486, 129}, {92, 130}, {487, 130}, {91, 131},
 {488, 131}, {491, 131}, {87, 132}, {90, 132}, {489, 132}, {492, 132}, {86, 133},
 {89, 133}, {489, 133}, {493, 133}, {85, 134}, {89, 134}, {490, 134}, {494, 134},
 {88, 135}, {494, 135}, {87, 136}, {492, 136}, {495, 136}, {86, 137}, {492, 137},
 {496, 137}, {82, 138}, {85, 138}, {86, 138}, {497, 138}, {494, 139}, {84, 140},
 {495, 140}, {80, 141}, {83, 141}, {496, 141}, {499, 141}, {79, 142}, {500, 142},
 {82, 143}, {501, 143}, {78, 144}, {81, 144}, {498, 144}, {77, 145}, {499, 145},
 {502, 145}, {76, 146}, {79, 147}, {500, 147}, {75, 148}, {78, 148}, {501, 148},
 {504, 148}, {75, 149}, {77, 149}, {502, 149}, {74, 150}, {77, 150}, {73, 151}, {76, 151},
 {503, 151}, {72, 152}, {76, 152}, {504, 152}, {507, 152}, {71, 154}, {74, 154},
 {505, 154}, {508, 154}, {70, 155}, {506, 155}, {509, 155}, {506, 156}, {510, 156},
 {69, 157}, {72, 157}, {507, 157}, {508, 158}, {511, 158}, {68, 159}, {508, 159},
 {67, 160}, {70, 160}, {509, 160}, {512, 160}, {66, 161}, {66, 162}, {69, 162}, {510, 162},
 {513, 162}, {65, 163}, {68, 163}, {514, 163}, {68, 164}, {511, 164}, {64, 165}, {67, 165},
 {512, 165}, {515, 165}, {63, 166}, {512, 166}, {63, 167}, {66, 167}, {513, 167},
 {62, 168}, {514, 168}, {517, 168}, {62, 169}, {65, 169}, {514, 169}, {61, 170}, {64, 170},
 {65, 170}, {518, 170}, {64, 171}, {515, 171}, {518, 171}, {60, 172}, {63, 172},
 {516, 172}, {519, 172}, {59, 174}, {62, 174}, {517, 174}, {520, 174}, {58, 175},
 {61, 176}, {518, 176}, {57, 177}, {60, 177}, {519, 177}, {522, 178}, {56, 179}, {59, 179},
 {523, 179}, {56, 180}, {520, 180}, {58, 181}, {524, 181}, {55, 182}, {524, 182},
 {54, 183}, {522, 183}, {54, 184}, {53, 185}, {56, 185}, {523, 185}, {526, 185}, {53, 186},
 {523, 186}, {52, 187}, {527, 187}, {52, 188}, {55, 188}, {527, 188}, {51, 190}, {54, 190},
 {525, 190}, {528, 190}, {51, 191}, {50, 192}, {53, 192}, {526, 192}, {529, 192},
 {50, 193}, {49, 194}, {527, 194}, {530, 194}, {52, 195}, {527, 195}, {48, 196}, {51, 196},
 {527, 196}, {531, 196}, {48, 197}, {51, 197}, {528, 197}, {529, 198}, {47, 199},
 {50, 199}, {532, 199}, {47, 200}, {46, 201}, {49, 201}, {530, 201}, {533, 201},
 {530, 202}, {48, 203}, {530, 203}, {531, 203}, {45, 204}, {531, 204}, {534, 204},
 {47, 206}, {532, 206}, {44, 207}, {47, 207}, {535, 207}, {533, 208}, {43, 209},
 {533, 209}, {536, 209}, {534, 211}, {42, 212}, {45, 212}, {534, 212}, {537, 212},
 {537, 213}, {44, 214}, {535, 214}, {41, 215}, {535, 215}, {538, 215}, {41, 216},
 {535, 216}, {43, 217}, {44, 217}, {40, 218}, {536, 218}, {539, 218}, {40, 219},
 {536, 219}, {537, 220}, {39, 221}, {42, 221}, {537, 221}, {540, 221}, {39, 222},
 {537, 222}, {41, 223}, {38, 224}, {41, 224}, {38, 225}, {538, 225}, {541, 225},
 {40, 226}, {40, 227}, {539, 227}, {37, 228}, {40, 228}, {539, 228}, {37, 229},
 {542, 229}, {39, 230}, {36, 231}, {39, 231}, {36, 232}, {540, 232}, {543, 233},
 {38, 234}, {35, 236}, {541, 236}, {544, 236}, {35, 237}, {541, 237}, {544, 237},
 {37, 238}, {34, 239}, {34, 240}, {542, 240}, {545, 240}, {545, 241}, {36, 242},
 {36, 243}, {33, 244}, {543, 244}, {546, 244}, {33, 245}, {543, 245}, {546, 245},
 {543, 246}, {546, 246}, {35, 247}, {32, 248}, {35, 248}, {544, 248}, {32, 249},
 {35, 249}, {544, 249}, {32, 250}, {544, 250}, {547, 251}, {34, 252}, {547, 252},
 {34, 253}, {31, 255}, {545, 255}, {548, 255}, {31, 256}, {545, 256}, {548, 256},

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

10 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

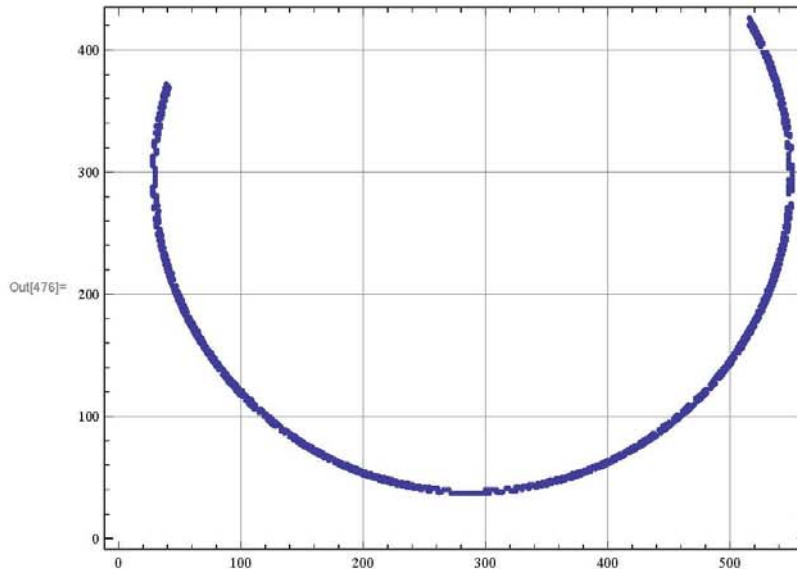
```

{31, 257}, {548, 257}, {31, 258}, {33, 259}, {33, 260}, {546, 260}, {30, 261}, {33, 261},
{546, 261}, {30, 262}, {546, 262}, {549, 262}, {546, 263}, {549, 263}, {32, 264},
{546, 264}, {32, 265}, {546, 265}, {32, 266}, {549, 267}, {33, 268}, {547, 269},
{29, 270}, {547, 270}, {29, 271}, {547, 271}, {550, 271}, {29, 272}, {32, 272},
{550, 272}, {32, 273}, {550, 273}, {31, 274}, {550, 274}, {31, 275}, {31, 276},
{31, 277}, {31, 278}, {31, 279}, {31, 280}, {28, 281}, {31, 281}, {28, 282}, {548, 282},
{28, 283}, {548, 283}, {28, 284}, {548, 284}, {28, 285}, {548, 285}, {551, 285},
{28, 286}, {548, 286}, {551, 286}, {28, 287}, {551, 287}, {28, 288}, {551, 288},
{30, 289}, {548, 289}, {551, 289}, {30, 290}, {551, 290}, {30, 291}, {551, 291},
{30, 292}, {548, 293}, {551, 293}, {30, 294}, {548, 294}, {551, 294}, {30, 295},
{551, 295}, {30, 296}, {30, 297}, {551, 297}, {30, 298}, {551, 298}, {30, 299},
{551, 299}, {30, 300}, {551, 300}, {30, 301}, {551, 301}, {30, 302}, {551, 302},
{30, 303}, {548, 303}, {551, 303}, {548, 304}, {551, 304}, {28, 305}, {548, 305},
{551, 305}, {28, 306}, {548, 306}, {551, 306}, {28, 307}, {548, 307}, {28, 308},
{548, 308}, {28, 309}, {548, 309}, {28, 310}, {548, 310}, {28, 311}, {548, 311},
{28, 312}, {28, 313}, {548, 314}, {31, 315}, {548, 315}, {31, 316}, {31, 317}, {31, 318},
{550, 319}, {547, 320}, {550, 320}, {29, 321}, {547, 321}, {550, 321}, {29, 322},
{547, 322}, {29, 323}, {547, 323}, {29, 324}, {547, 324}, {29, 325}, {32, 326},
{32, 327}, {32, 328}, {32, 329}, {549, 329}, {32, 330}, {549, 330}, {32, 331}, {33, 331},
{546, 331}, {549, 331}, {30, 332}, {33, 332}, {546, 332}, {546, 333}, {33, 334},
{33, 335}, {34, 336}, {545, 336}, {548, 336}, {31, 337}, {34, 337}, {545, 337},
{548, 337}, {31, 338}, {545, 338}, {34, 339}, {545, 339}, {544, 340}, {544, 341},
{547, 341}, {544, 342}, {547, 342}, {32, 343}, {544, 343}, {32, 344}, {35, 344},
{544, 344}, {546, 346}, {33, 347}, {36, 347}, {546, 347}, {33, 348}, {36, 348},
{543, 348}, {36, 349}, {543, 349}, {36, 350}, {545, 351}, {34, 352}, {542, 352},
{34, 353}, {37, 353}, {542, 353}, {37, 354}, {541, 355}, {35, 356}, {541, 356},
{544, 356}, {35, 357}, {541, 357}, {38, 358}, {38, 359}, {543, 360}, {36, 361},
{540, 361}, {36, 362}, {39, 362}, {539, 363}, {40, 364}, {539, 364}, {542, 364},
{37, 365}, {40, 365}, {40, 367}, {538, 367}, {541, 367}, {38, 368}, {41, 368},
{538, 368}, {38, 369}, {41, 369}, {538, 369}, {41, 370}, {537, 371}, {540, 371},
{39, 372}, {539, 374}, {536, 375}, {535, 377}, {538, 377}, {535, 378}, {534, 380},
{537, 380}, {534, 381}, {533, 383}, {536, 383}, {533, 384}, {532, 385}, {532, 386},
{535, 386}, {531, 389}, {534, 389}, {530, 391}, {533, 391}, {529, 394}, {532, 394},
{528, 395}, {531, 396}, {527, 398}, {530, 398}, {525, 403}, {524, 404}, {527, 405},
{523, 406}, {523, 407}, {526, 407}, {522, 409}, {525, 409}, {521, 411}, {524, 411},
{520, 413}, {523, 413}, {519, 415}, {522, 415}, {518, 416}, {518, 417}, {521, 417},
{517, 419}, {520, 419}, {516, 420}, {516, 421}, {519, 421}, {517, 424}, {516, 426}

```

Darstellung der Punkte
im Koordinatensystem

Eclipse-Fit-Image-048.nb | 11



Create a circle fit to "sPoints"

```

In[477]:= hypersphereFit[data_List] :=
Module[{rhs, qq, rr, x, y, r},
  {qq, rr} = QRDecomposition[Append[#, 1] & /@ data];
  rhs = #.# & /@ data;
  {x, y, r} = {1/2, 1/2, 1} LinearSolve[rr, qq.rhs];
  {{x, y}, Sqrt[r + x^2 + y^2]}
]

In[478]:= {center, r} = hypersphereFit@sPoints

Out[478]:= {{
  {
     $\frac{34\,848\,823\,575\,871\,326\,369}{120\,455\,189\,233\,855\,111}$ ,
     $\frac{71\,702\,506\,717\,699\,260\,153}{240\,910\,378\,467\,710\,222}$ 
  },
   $\frac{\sqrt{3\,923\,746\,914\,113\,099\,700\,445\,958\,507\,713\,784\,103\,437}}{240\,910\,378\,467\,710\,222}$ 
}}

In[479]:= N[%]

Out[479]:= {{289.309, 297.631}, 260.013}

In[480]:= mSonne = N[center];

In[481]:= rSonne = N[r];

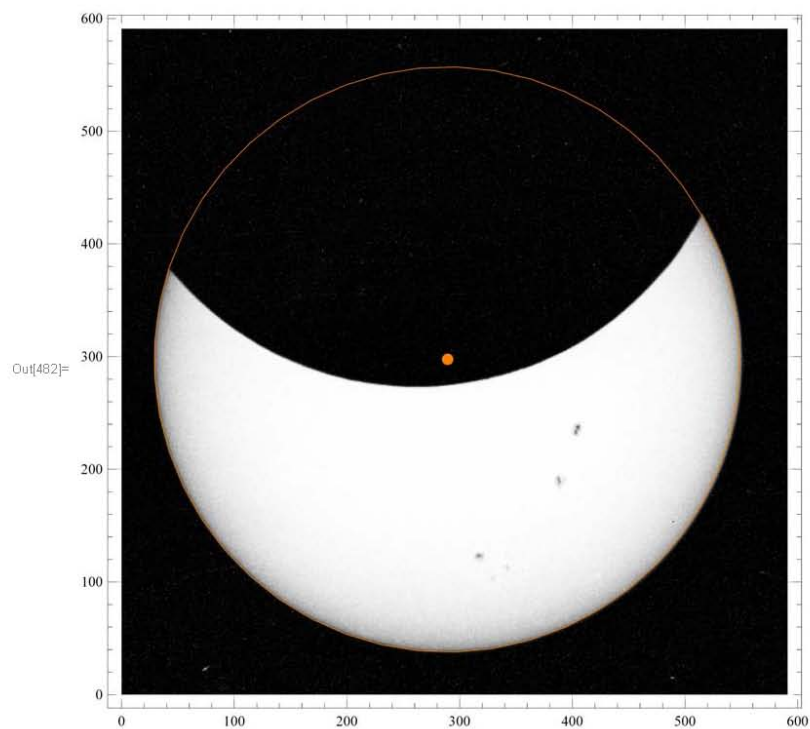
```

Erstellung eines Kreisfits
durch die Punkte

12 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

Plot "sPoints" and the result of the circle fit

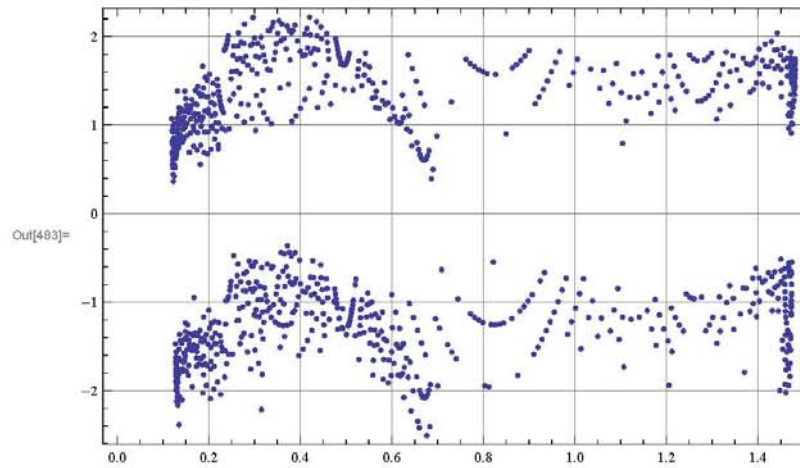
```
In[482]= Show[Graphics[{Image_2}], Graphics[{PointSize[Large], Orange, Point[center]}],  
Graphics[{Orange, Circle[center, r]}], {AspectRatio -> Automatic, Axes -> True,  
GridLines -> Automatic, ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic}  
]
```



Darstellung des
Sonnenrand-Kreisfits
und des
Sonnenmittelpunkts
über dem
ursprünglichen Bild

Plot the residuals of the circle fit

```
In[483]:= ListPlot[sPoints /. {x_, y_} -> {ArcTan[x, y], Norm[{x, y] - center} - r}, {Axes -> True,
GridLines -> Automatic, ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic}]
```



In[484]=

Diagramm mit
Abweichungen der
Punkte zum Kreisfit

14 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

EXECUTE

Mond

Select regions to remove from the Image

```

In[485]:= ClearAll[mList];
mList = {};

DynamicModule[{list = {}, raList = {}},
  EventHandler[

    Dynamic[
      If[Length[list] == 2,
        Graphics[
          {{Image1, raList},
           Axes → Automatic, ImageSize → Scaled[1]}
        ],
        Graphics[
          {{Image1, raList, {Blue, Point[{list}]}},
           Axes → Automatic, ImageSize → Scaled[1]}
        ]
      ]
    ],
    {"MouseClicked" =>
      Module[{},
        AppendTo[list, MousePosition["Graphics"]];
        If[Length[list] == 2,
          Module[{},
            AppendTo[mList, list];
            AppendTo[raList, {Blue, Rectangle[list[[1]], list[[2]]]}];
          ];
        ];
        If[Length[list] > 2, list = {MousePosition["Graphics"]}];
      ],
    {"KeyDown", "d"} =>
      Module[{},
        mList = Drop[mList, -1];
        raList = Drop[raList, -1];
      ]
    ]
  ]
]

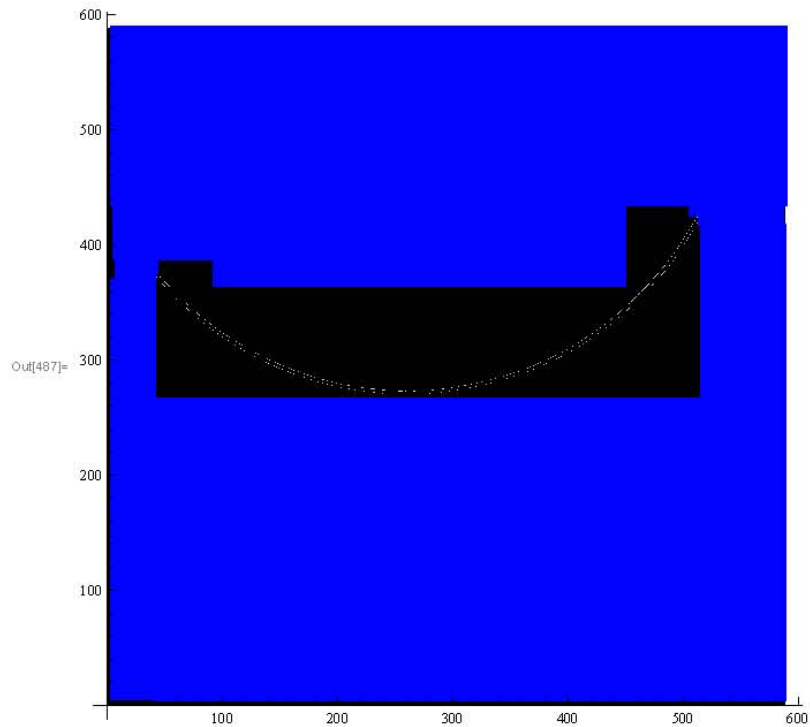
```

Laden des Bildes mit
den verminderten
Grauwerten und
Definition von blauen
Rechtecken zur
Überdeckung von
unerwünschten
Bereichen

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Manuelle Überdeckung aller
vom Algorithmus dargestellten
unerwünschten Kanten
(Sonne, Bildfehler)

Eclipse-Fit-Image-048.nb | 15



In[488]= Dynamic[MatrixForm[mList]]

Out[488]=

(590.798)	(3.21888)
(433.884)	(590.561)
(450.628)	(91.9455)
(364.025)	(437.177)
(93.8333)	(5.10668)
(387.15)	(435.761)
(42.3908)	(6.99448)
(368.744)	(391.398)
(43.8066)	(36.2554)
(374.88)	(390.454)
(41.9188)	(3.21888)
(370.632)	(4.87071)
(513.869)	(587.493)
(417.355)	(437.177)
(514.341)	(505.374)
(424.906)	(435.289)
(515.285)	(589.853)
(418.771)	(7.23046)
(40.031)	(589.853)
(266.803)	(4.39876)

Liste der Koordinaten
aller blauen Rechtecke

EXECUTE

16 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

Create "cImage" were the gray-values of the picture elements in the regions selected during the previous step are set to 0

```
In[489]:= ClearAll[xMax, yMax, cImage, cl];

xMax = Dimensions[Image1][[1]];
yMax = Dimensions[Image1][[2]];

cImage = Image1;

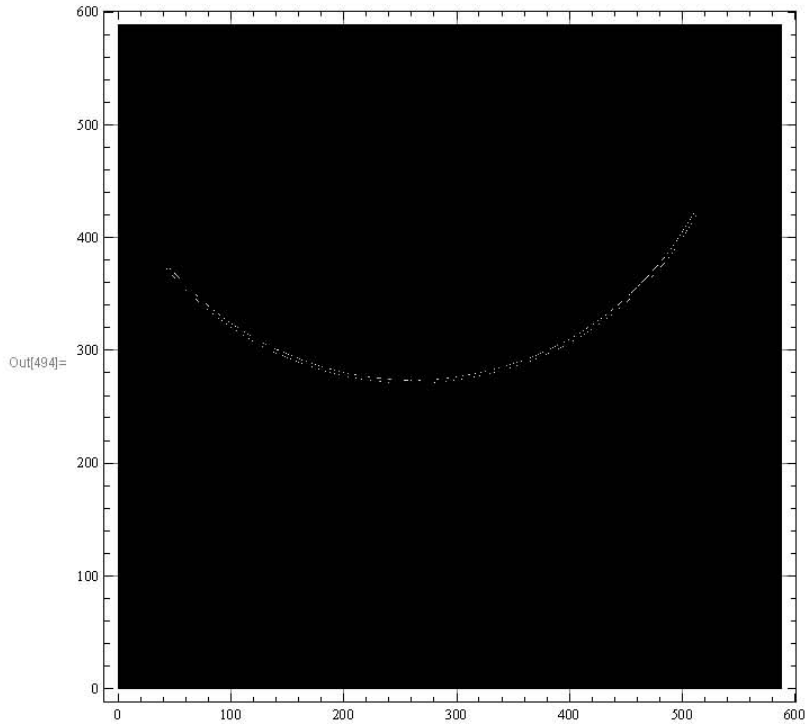
For[cl = 0, {cl < Dimensions[mList][[1]], cl++,
  Module[{x, xl, xh, y, yl, yh, CropXY = Round[Reverse[Transpose[mList[[cl]]]]]},

    xh = Max[CropXY[[1, 1]], CropXY[[1, 2]];
    xl = Min[CropXY[[1, 1]], CropXY[[1, 2]];
    yh = Max[CropXY[[2, 1]], CropXY[[2, 2]];
    yl = Min[CropXY[[2, 1]], CropXY[[2, 2]];

    For[x = xl - 1, {x < xMax} && {x < xh}, x++,
      Module[{},
        For[y = yl - 1, {y < yMax} && {y < yh}, y++,
          Module[{},
            cImage[[1, x, y]] = 0;
          ]
        ]
      ]
    ]
  ]

Graphics[{cImage}, Axes -> Automatic,
  ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic]
```

Darstellung aller
verbleibenden Punkte
des Mondrandes



Create a list "mPoints" containing (x/y) coordinates of every picture element from "cImage" with gray-value > 0

```
In[495] = mPoints = {};

xMax = Dimensions[cImage][[1]];
yMax = Dimensions[cImage][[2]];

For[x = 0, x < xMax, x++,
  Module[{},
    For[y = 0, y < yMax, y++,
      Module[{},
        If[cImage[[x, y]] > 0, AppendTo[mPoints, {y, x}]];
      ]
    ]
  ]

mPoints

lPlot = ListPlot[mPoints, AspectRatio -> Automatic,
  ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic]
```

Erstellen einer
Koordinatenliste aller
verbleibenden Punkte

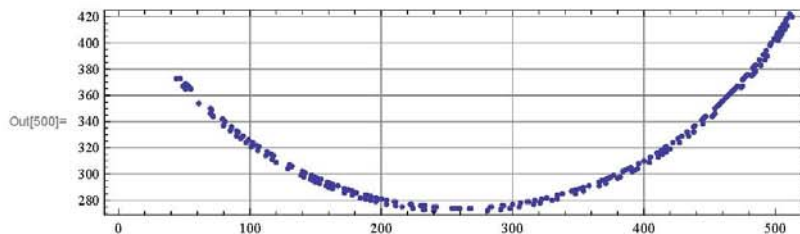
Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

18 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

```

Out[499]= {{240, 272}, {281, 272}, {232, 273}, {233, 273}, {291, 273}, {224, 274}, {254, 274},
{255, 274}, {256, 274}, {257, 274}, {260, 274}, {267, 274}, {268, 274}, {298, 274},
{216, 275}, {240, 275}, {241, 275}, {242, 275}, {283, 275}, {284, 275}, {305, 275},
{211, 276}, {230, 276}, {231, 276}, {232, 276}, {233, 276}, {292, 276}, {293, 276},
{204, 277}, {222, 277}, {223, 277}, {300, 277}, {316, 277}, {306, 278}, {321, 278},
{196, 279}, {210, 279}, {211, 279}, {311, 279}, {312, 279}, {192, 280}, {204, 280},
{317, 280}, {330, 280}, {188, 281}, {200, 281}, {322, 281}, {334, 281}, {184, 282},
{196, 282}, {326, 282}, {192, 283}, {178, 284}, {188, 284}, {189, 284}, {334, 284},
{338, 285}, {348, 285}, {172, 286}, {181, 286}, {178, 287}, {345, 287}, {354, 287},
{175, 288}, {348, 288}, {163, 289}, {172, 289}, {351, 289}, {160, 290}, {354, 290},
{158, 291}, {167, 291}, {358, 291}, {366, 291}, {163, 292}, {153, 293}, {161, 293},
{371, 293}, {150, 294}, {159, 294}, {366, 294}, {148, 295}, {368, 295}, {146, 296},
{154, 296}, {371, 296}, {151, 297}, {373, 297}, {380, 297}, {141, 298}, {149, 298},
{375, 298}, {382, 298}, {139, 299}, {147, 299}, {377, 299}, {142, 301}, {140, 302},
{384, 302}, {391, 302}, {386, 303}, {393, 303}, {129, 304}, {388, 304}, {395, 304},
{390, 305}, {132, 306}, {130, 307}, {396, 308}, {120, 309}, {404, 309}, {400, 310},
{117, 311}, {405, 313}, {411, 313}, {112, 314}, {118, 314}, {116, 315}, {414, 315},
{410, 316}, {113, 317}, {417, 317}, {106, 318}, {413, 318}, {420, 319}, {416, 320},
{101, 321}, {107, 321}, {417, 321}, {105, 322}, {97, 324}, {102, 324}, {422, 324},
{427, 324}, {99, 326}, {93, 327}, {426, 327}, {90, 329}, {95, 329}, {429, 329}, {434, 329},
{91, 332}, {433, 332}, {438, 332}, {85, 333}, {90, 333}, {86, 336}, {438, 336}, {80, 337},
{439, 337}, {445, 338}, {81, 340}, {80, 341}, {444, 341}, {79, 342}, {445, 342},
{446, 343}, {72, 344}, {447, 344}, {452, 344}, {71, 345}, {453, 345}, {70, 346},
{454, 346}, {71, 349}, {70, 350}, {454, 350}, {456, 352}, {457, 353}, {61, 354},
{458, 354}, {459, 355}, {460, 356}, {462, 358}, {463, 359}, {465, 361}, {466, 362},
{467, 363}, {468, 364}, {51, 365}, {55, 365}, {469, 365}, {50, 366}, {54, 366}, {470, 366},
{474, 366}, {49, 367}, {53, 367}, {471, 367}, {475, 367}, {52, 368}, {51, 369}, {475, 372},
{44, 373}, {47, 373}, {476, 373}, {477, 374}, {478, 375}, {482, 375}, {479, 376},
{483, 376}, {484, 377}, {485, 378}, {483, 381}, {484, 382}, {485, 383}, {489, 383},
{488, 387}, {492, 387}, {494, 390}, {491, 391}, {493, 394}, {496, 398}, {497, 400},
{502, 402}, {499, 403}, {504, 405}, {501, 406}, {505, 407}, {502, 408}, {507, 410},
{504, 411}, {509, 413}, {506, 414}, {508, 417}, {509, 419}, {513, 420}, {511, 422}}

```



Darstellung
der Punkte im
Koordinaten-
System

Create a circle fit to "mPoints"

```

In[501]= hypersphereFit[data_List] :=
Module[{rhs, qq, rr, x, y, r},
{qq, rr} = QRDecomposition[Append[#, 1] & /@ data];
rhs = #.# & /@ data;
{x, y, r} = {1/2, 1/2, 1} LinearSolve[rr, qq.rhs];
{{x, y}, Sqrt[r + x^2 + y^2]}
]

```

```

In[502]= {center, r} = hypersphereFit@mPoints

```

Erstellung eines Kreisfits
durch die Punkte

```

Out[502]= {{638.067646257005, 69.241564532400955},
Sqrt[622.096274968340563573982330839733/2]}

```

```

In[503]:= N[%]
Out[503]:= {{261.773, 556.999}, 283.747}

In[504]:= mMond = N[center];
In[505]:= xMond = N[r];

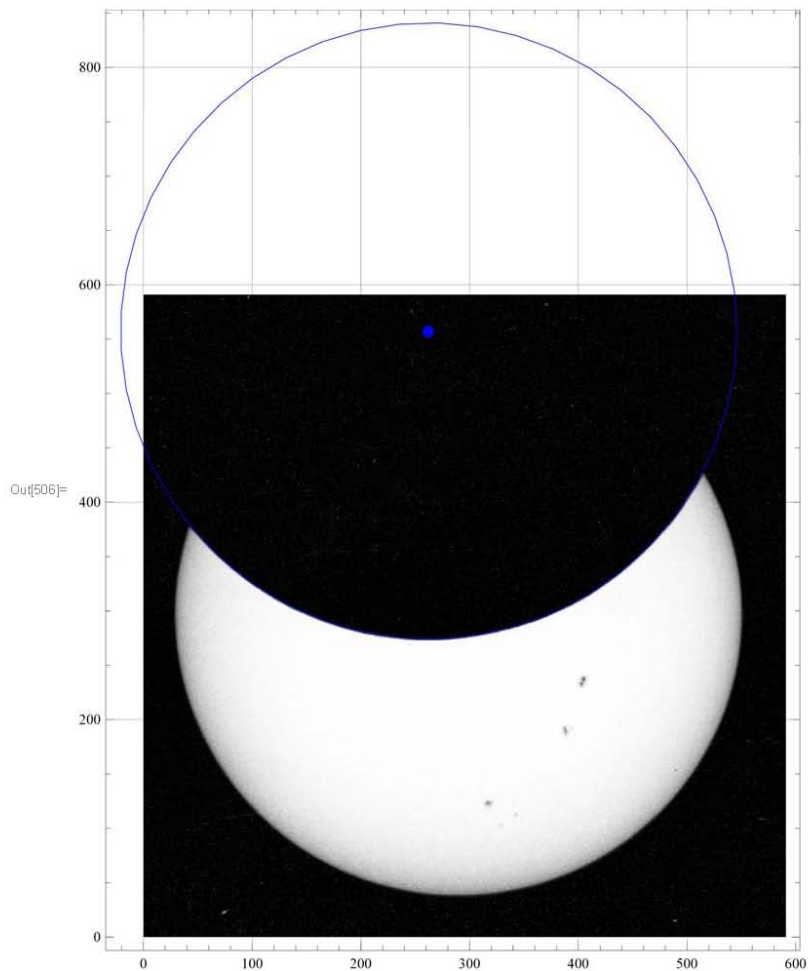
```

Plot "mPoints" and the result of the circle fit

```

In[506]:= Show[Graphics[{Image_2}], Graphics[{PointSize[Large], Blue, Point[center]}],
Graphics[{Blue, Circle[center, r]}], {AspectRatio -> Automatic, Axes -> True,
GridLines -> Automatic, ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic}
1

```



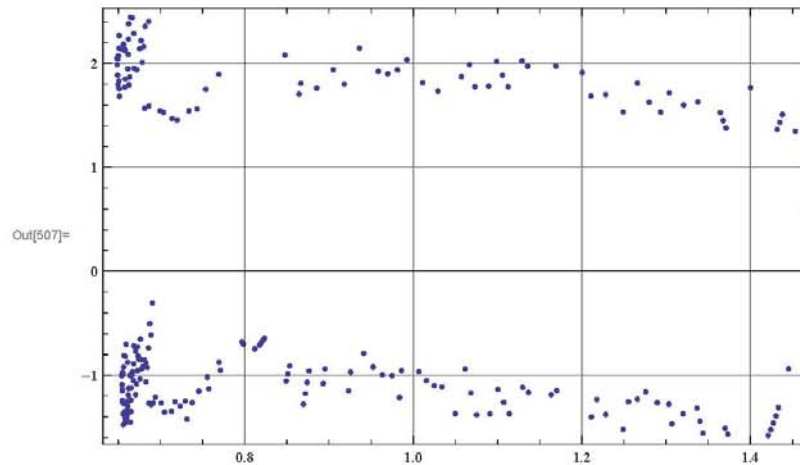
Darstellung des Mondrand-Kreisfits und
des Mondmittelpunkts über dem
ursprünglichen Bild

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

20 | Eclipse-Fit-Image-048.nb

Plot the residuals of the circle fit

```
In[507]:= ListPlot[mPoints /. {x_, y_} :> {ArcTan[x, y], Norm[{x, y] - center} - r}, {Axes -> True,
GridLines -> Automatic, ImageSize -> Scaled[1], Frame -> True, GridLines -> Automatic}]
```



Results

```
In[508]:= mSonne
```

```
Out[508]:= {289.309, 297.631}
```

```
In[509]:= rSonne
```

```
Out[509]:= 260.013
```

```
In[510]:= mMond
```

```
Out[510]:= {261.773, 556.999}
```

```
In[511]:= rMond
```

```
Out[511]:= 283.747
```

Ausgabe der
Ergebnisse in Form von
Koordinaten der
Mittelpunkte von Sonne
bzw. Mond sowie deren
Radien

EXECUTE

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

6.5 Erfassen der Ergebnisse als Text und in Excel

Von 169 während der Finsternis gewonnen Aufnahmen konnten 121 ausgewertet werden.

Anschließend ist die Textdatei mit den Daten Zeit und Koordinaten als Tabelle 1 dargestellt.

Als Zeit wird der 11. Juli 1991 17:25 UTC angeführt plus den darunter verzeichneten zu addierenden Minuten. Danach sind die x- und y- Koordinaten der jeweiligen Sonnenmittelpunkte gefolgt von den entsprechenden Koordinaten der Mondmittelpunkte verzeichnet.

Tabelle 1

17:25 UTC +	x-Sonne	y-Sonne	x-Mond	y-Mond
006	290204	301391	260046	286465
007	291425	300362	259470	285810
009	292107	295385	259536	283313
010	293384	297534	259871	285261
011	293345	304304	259158	282263
013	289245	302307	259715	280417
014	296316	307824	259481	285772
015	292034	302652	259264	281026
016	291529	299333	259908	278467
017	299891	299691	259440	287120
018	290979	301570	259258	275185
019	291188	298576	259412	274051
020	289731	297147	259550	272932
021	293163	299417	259630	274600
023	290472	298616	259639	271857
024	293876	299609	259692	273799
025	290912	293201	259248	269438
026	291828	301735	259727	270730
028	300325	425015	260678	276380
029	292821	296661	259185	269324
030	290018	296991	259519	266767
031	293283	300378	259302	270897
032	295000	330929	259707	273679
033	294231	303881	259642	272082
034	290024	297263	259601	265091
035	293080	297186	259747	267225
036	291309	298017	258873	266666
037	289204	296475	259779	263803
038	291530	298260	259717	266846
039	294724	293891	259354	269063
040	289414	299632	259839	262998
041	293327	297000	259617	267222
042	294211	297199	259881	268427
043	293542	296204	259337	266863
044	292337	298496	259459	265576

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

045	303571	285920	260512	275530
046	289824	293754	259862	262310
047	289309	297631	260013	261773
048	291643	303692	259535	263583
049	289922	295781	259391	261984
050	295195	302226	258650	268598
051	292372	294983	259000	265271
052	293251	296958	259849	266965
053	292092	299707	259400	265366
054	291493	295930	260145	264850
055	296032	298861	258969	270423
056	293125	293528	259261	267997
057	295158	303636	258584	270039
058	294757	296476	259159	270010
059	292436	306399	258383	268236
060	288645	296952	259134	264157
061	304391	292180	258541	280375
062	301416	307274	258467	278075
064	289863	306297	259285	268070
065	287053	299344	258700	266037
066	293817	298447	259832	274075
067	291715	292719	259083	270460
068	289920	295802	259347	269315
069	289469	300912	259415	269364
070	289609	302344	259249	269668
071	297578	296406	258758	278590
072	301138	306324	259145	282819
073	293609	323634	259273	298638
074	278623	295218	259299	193836
075	265295	322674	258780	205264
076	286772	300766	259277	254748
077	285437	304002	259726	288135
078	297973	300450	259769	302420
079	293794	385561	259182	297506
080	304008	319023	259685	307440
081	310341	319059	259655	313191
082	293484	319218	261488	295391
083	302121	325839	258630	303713
106	220156	294094	257697	151504
109	261661	290489	258494	176008
111	278648	283541	258837	185249
113	280470	292222	257739	180094
114	280128	290958	258143	175277
115	297642	303289	258369	189935
116	291075	281430	258007	180494
117	288101	296456	258152	173776
118	292467	301174	258323	174652
119	284126	291883	258080	162857
120	272614	290849	257836	148614
121	293483	321347	257513	164116
122	290421	310055	258592	158366
123	287800	285757	258017	152772
124	293903	285915	257715	157516

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

125	282244	297569	257857	141154
126	286150	289652	257871	142029
127	288175	290546	257871	140570
128	287503	288255	257881	137219
129	281945	290137	257957	127686
130	289171	297486	257700	131970
131	286159	290604	257993	125537
132	291860	296227	258400	129325
133	288372	295294	258481	121486
134	290262	296577	258933	121886
135	297338	295096	259702	125788
136	295088	288945	259863	118536
137	286247	296591	258925	107886
138	293949	296135	259057	113620
139	293252	295679	258518	107907
140	284243	298690	258861	97020
141	292610	295746	258909	102008
142	297180	294007	259069	103274
143	294091	296398	259145	96831
144	294426	309747	258971	94553
145	301657	307484	258205	98715
148	293672	309489	258640	80011
149	296945	296270	258837	81305
151	294409	300850	259220	71443
152	295479	298625	258842	70269
153	296223	300436	258425	68870
154	289373	302905	258837	58288
155	293956	302017	258919	61654
156	292255	302193	259020	54722
157	303671	291494	258945	65861
158	292484	295637	259347	49992
159	298310	300749	258904	52876
160	290292	300447	259318	42085

Die Koordinaten der Mittelpunkte wurden auch in einer Excel-Tabelle erfasst.

Aus dieser Tabelle 2 ist auch ersichtlich, warum die 48 nicht herangezogenen Bilder verworfen wurden.

Hauptgrund waren nahe der Kontaktzeiten der zu kleine Mond- bzw. Sonnenrand mit daher ungenauem Fit.

Besonders nach dem 3. Kontakt und vor dem 4. Kontakt störten zudem Wolken den Kontrast, so dass keine einwandfreie Auswertung möglich war.

Die nicht verwertbaren Bilder wurden gelb unterlegt.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Tabelle 2

Zeit 1991-07-11 UTC	Film Nummer	Bild am Film Nummer	Irfan-BPM-Film Nummer	Mathematica Variable	Sonne			Mond			Kontaktbezug vor 1. Kontakt	Anmerkung Bild
					x	y	r	x	y	r		
17:25:00	000											
17:26:00	001	1	0001	000								kein Mond
17:27:00	002	1	0002	001								Mondfit ungenau
17:28:00	003	1	0003	002								Mondfit ungenau
17:29:00	004	1	0004	003								Mondfit ungenau
17:30:00	005	1	0005	004								Mondfit ungenau
17:31:00	006	1	0006	005								
17:32:00	007	1	0007	006	290,204	301,391	260,046	286,465	808,433	276,000		Sonnen- und Mondfit ungenau
17:33:00	008	1	0008	007	291,425	300,362	259,470	285,810	801,037	276,718		
17:34:00	009	1	0009	008								
17:35:00	010	1	0100	009	292,107	295,385	259,536	283,313	784,365	277,410		Mondfit ungenau
17:36:00	011	1	0110	010	293,384	297,534	259,871	285,261	786,335	283,378		
17:37:00	012	1	0111	011	293,345	304,304	259,158	282,263	781,529	278,405		
17:38:00	013	1	0112	012								
17:39:00	014	1	0113	013	289,245	302,307	259,715	280,417	763,726	276,011		Mondfit ungenau
17:40:00	015	1	0114	014	286,316	307,824	259,481	285,772	768,246	280,518		
17:41:00	016	1	0115	015	292,034	302,852	259,264	281,026	755,785	278,972		
17:42:00	017	1	0116	016	291,529	299,333	259,908	278,467	751,584	284,085		Mondfit ungenau
17:43:00	018	1	0117	017	299,891	299,691	259,440	287,120	743,155	282,188		
17:44:00	019	1	0118	018	290,979	301,570	259,258	275,185	739,837	283,105		
17:45:00	020	1	0200	019	291,188	298,576	259,412	274,051	730,210	282,877		Mondfit ungenau
17:46:00	021	1	0210	020	289,731	297,147	259,550	272,932	724,185	284,582		
17:47:00	022	1	0220	021	293,163	299,417	259,630	274,600	719,697	284,087		
17:48:00	023	1	0230	022								
17:49:00	024	1	0240	023	290,472	298,616	259,639	271,857	706,614	284,426		Mondfit ungenau
17:50:00	025	1	0250	024	293,876	299,609	259,692	273,799	701,954	284,909		
17:51:00	026	1	0260	025	290,912	293,201	259,248	269,438	688,055	283,225		
17:52:00	027	1	0270	026	291,828	301,735	259,727	270,730	688,660	282,063		Mondfit ungenau
17:53:00	028	1	0280	027								
17:54:00	029	2	0290	028	300,325	425,015	260,678	276,380	798,063	280,172		
17:55:00	030	2	0300	029	292,821	296,661	259,185	269,324	665,112	281,736		Mondfit ungenau
17:56:00	031	2	0310	030	290,018	296,891	259,519	266,767	659,557	281,673		
17:57:00	032	2	0320	031	293,283	300,378	259,302	270,897	657,890	283,420		
17:58:00	033	2	0330	032	295,000	330,929	259,707	273,679	681,494	282,055		Mondfit ungenau
17:59:00	034	2	0340	033	294,231	303,881	259,642	272,082	652,374	285,896		
18:00:00	035	2	0350	034	290,024	297,263	259,601	265,091	635,995	282,907		
18:01:00	036	2	0360	035	293,080	297,186	259,747	267,225	629,152	282,817		Mondfit ungenau
18:02:00	037	2	0370	036	291,308	298,017	258,873	266,666	623,264	281,327		
18:03:00	038	2	0380	037	289,204	296,475	259,779	263,803	616,533	283,213		
18:04:00	039	2	0390	038	291,530	298,260	259,717	266,846	613,501	283,912		Mondfit ungenau
18:05:00	040	2	0400	039	294,724	293,891	259,354	269,063	602,547	283,953		
18:06:00	041	2	0410	040	289,414	299,632	259,839	262,998	602,218	284,098		
18:07:00	042	2	0420	041	293,327	297,000	259,617	267,222	593,219	283,903		Mondfit ungenau
18:08:00	043	2	0430	042	294,211	297,199	259,881	268,427	588,388	284,595		
		2	0440	043	293,542	296,204	259,337	266,863	580,338	283,297		

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

18:09:00	044	2	044	359/512	292,337	298,496	259,459	265,576	574,905	281,979		
18:10:00	045	2	045	359/512	303,571	285,920	260,512	275,530	559,840	286,271		
18:11:00	046	2	046	359/512	289,824	293,754	259,862	262,310	559,286	284,062		
18:12:00	047	2	047	359/512	289,309	297,631	260,013	261,773	556,999	283,747		
18:13:00	048	2	048	359/512	291,643	303,692	259,535	263,583	557,387	284,010		
18:14:00	049	2	049	359/512	289,922	295,781	259,391	261,984	541,762	282,636		
18:15:00	050	2	050	359/512	295,195	302,226	258,650	268,598	542,473	282,543		
18:16:00	051	2	051	359/512	292,372	294,983	259,000	265,271	530,405	283,527		
18:17:00	052	2	052	359/512	293,251	296,958	259,849	266,965	528,872	284,325		
18:18:00	053	2	053	359/512	292,092	299,707	259,400	265,366	521,238	282,503		
18:19:00	054	2	054	359/512	291,493	295,930	260,145	264,850	512,770	284,604		
18:20:00	055	2	055	359/512	296,032	298,861	258,969	270,423	508,069	281,810		
18:21:00	056	2	056	359/512	293,125	293,528	259,261	267,997	497,055	282,250		
18:22:00	057	2	057	359/512	295,158	303,636	258,584	270,039	500,698	281,511		
18:23:00	058	2	058	359/512	294,757	296,476	259,159	270,010	487,715	282,121		
18:24:00	059	2	059	359/512	292,436	306,399	258,383	268,236	490,750	280,999		
18:25:00	060	2	060	359/512	288,645	296,952	259,134	264,157	476,408	282,199		
18:26:00	061	2	061	359/512	304,391	292,180	258,541	280,375	464,667	281,406		
18:27:00	062	2	062	359/512	301,416	307,274	258,467	278,075	473,098	280,956		
18:28:00	063	3	N/A	N/A	289,863	306,297	259,285	268,070	460,733	282,071		Bild nicht scanbar
18:29:00	064	3	063	359/512	287,053	299,344	258,700	266,037	447,792	281,806		
18:30:00	065	3	064	359/512	293,817	298,447	259,832	274,075	441,311	282,414		
18:31:00	066	3	065	359/512	291,715	292,719	259,083	270,460	428,315	281,539		
18:32:00	067	3	066	359/512	289,920	295,802	259,347	269,315	425,426	282,097		
18:33:00	068	3	067	359/512	289,469	300,912	259,415	269,364	424,542	282,005		
18:34:00	069	3	068	359/512	289,609	302,344	259,249	269,668	420,080	282,148		
18:35:00	070	3	069	359/512	297,578	296,406	258,758	278,590	407,902	281,337		
18:36:00	071	3	070	359/512	301,138	306,324	259,145	282,819	411,506	281,905		
18:37:00	072	3	071	359/512	293,609	323,634	259,273	298,638	423,130	281,337		
18:38:00	073	3	072	359/512	278,623	295,218	259,299	193,836	337,502	282,012		
18:39:00	074	3	073	359/512	285,285	322,674	258,780	205,264	387,479	281,308		
18:40:00	075	3	074	359/512	286,772	300,766	259,277	254,748	377,104	282,292		
18:41:00	076	3	075	359/512	285,437	304,002	259,726	288,135	380,486	282,456		
18:42:00	077	3	076	359/512	297,973	300,450	259,769	302,420	370,853	282,155		
18:43:00	078	3	077	359/512	293,794	385,561	259,182	297,506	449,762	281,780		
18:44:00	079	3	078	359/512	304,008	319,023	259,685	307,440	376,085	281,491		
18:45:00	080	3	079	359/512	310,341	319,059	259,655	313,191	370,828	281,840		
18:46:00	081	3	080	359/512	293,484	319,218	261,488	295,391	364,726	284,098		
18:47:00	082	3	081	103/256	302,121	325,839	258,630	303,713	364,273	280,527		
18:48:00	083	3	082	359/512								schwacher Bildkontrast
18:49:00	084	3	083	359/512								schwacher Bildkontrast
18:50:00	085	3	084	359/512								
18:51:00	086											
18:52:00	087											
18:53:00	088											
18:54:00	089											
											vor 2. Kontakt	
											Totalität	
											Totalität	
											Mitte Totalität	

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

[illegible]

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

19:41:00	136	4	123	128	103/256	285,088	288,945	259,863	118,536	048,193	281,339	Sonne teilweise außer Bild Sonnen- und Mondfit ungenau
19:42:00	137	4	124	129	13/64	286,247	296,591	258,925	107,886	055,279	279,050	
19:43:00	138	4	125	130	13/64	293,949	296,135	259,057	113,620	051,500	277,184	
19:44:00	139	4	126	131	155/512	293,252	295,679	258,518	107,907	043,695	279,482	
19:45:00	140	4	127	132	155/512	284,243	298,690	258,861	097,020	042,380	277,811	Mondfit ungenau
19:46:00	141	4	128	133	103/256	292,610	295,746	258,909	102,008	032,926	279,124	
19:47:00	142	4	129	134	103/256	297,180	294,007	259,069	103,274	024,459	279,950	
19:48:00	143	4	130	135	359/512	294,091	296,398	259,145	096,831	021,502	280,602	
19:49:00	144	4	131	136	77/128	294,426	309,747	258,971	094,553	030,094	279,545	schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast Mondfit ungenau Bild nicht auswertbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar
19:50:00	145	4	132	137	77/128	301,657	307,484	258,205	098,715	021,707	279,691	
19:51:00	146	5	133	138								
19:52:00	147	5	134	139								
19:53:00	148	5	135	140	359/512	293,672	309,489	258,640	080,011	007,861	279,409	schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast Mondfit ungenau Bild nicht auswertbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar
19:54:00	149	5	136	141	359/512	296,945	296,270	258,837	081,305	-012,122	281,138	
19:55:00	150	5	137	142								
19:56:00	151	5	138	143	359/512	294,408	300,850	259,220	071,443	-016,803	280,959	
19:57:00	152	5	139	144	359/512	295,479	298,625	258,842	070,269	-026,010	281,182	schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast Mondfit ungenau Bild nicht auswertbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar
19:58:00	153	5	140	145	359/512	286,223	300,436	258,425	068,870	-028,854	279,428	
19:59:00	154	5	141	146	359/512	289,373	302,905	258,837	058,288	-032,362	280,520	
20:00:00	155	5	142	147	359/512	293,956	302,017	258,919	061,654	-036,117	278,955	
20:01:00	156	5	143	148	359/512	292,255	302,193	259,020	054,722	-045,178	281,751	schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast schwacher Bildkontrast Mondfit ungenau Bild nicht auswertbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar Bild nicht auswertbar Bild unbrauchbar Bild unbrauchbar
20:02:00	157	5	144	149	359/512	303,671	291,494	258,945	065,861	-060,945	279,969	
20:03:00	158	5	145	150	359/512	292,484	295,637	259,347	049,992	-063,438	281,799	
20:04:00	159	5	146	151	359/512	286,310	300,749	258,904	052,876	-063,185	281,772	
20:05:00	160	5	147	152	359/512	290,292	300,447	259,318	042,085	-069,550	282,063	nach 4. Kontakt
20:06:00	161	5	148	153								
20:07:00	162	5	149	154								
20:08:00	163	5	150	155								
20:09:00	164	5	151	156								
20:10:00	165	5	152	157								
20:11:00	166	5	153	158								
20:12:00	167	5	154	159								
20:13:00	168	5	155	160								
20:14:00	169	5	156	161								
20:15:00	170	5	157	162								
20:16:00	171	5	158	163								
20:17:00	172	5	159	164								
20:18:00	173	5	160	165								
20:19:00	174	5	161	166								
20:20:00	175	5	162	167								
20:21:00	176	5	163	168								
20:22:00	177	5	164	169								

6.6 Auswertung mit der Mittelpunktskoordinaten mit Mathematica

Die Koordinaten der Mittelpunkte von Sonne und Mond wurden mit der Text-Datei in das folgende Notebook unter Mathematica eingelesen und deren jeweiliger Abstand zueinander bestimmt.

Durch den Graph der Abstände vor und nach der Totalität werden je ein lineare Fit gelegt, deren Schnittpunkt möglichst auf der X-Achse zu liegen kommen sollte.

Jedenfalls legt der Minimalabstand des Schnittpunktes der beiden Geraden zur x-Achse, die ja die Zeitachse darstellt, den Zeitpunkt der Finsternismitte fest.

Die Einheit der Zeitachse ist UTC.

Da ΔT die Differenz zwischen TT und UT1 darstellt, der Auslöser der Kamera allerdings zu UTC gedrückt wurde, war die Korrektur ΔUT von +0.21378 Sekunden anzubringen (IERS [16]).

UTC errechnete sich im Jahr 1991 zu TAI + 26 Sekunden, oder TT + 58,148 Sekunden (Astronomical Almanac 2010 [17]).

Im folgenden Mathematica-Notebook, wieder mit roten Rahmen kommentiert, wird der Auswertungsvorgang durchgeführt.

Als Ergebnis für die Mitte der Finsternis wird - noch ohne Fehlerrechnung - der Zeitpunkt 18:53:37,2464 ausgeworfen.

Im nächsten Kapitel wird vergleichsweise die lokale Finsternismitte rechnerisch ermittelt.

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Find time of max. Eclipse from observation data

- Read in the data file with the positions of the lunar/solar disk-midpoint, calculate the distance between them and instant of minimum (max. Eclipse)

```
ClearAll[SofiDaten, str1, str2, XYSonne, XYMond, Time, d,
dTable, DistancesBeforem, DistancesAfterm, DistancesAll, h, m, s, x]

SofiDaten = Import["E:\\Textwerte.txt", "Table"];

XYSonne = {};
XYMond = {};
Time = 0;
d = 0;
dTable = {};
DistancesBefore = {};
DistancesAfter = {};
DistancesAll = {};

For[j = 1, j <= Length[SofiDaten], j++,
  Time = SofiDaten[[j, 1]];
  XYSonne = {SofiDaten[[j, 2]], SofiDaten[[j, 3]]};
  XYMond = {SofiDaten[[j, 5]], SofiDaten[[j, 6]]};
  d = Sqrt[(XYSonne[[1]] - XYMond[[1]])^2 + (XYSonne[[2]] - XYMond[[2]])^2];
  If[(IntervalMemberQ[Interval[{0, 90}], Time] ||
    IntervalMemberQ[Interval[{106, 160}], Time]),
    If[(Time < 90), DistancesBefore = Append[DistancesBefore, {Time, d}],
      DistancesAfter = Append[DistancesAfter, {Time, d}];
      DistancesAll = Append[DistancesAll, {Time, d}];
    ]
  ];

"Time of first observation was 17:25:00 so this time is added to the result";
s = ((Solve[f1 - f2 == 0, x][[1, 1, 2]] + ((17 * 60) + 25)) / 60)
18.8936
```

Einlesen der
Koordinaten der
Sonne- und
Mondmittelpunkte
aus genannten
Textdatei

- Instant of minimal distance (max. Eclipse) in UTC

```
HMS[s]
18h 53m 37.0326s
{18, 53, 37.0326}
```

Ergebnis der
Berechnung in UTC

- Instant of minimal distance in UT1 (on Eclipse day UT1-UTC was 0.21378s)

```
sUT1 = s + (0.21378 / (60 * 60));
HMS[sUT1]
18h 53m 37.2464s
{18, 53, 37.2464}
```

Ergebnis der
Berechnung in UT1

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

2 | DeltaT.nb

- Create a Point for the following Plot representing the result given above

```
Solve[f1 - f2 == 0, x]
{{x -> 88.6172}}

{{y -> (f2 /. %) [[1]]}}
{{y -> 5781.13}}

pMin = Graphics[{PointSize[Large], Point[{%%[[1, 1, 2]], %[[1, 1, 2]]}]]];
```

Graphisches Erstellen des Schnittpunktes der beiden Ausgleichsgeraden

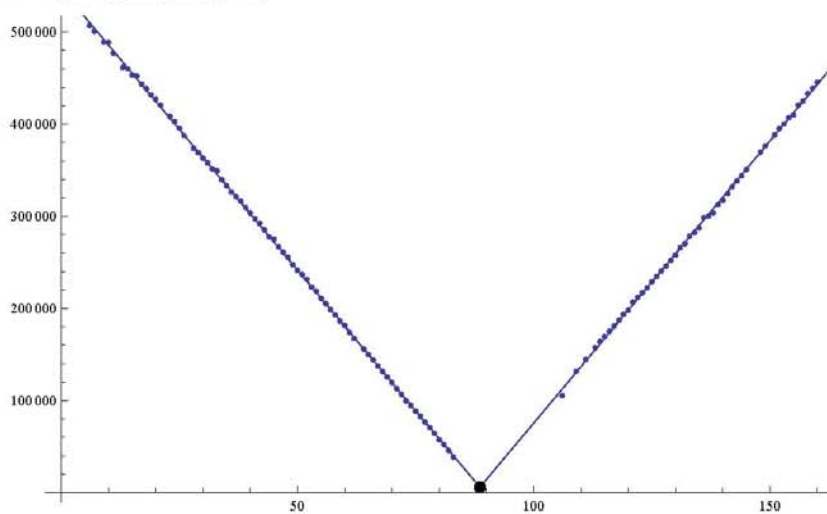
- Create a Plot of all distances between the disks of the sun and the moon obtained from observation data, and lines of best fit through them

```
f1 = Fit[DistancesBefore, {1, x}, x];
pf1 = Plot[f1, {x, 0, 89}];

f2 = Fit[DistancesAfter, {1, x}, x];
pf2 = Plot[f2, {x, 89, 166}];
pAll = ListPlot[DistancesAll];

Show[pAll, pf1, pf2, pMin]
```

Graphische Ausgabe der Ausgleichsgeraden und der Bildpunkte



Graphische Darstellung der Abstandsänderungen der Mittelpunkte von Sonne und Mond samt Kennzeichnung der Bildpunkte und des Minimums

7. Rechnerische Bestimmung der lokalen Finsternismitte

7.1 Besselsche Elemente

Friedrich Wilhelm Bessel (1784 - 1846) hat gezeigt, wie die räumlichen Erscheinungen einer Finsternis in die Ebene übertragen werden können (Ferneis [18]):

Eine Ebene wird durch den Erdmittelpunkt gelegt, die auf die Schattenachse der Finsternis senkrecht steht. Dies bezeichnet man als Besselsche Fundamentalebene. Sie stellt die Grundebene eines Koordinatensystems dar, dessen Ursprung im Erdmittelpunkt liegt.

Die x-Achse weist positiv nach Osten und ist die Schnittgerade mit der Äquatorebene.

Die y-Achse weist positiv nach Norden.

Die z-Achse zeigt positiv zum Mond.

Als Längeneinheit dient der Erdradius der Äquatorebene.

Die Schattenquerschnitte und der Beobachtungsort auf der Erdoberfläche werden nun auf diese Ebene projiziert.

Ist der Finsternisverlauf auf der Fundamentalebene definiert, so kann man die Ereignisse auf die Erdoberfläche projizieren und auf bestimmte Beobachtungsorte spezialisieren.

Diese Kenngrößen - vom Beobachtungsort völlig unabhängig - nennt man die Besselschen Elemente. Sie sind in Astronomischen Publikationen wie dem Astronomical Almanac für jede Finsternis vorausberechnet.

Sie bestehen aus folgenden Größen:

- Auftreffen der Schattenachse auf der Fundamentalebene (x, y)
- Richtung der Schattenachse ($\sin d, \cos d, \mu$)
- Radius des Kern- und des Halbschattenkegels auf der Fundamentalebene
- zusätzliche Elemente sind $\tan f_1$ und $\tan f_2$ als Parameter des Schattenkegels (Halb- und Kernschatten), sie verändern sich während der Finsternis nicht
- μ' und d' geben zeitliche Änderungen pro Stunde an

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

7.2 Anwendung der Berechnungsmethode nach Jean Meeus

Unter Verwendung des Werkes von Jean Meeus „Elements of Solar Eclipses 1951 - 2200“ [19] wurde ein Mathematica-Notebook erstellt, um die Mitte der Finsternis bezogen auf den Beobachtungsort zu berechnen.

Der Astronomical Almanac 1991 [20] gibt die Besselschen Elemente in Tabellenform mit Zeitabständen von zehn Minuten an.

Jean Meeus liefert in seinem Werk die Koeffizienten von Ausgleichspolynomen, welche die zeitliche Entwicklung der jeweiligen Besselschen Elemente beschreibt. Daher stehen zur Berechnung der Finsternisse für jedes dieser Elemente kontinuierliche Daten zur Verfügung.

7.3 Berechnung mit Mathematica

Im folgenden Mathematica-Notebook werden diese Koeffizienten zusammen mit dem im Buch von Jean Meeus beschriebenen Algorithmus zur Berechnung des Maximums einer Finsternis konkret für die Bestimmung von ΔT der Finsternis vom 11. Juli 1991 verwendet.

Hierzu wird vorerst ein provisorischer, extrapolierter Wert von ΔT - laut Astronomical Almanac 1991 [20] - von 58 Sekunden angenommen.

Schließlich wird das Ergebnis mit der Interpolation aus dem Astronomical Almanac 2010 [17] verglichen.

Der Auswertungsvorgang ist wieder mit roten Kommentarboxen erläutert.

Solar Eclipse of 11 July 1991

Local Circumstances for $\lambda = 109^\circ 27' 28''$, $\phi = 23^\circ 28' 35''$

Observers' rectangular geocentric coordinates

```
ClearAll[λ, φ, height, flat, u, ρSinφs, ρCosφs]

λ = 109 + ((27 + (28 / 60)) / 60);
φ = 23 + ((28 + (35 / 60)) / 60);
height = 34;

flat = 1 - 1 / 298.257;
u = ArcTan[flat * Tan[φ°]];
ρSinφs = flat * Sin[u] + (h / 6378140) * Sin[φ°] /. h -> height;
ρCosφs = Cos[u] + (h / 6378140) * Cos[φ°] /. h -> height;
```

Setzen der
Koordinaten des
Beobachtungsortes

Besselian Elements (taken from the book "Elements of solar Eclipses" by Jean Meeus)

```
ClearAll[T0, X, Xs, Y, Ys, d, M, L1, L2, x, y, De, m, l, Tanf1, Tanf2]

T0 = 19;
x = {-0.067280, 0.5671376, -0.0000369, -0.00000961};
y = {0.011951, -0.1379772, -0.0001529, 0.00000250};
De = {22.09744, -0.005220, -0.000005};
m = {103.63977, 15.000056};
l = {{0.530407, 0.0000252, -0.0000128}, {-0.015638, 0.0000251, -0.0000127}};
Tanf1 = 0.0045986;
Tanf2 = 0.0045757;
```

Setzen der Koeffizienten der
Interpolationsfunktionen der
Besselschen Elemente

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

2 | Local Circumstances.nb

```

X[t_, x_] :=
Module[{ },
  x[[1]] + t (x[[2]] + t (x[[3]] + t x[[4]]))
]

Xs[t_, x_] :=
Module[{ },
  x[[2]] + 2 t x[[3]] + 3 t^2 x[[4]]
]

Y[t_, y_] :=
Module[{ },
  y[[1]] + t (y[[2]] + t (y[[3]] + t y[[4]]))
]

Ys[t_, y_] :=
Module[{ },
  y[[2]] + 2 t y[[3]] + 3 t^2 y[[4]]
]

d[t_, De_] :=
Module[{ },
  De[[1]] + t De[[2]] + t^2 De[[3]]
]

M[t_, m_] :=
Module[{ },
  m[[1]] + t m[[2]]
]

L1[t_, l_] :=
Module[{ },
  l[[1, 1]] + t l[[1, 2]] + t^2 l[[1, 3]]
]

L2[t_, l_] :=
Module[{ },
  l[[2, 1]] + t l[[2, 2]] + t^2 l[[2, 3]]
]

```

Polynome laut Meeus

Calculate the correction t_m to the assumed time t needed to obtain the instant of maximum eclipse

```
ClearAll[t, H,  $\Delta T$ ,  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\xi'$ ,  $\xi s$ ,  $\eta s$ , u, v, a, b, L1s, L2s,  $t_m$ ]
```

■ Initial conditions

```
 $\Delta T$  = 58;
t = 0;
```

■ Observers' hour angle

```
H = M[t, m] -  $\lambda$  - 0.00417807  $\Delta T$ ;
```

Eingabe des provisorischen ΔT und des Startwertes für die Zeit

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Local Circumstances.nb | 3

Observers coordinates referred to the fundamental plane

$$\begin{aligned}\xi &= \rho \cos \phi_s \sin [H^\circ]; \\ \eta &= \rho \sin \phi_s \cos [d[t, De]^\circ] - \rho \cos \phi_s \cos [H^\circ] \sin [d[t, De]^\circ]; \\ \xi &= \rho \sin \phi_s \sin [d[t, De]^\circ] + \rho \cos \phi_s \cos [H^\circ] \cos [d[t, De]^\circ];\end{aligned}$$

Koordinaten des
Beobachtungsortes im
System der Besselschen
Ebene samt zeitlicher
Änderung

Hourly variations of ξ and η

$$\begin{aligned}\xi_s &= 0.01745329 \, m[2] \, \rho \cos \phi_s \cos [H^\circ]; \\ \eta_s &= 0.01745329 \, (m[2] \, \xi \sin [d[t, De]^\circ] - \xi \, De[2]);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u &= X[t, x] - \xi; \\ v &= Y[t, y] - \eta;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= Xs[t, x] - \xi_s; \\ b &= Ys[t, y] - \eta_s;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L1s &= L1[t, 1] - \xi \tan f1; \\ L2s &= L2[t, 1] - \xi \tan f2;\end{aligned}$$

Correction to the assumed time t needed to obtain the instant of maximum eclipse [hours]

$$t_m = - \frac{u a + v b}{a^2 + b^2};$$

Korrektur für die Startzeit t zur
Bestimmung des Zeitpunktes
der Mitte der Finsternis

Setting up a single equation to calculate $t - t_m$

$$\begin{aligned}UT[t_] &:= \\ &\text{Module}[\{\}, \\ &\quad t - \left(\left(\rho \cos \phi_s \sin [0.00007292107787879948^\circ \Delta T + 0.017453292519943295^\circ \lambda - M[t, m]] + X[t, x] \right) \right. \\ &\quad \left(-0.01745329^\circ m[2] \, \rho \cos \phi_s \cos [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] + Xs[t, x] \right) + \\ &\quad \left(-\rho \sin \phi_s \cos [^\circ d[t, De]] + \rho \cos \phi_s \cos [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] \sin [^\circ d[t, De]] + \right. \\ &\quad \left. Y[t, y] \right) \left(0.01745329^\circ De[2] \, \rho \cos \phi_s \cos [^\circ d[t, De]] \right. \\ &\quad \left. \cos [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] + \sin [^\circ d[t, De]] \left(0.01745329^\circ De[2] \, \rho \sin \phi_s - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. 0.01745329^\circ m[2] \, \rho \cos \phi_s \sin [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] \right) + Ys[t, y] \right) \Big/ \\ &\quad \left(\left(-0.01745329^\circ m[2] \, \rho \cos \phi_s \cos [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] + Xs[t, x] \right)^2 + \right. \\ &\quad \left(0.01745329^\circ De[2] \, \rho \cos \phi_s \cos [^\circ d[t, De]] \cos [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] + \right. \\ &\quad \left. \sin [^\circ d[t, De]] \left(0.01745329^\circ De[2] \, \rho \sin \phi_s - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. 0.01745329^\circ m[2] \, \rho \cos \phi_s \sin [^\circ (-0.00417807^\circ \Delta T - \lambda + M[t, m])] \right) + Ys[t, y] \right)^2 \Big) \\ &\quad \left. \right) \end{aligned}$$

Calculate TT by applying UT (t) to T0 after UT(t)=t-tm remains constant (or after max 50 iterations)

```
TT = T0 + FixedPoint[UT, 0, 50];
HMS[TT]
18h 54m 35.2119s
{18, 54, 35.2119}
```

Ergebnis der Korrektur von T_0

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

4 | Local Circumstances.nb

Calculate UT

```

ClearAll[UT]

UT = TT - (ΔT / (60 * 60));
HMS[UT]

18h 53m 37.2119s

{18, 53, 37.2119}

```

Umrechnung in UT
durch Abzug des
provisorischen ΔT

Calculate the corrected value for ΔT

```

"sUT1 -> Zeit des Minimalen Abstands
in UT1 von Sonne und Mond aus Notebook 'DeltaT.nb';
"Nur die Datenpunkte aus dem Zeitintervall [0,90] und [106,160] wurden berücksichtigt";

HMS[sUT1]

18h 53m 37.2464s

{18, 53, 37.2464}

"Zeitdifferenz zum oben berechneten Wert von
UT = Korrektur zum angenommenen Wert für ΔT von 58 Sekunden";

sUT = HMS[sUT1 - UT]

0h 0m 0.034406s

{0, 0, 0.034406}

"Damit ergibt sich eine verbesserte Version von ΔT zu:";

ΔTCorr = ΔT - sUT[[3]]

57.9656

```

Bestimmung des
korrigierten
Wertes für ΔT

 ΔT am Tag der Finsternis■ ΔT Table [1985-1995] taken from the Astronomical Almanach 2010

```

ΔTtable = {{1985.0, +54.34}, {1986.0, +54.87},
{1987.0, +55.32}, {1988.0, +55.82}, {1989.0, +56.30}, {1990.0, +56.86},
{1991.0, +57.57}, {1992.0, +58.31}, {1993.0, +59.12}, {1994.0, +59.98}, {1995.0, +60.78}}

{{1985., 54.34}, {1986., 54.87}, {1987., 55.32},
{1988., 55.82}, {1989., 56.3}, {1990., 56.86}, {1991., 57.57},
{1992., 58.31}, {1993., 59.12}, {1994., 59.98}, {1995., 60.78}}

DTFit = Interpolation[ΔTtable];

ClearAll[t]

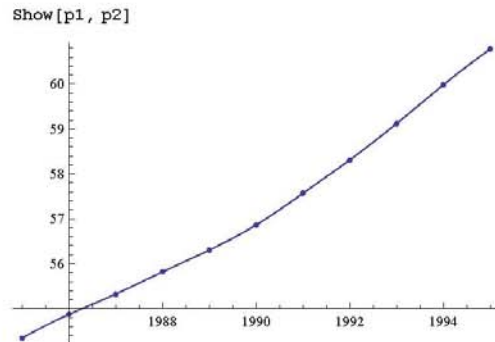
p1 = Plot[DTFit[t], {t, 1985, 1995}];
p2 = ListPlot[ΔTtable];

```

Interpolieren der ΔT -Werte
aus dem Astronomical
Almanac 2010

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

Local Circumstances.nb | 5



Graphische Darstellung der Interpolation der Werte von ΔT aus dem Astronomical Almanac 2010

■ 1991/07/11 17:25:00 expressed in years:

```
1991 + (((28 * 7) + ((17 + (25 / 60)) / 24)) / 365.25)
1991.54
```

■ ΔT at that time

```
DTFit [%]
57.9623
```

Interpolierter Wert von ΔT aus dem Astronomical Almanac 2010

■ Difference in seconds between the value of ΔT (ΔT_{Corr}) attained in this work and the interpolated value ΔT (DT_{Fit}) from the Astronomical Almanach

```
 $\Delta T_{\text{Corr}} - \%$ 
0.00330257
```

Vergleich des Ergebnisses der Interpolation der ΔT -Werte aus dem Astronomical Almanac 2010 mit dem durch Eigenbeobachtung gewonnen Wert von ΔT

7. Ergebnis und Diskussion

7.1 Ergebnis

Der durch Eigenbeobachtung und mittels der beschriebenen Auswertungsmethode ermittelte Wert von ΔT beträgt in Sekunden:

$$57,96 \pm 0,20$$

Er stimmt optimal mit dem aus dem Astronomical Almanac 2010 [17] der Seite K9 interpolierten Wert von 57,96 Sekunden überein.

7.2 Diskussion

Die Fehleranalyse in Form des folgenden Mathematica-Notebooks enthält zwei Teile: Im ersten Teil wurde der Fehler des aus der Vermessung und Analyse von Aufnahmen der Partialphase der Finsternis gewonnenen Wertes von ΔT analysiert. Im zweiten Teil wird der Fehler eines rein rechnerisch bestimmten Wertes für ΔT abgeschätzt.

Bei der Bestimmung des Fehlers des aus Finsternisaufnahmen gewonnenen Wertes von ΔT wurde sowohl die systematische Messabweichung wegen der Verwendung des Sobel-Operators [15] und der zirkularen Ausgleichskurve als auch die statistische Messabweichung durch die manuelle Zeitnehmung - geschätzt 0,1 Sekunden - berücksichtigt.

Die Summe der Achsenfehler der linearen Ausgleichkurven durch die Abstände von Sonne und Mond vor und nach der Finsternis und die Summe der systematischen Messabweichungen - Sobel-Operator [15] plus Ausgleichskreis (etwa 7 Pixel entspricht 0,069 Sekunden) - ergibt eine Abweichung für die Zeit der maximalen Finsternis und somit für ΔT von etwa 0,085 Sekunden.

Der Anteil der systematischen Messabweichungen beträgt hierbei 0,069 Sekunden - wobei beachtet werden muss, dass dieser Fehler nicht symmetrisch in xy ist - da wegen der Natur einer Sonnenfinsternis nie ein vollständig bestimmter Kreis durch die Punkte, die der Sobel-Operator als Sonnen- bzw. Mondrand lieferte, gelegt werden konnte, da nicht auf allen Kreisabschnitten Punkte zur Verfügung standen.

Zum Zweck der Abschätzung des rein rechnerisch bestimmten Wertes für ΔT , wurde ausgehend von Gleichungen und Besselschen Elementen nach Meeus [19] eine geschlossene Formel für die Differenz zwischen tatsächlichen ΔT und dem gewählten Startwert von ΔT mit Hilfe von Mathematica entwickelt.

Die abgeschätzten Fehler in den Eingabewerten dieser Formel (1“ geographische Koordinaten des Beobachters, Besselsche Elemente über die Zeit) zusammen mit dem totalen Differenzial derselben liefern eine Abweichung von 0,20 Sekunden.

Messabweichungen

■ Systematische Messabweichungen

■ Bestimmung der Punkte Sonnen bzw. Mondrandes (Sobel-Operator)

```
"Breite der Sonnen/Mondkante:
durchschnittlich 4-5px - nach
Histogrammkorrektur 1-3px (Abhängig vom Bildkontrast)";
```

■ Ausgleichskurve durch das Sonnen bzw. Mondrandsegment

```
"Aus Delta-Plots: maximal 4px"

"Bestimmung der Sonnenbewegung in einer Minute in pixel";
ClearAll[k, j, MySum, Difference, Differenzen]

k = 0;
MySum = 0;
Difference = 0;
Differenzen = {};
"Summierung der Differenzen aller Distanzen ...";
For[j = 1, j ≤ Length[DistancesAll] - 1, j++,
  "... wenn die Datenpunkte No. j und j+1 eine Minute auseinander liegen";
  If[DistancesAll[[j + 1, 1]] - DistancesAll[[j, 1]] == 1,
    Difference = Abs[DistancesAll[[j + 1, 2]] - DistancesAll[[j, 2]]];
    MySum += Difference;
    Differenzen = Append[Differenzen, Difference];
    k++;
  ]
]

"Bildung des Mittelwertes";
N[ $\frac{MySum}{k}$ ]
6063.11

"Umrechnung [px] -> [sek], 60sek entspricht 6063px";
"1px entspricht:";

psf = N[60 / 6063] sek
0.00989609 sek
```

■ Fehlerfortpflanzung bei der rechnerischen Bestimmung von ΔT

■ Observers' rectangular geocentric coordinates

```
ClearAll[λ, φ, height, flat, u, ρSinφs, ρCosφs]
```

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

2 | ErrorEstimate - Version 2.nb

```
flat = 1 - 1 / 298.257;
u = ArcTan[flat * Tan[phi°]];
rhoSinphi = flat * Sin[u] + (h / 6378140) * Sin[phi°] /. h -> height;
rhoCosphi = Cos[u] + (h / 6378140) * Cos[phi°] /. h -> height;
```

■ Besselian Elements

```
ClearAll[T0, X, Xs, Y, Ys, d, M, L1, L2, x, y, De, m, l, Tanf1, Tanf2]

T0 = 19;
x = {-0.067280, 0.5671376, -0.0000369, -0.00000961};
X = x[[1]] + t (x[[2]] + t (x[[3]] + t x[[4]]));

y = {0.011951, -0.1379772, -0.0001529, 0.00000250};
Y = y[[1]] + t (y[[2]] + t (y[[3]] + t y[[4]]));

De = {22.09744, -0.005220, -0.000005};
d = De[[1]] + t De[[2]] + t^2 De[[3]];

m = {103.63977, 15.000056};
M = m[[1]] + t m[[2]];
```

■ Calculate the correction to the assumed time t needed to obtain the instant of maximum eclipse

```
ClearAll[t, H, AT, xi, eta, zeta, xis, etas, u, v, a, b, tm]
```

■ Initial conditions

```
AT = 58;
t = 0;

H = M - lambda - 0.00417807 AT;

xi = rhoCosphi Sin[H°];
eta = rhoSinphi Cos[d°] - rhoCosphi Cos[H°] Sin[d°];
zeta = rhoSinphi Sin[d°] + rhoCosphi Cos[H°] Cos[d°];

xis = 0.01745329 m[[2]] rhoCosphi Cos[H°];
etas = 0.01745329 (m[[2]] xi Sin[d°] - zeta De[[2]]);

u = X - xi;
v = Y - eta;

a = D[X, t] - xis;
b = D[Y, t] - etas;

tm = - (u a + v b) / (a^2 + b^2);

UT = t - tm;
```

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

ErrorEstimate - Version 2.nb | 3

■ Total-Integral of UT

$\Delta UT = \text{Abs}[D[UT, \lambda]] \Delta \lambda + \text{Abs}[D[UT, \phi]] \Delta \phi + \text{Abs}[D[UT, \text{height}]] \Delta \text{height} + \text{Abs}[D[UT, t]] \Delta t / .$
 $\{\Delta \lambda \rightarrow 1 / (60 * 60), \Delta \phi \rightarrow 1 / (60 * 60), \Delta \text{height} \rightarrow 1, \Delta t \rightarrow 1 / 10\}$

A very large output was generated. Here is a sample of it:

$$0.000277778$$

$$\text{Abs}\left[-\frac{1}{((\ll 1 \gg)^2 + (-0.137977 + \ll 4 \gg)^2)^2} 1. \ll 1 \gg \ll 1 \gg \left(\left(0.567138 + (-0.0000369 - 0.00001922 t) t + \right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left(\ll 1 \gg\right) t - 0.2618 \cos[0.0174533 (103.64 + 15.0001 t - 0.00417807 \Delta T - 1. \lambda)]\right.\right.$$

$$\left.\left.\left(3.13571 \times 10^{-6} \cos[0.0174533 \phi] + \frac{1}{\sqrt{1. + 0.993306 \tan[\ll 21 \gg \phi]^2}}\right)\right) (\ll 1 \gg) + \ll 1 \gg\right] +$$

$$\frac{\ll 1 \gg}{(0.567138 + (-0.0000369 - \ll 1 \gg t) t + (\ll 1 \gg t - \ll 1 \gg)^2 + (-0.137977 + \ll 4 \gg)^2)^2} +$$

$$0.000277778 \text{ Abs}\left[-\frac{\ll 1 \gg}{\ll 1 \gg} + \ll 1 \gg\right] +$$

$$0.1$$

$$\text{Abs}\left[1. - \frac{1. \ll 1 \gg (2. (\ll 1 \gg) (\ll 1 \gg) + 2. (-\ll 10 \gg + \ll 1 \gg - \ll 1 \gg) (\ll 1 \gg))}{((\ll 1 \gg)^2 + (\ll 1 \gg - \ll 1 \gg)^2)^2} + \right.$$

$$\left.\frac{\ll 1 \gg}{(0.567138 + (\ll 1 \gg) t + \ll 1 \gg - \ll 1 \gg)^2 + (\ll 1 \gg)^2}\right]$$

Show Less Show More Show Full Output Set Size Limit...

$\lambda = 109 + ((27 + (28 / 60)) / 60);$
 $\phi = 23 + ((28 + (35 / 60)) / 60);$
 $\text{height} = 34;$
 $N[\Delta UT]$
 0.199954

■ Zufällige (statistische) Messabweichungen

■ Zeitmessung

"Etwa 1/10sek";

Bestimmung von ΔT aus der Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 11. Juli 1991

4 | ErrorEstimate - Version 2.nb

■ Standardabweichung der Ausgleichsgeraden

```

SE[DistancesBefore_] :=
Module[{j, x, y, xm, ym, ssxx, ssyy, ssxy, s},

x = {};
y = {};
For[j = 1, j ≤ Length[DistancesBefore], j++,
x = Append[x, DistancesBefore[[j, 1]]];
y = Append[y, DistancesBefore[[j, 2]]];
];

xm = Mean[x];
ym = Mean[y];

ssxx = 0;
ssyy = 0;
ssxy = 0;
For[j = 1, j ≤ Length[DistancesBefore], j++,
ssxx += (DistancesBefore[[j, 1]] - xm)^2;
ssyy += (DistancesBefore[[j, 2]] - ym)^2;
ssxy += ((DistancesBefore[[j, 1]] - xm) * (DistancesBefore[[j, 2]] - ym));
];

r2 =  $\frac{ssxy^2}{ssxx ssyy}$ ;

s = Sqrt[(ssyy - (ssxy^2 / ssxx)) / (Length[DistancesBefore] - 2)];

"Standard errors for a and b";
SEa = Sqrt[(1 / Length[DistancesBefore]) + (xm^2 / ssxx)];
SEb = s / Sqrt[ssxx];
]

SE[DistancesBefore];

"Standard error for a";
N[SEa] px
0.26833 px

"Standard error for a in seconds";
N[SEa] * psf
0.00265542 sek

"Correlation Coefficient";
N[r2]
0.999861

SE[DistancesAfter];

"Standard error for a in seconds";
N[SEa] * psf
0.0127986 sek

```

```
"Correlation Coefficient";  
N[r2]  
0.999573  
  
"Sum of standard errors for a";  
(0.00266 + 0.012799) sek  
0.015459 sek
```

ANHANG

Literaturverzeichnis und Links

- [1] Nelson, R.A. et al., **The leap second: its history and possible future**, Metrologia 2001/38, Seite 509-529, Paris 2001
- [2].CGPM, **Comptes Rendus de la 13e CGPM** 1967/68, Paris 1969
- [3] XXIV General Assembly, **Resolution B1.9 of the IAU**, Paris 2000
- [4] USNO, **Approximate Sidereal Time**, Washington 2007
<http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/GAST.php>
- [5] M. G. Firneis, **Der Sternenbote „Finsternistheorie - Sonnenfinsternis 1973 06 30“** 1973/4, Seite 71-77, Astronomisches Büro, Wien 1973
- [6] Hans-Ullrich Keller, **Astrowissen**, Seite 77, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 2000
- [7] M. Schneider, **Himmelsmechanik**, Band 2, Seite 543-552, 1993
- [8] H. H. Voigt, **Abriss der Astronomie**, 5. Auflage, Seite 58, BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim 1991
- [9] Joachim Hermann, **dtv-Atlas zur Astronomie**, dtv 1974
- [10] Jean Meeus, J. A. Barth, **Astronomische Algorithmen**, 2. Auflage, 1994
- [11] Edward S. Light, **Total Solar Eclipses of Great Duration**, 1972
- [12] **CalSky** <http://calsky.com/>, 22. November 2008
- [13] **National Institute of Standards and Technology** <http://www.nist.gov>, 12. November 2009
- [14] H. F. Haupt, M. G. Firneis, **Korrektur des Mondortes nach Beobachtungen bei der ringförmigen Sonnenfinsternis vom 20. Mai 1966 in Saronis Griechenland**, Annalen der Universitätssternwarte Wien, Band 27, Nr. 2, Wien 1967
- [15] I. Sobel, G. Feldman, **A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing**, presented at a talk at the Stanford Artificial Project 1968, Paster Paper Proceedings of Stanford Artificial Project, Palo Alto 1968
- [16] **International Earth Rotation and Reference Systems Service** B 43, 1991
http://202.127.29.4/cddisa/data_base/IERS/EOP/Bulletin_B/bb_iau1980/bb_043.dat, 8. November 2009

[17] **The Astronomical Almanac 2010**, Seite K9, Washington 2008

[18] M. G. Firneis, **Geometrie der Astronomischen Finsternisse**, Sternfreunde Seminar, Astronomisches Büro Wien, Wien 1979

[19] Jean Meeus, **Elements of Solar Eclipses 1951-2200**, William Bell Inc., Richmond 1989

[20] **The Astronomical Almanac 1991**, Seiten A79-A85, Washington 1990

Weitere gesichtete Titel

John A. Bangert, Alan D. Fiala, William T. Harris, **USNO Circular #174 Total Solar Eclipse of 11 July 1991**, Washington 1989

Cambridge Enzyklopädie der Astronomie, Trewin Copplestone Publishing Ltd., London 1977

H. F. Haupt, M. G. Firneis, **Verlauf und astrometrische Ergebnisse der Expedition zur totalen Sonnenfinsternis vom 7. März 1970 nach Santa Maria Tonameca/Mexiko**, Sitzungsberichte der Math.-nat. Kl. der ÖAW, Wien 1970

Joachim Herrmann, **Das Große Lexikon der Astronomie**, Bertelsmann, München 2001

Hans-Ulrich Keller, **Das Himmelsjahr 1991**, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 1990

Rudolf Kippenhahn, Wolfram Knapp, **Schwarze Sonne, roter Mond**, DVA 1999

Jean Meeus, **Astronomical Algorithms**, William Bell Inc., Richmond 1991

Hermann Mucke, Jean Meeus, **Canon of Solar Eclipses -2003 to +2526**, Astronomisches Büro Wien, Wien 1992

Werner Raffetseder, **Sonnenfinsternis**, Hugendubel, München 1999

Günter Dietmar Roth, **Handbuch für Sternfreunde**, Springer-Verlag, Berlin 1989

University Science Books, **Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac**, Mill Valley 1992

Norbert Zeitlinger, **Die Bestimmung von Δt aus den Beobachtungen der Sonnenfinsternis vom 11.08.1999**, Wien 2000

Abbildungsverzeichnis

[A1] **Zeitgleichung** Wikipedia

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Zeitgleichung.png>

12. November 2009

[A2] **Zusammenhang der wichtigsten Zeitskalen** Die Bestimmung von Δt aus den Beobachtungen der Sonnenfinsternis vom 11.08.1999, Norbert Zeitlinger nach Daten des Bureau de Longitude, 2000, Seite 19

[A3] **Historischer Verlauf von ΔT** Stephenson F. R., Morrison L. V., Philos. Trans. R. Soc. London, 1995, A351, 165- 202.

[A4] **Sonnenfinsternis** Wikipedia

http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Geometry_of_a_Total_Solar_Eclipse_de.svg&filetimestamp=20081021130453

12. November 2009

[A5] **Verlauf der Finsternis vom 11. Juli 1991** Astronomical Almanac 1991 A88

[A6] **Lage des Beobachtungsortes** Google Earth

<http://earth.google.com/intl/de/>

8. November 2009

[A7] **Detailansicht Lage des Beobachtungsortes** Google Earth

<http://earth.google.com/intl/de/>

8. November 2009

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit einzuholen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Softwareverzeichnis

Microsoft Windows XP Microsoft Corporation <http://www.microsoft.com>

Microsoft Word 2003 Microsoft Corporation <http://www.microsoft.com>

Microsoft Excel 2003 Microsoft Corporation <http://www.microsoft.com>

Acrobat Professional 9 Adobe <http://www.adobe.com>

WinEclipse DI Dr. Heinz Scsibrany <http://www.heinzscs.member.ccc.at/>

IrfanView 4 Irfan Skiljan <http://www.irfanview.com>

Nikon Scan 4 Nikon <http://www.nikon.com/>

Mathematica 7 Wolfram Research <http://www.wolfram.com/products/mathematica>

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Univ.-Prof. Dr. Maria Gertrude Firneis für ihre unermüdliche Unterstützung und Hilfsbereitschaft beim Zustandekommen dieser Diplomarbeit - sowohl bezüglich Reisetipps nach Mexiko und hinsichtlich der Ausrüstung als auch in Bezug auf wertvolle Anregungen und Informationen nach Gewinnung des Materials. Ihre Geduld bei der langjährigen Betreuung meiner Arbeit sei besonders erwähnt.

Danken will ich auch Herrn Rudolf Conrad, der mir bei der Finsternisreise die Kamera und das Objektiv für die Aufnahmen zur Verfügung stellte, mir bei der Wahl des Filmmaterials mit Rat und Tat zur Seite stand und nach unserer Rückkehr aus Mexiko die Entwicklung der Bilder übernahm.

Meinem Freund DI Dr. Heinz Scsibrany, der mir vor, während und nach der Reise wertvolle Anregungen gab und mir sein Programm WinEclipse uneingeschränkt zur Verfügung stellte, möchte ich ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Ich bedanke mich herzlichst bei meinen Eltern Dkfm. Walter Schwendenwein und Mag. Christine Schwendenwein für die stetige Ermutigung während des Studiums.

Besonders danken will ich vor allem meiner Frau Lic. Carmen Beatriz López de Schwendenwein sowie meinen Kindern Richard Max Schwendenwein und Julia del Carmen Schwendenwein für die laufende Unterstützung und für deren Verständnis, dass ich neben meinem Beruf als Linienpilot Teile der gemeinsamen Freizeit auch für das Studium und die Diplomarbeit aufzuwenden hatte.

Lebenslauf

Name: Walter Max SCHWENDENWEIN

Geburtsdatum: 14. März 1956

Geburtsort: Wiener Neustadt, Österreich

Eltern: Dkfm. Walter Schwendenwein
Mag. Christine Schwendenwein

Wohnort: Mittlere Gasse 7
A-2700 Wiener Neustadt
Österreich

Staatsbürgerschaft: Österreicher

Schulbildung: Volksschule Wiener Neustadt bis 1. Juli 1966
Humanistisches Gymnasium Wiener Neustadt bis 20. Juni 1975

Universitärer Weg: Studienbeginn Astronomie am 14. Februar 1989
Finsternisreise nach Mexiko zur Gewinnung des Materials für die
Diplomarbeit von 5. bis 14. Juli 1991
Abschluss des 1. Studienabschnittes am 24. September 2004
Übernahme des Diplomarbeitsthemas am 15. Oktober 2002
Abschluss des 2. Studienabschnittes am 2. November 2009

Beruflicher Weg: Präsenzdienst 29. September 1975 bis 30. September 1976
Theresianische Militärakademie bis 23. September 1979
Berufsoffizier bis 31. Mai 1986
Linienpilot im Konzern Austrian Airlines von 1. April 1986 bis
zum 31. Dezember 2008
Derzeit Flugkapitän und Fluglehrer auf Airbus A320-Serie in der
internationalen Luftfahrt

Privater Weg: Hochzeit mit Lic. Carmen Beatriz López de Schwendenwein aus
Mexiko am 8. Mai 1993, bei der Finsternisreise 1991

Kinder: Richard Max Schwendenwein, geboren am 27. Oktober 1995
Julia del Carmen Schwendenwein, geboren am 17. Juni 1998



Wiener Neustadt, 13. November 2009

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Walter Max Schwendenwein'. The signature is fluid and stylized, with a long horizontal stroke at the end.