

# Der Merkurtransit am 11. November 2019

## Allgemeines und der Verlauf der Beobachtung

Nachdem 2016 der letzte Merkurtransit erfolgreich beobachtet werden konnte, sollte im Astronomiejahr 2019 ebenfalls ein Merkurtransit stattfinden. Die Beobachtung fand auf der Sternwarte statt. Dort sind zwar gerade Bauarbeiten im Gange, aber das Instrument in der Kuppel war einsatzbereit. Die Bäume sollten auch nicht stören, da die Sonne schon relativ flach steht (Deklination  $-18^\circ$ ). Ich nahm einen freien Nachmittag, ging nach Hause und holte meine Ausrüstung.

Diese bestand aus einer Nikon D750 und einer Nikon D7100 mit einem Nikkor AF-S 4/300 und einem Zweifachkonverter. Alle Akkus wurden aufgeladen. Die Speicherkarten boten noch Platz für mehrere hunderte Aufnahmen. Mit zwei großen Taschen ging es dann zur Sternwarte.

Dort war schon Ragnar und hatte das Instrument, den Cassegrain 150/2250 mit dem Sonnenfilter bestückt. Ein erster Blick ließ Hoffnung aufsteigen. Bald kam auch noch Stefan und Ulrike. Ulrike brachte noch ein Stück Kuchen mit. Während der Beobachtung wurde dieser mit einer Tasse Kaffee genossen.

Das Wetter spielte fast bis zum Maximum mit. Danach zog vom Westen her ein großes Wolkenband auf, dass die weitere Beobachtung zunichte machte. Zwei Bauarbeitern ermöglichten wir die Beobachtung. Mehr war an Gästen nicht zu begrüßen. Immerhin konnten diese ein eigenes Handybild mit nach Hause nehmen. Darüber freuten sie sich sehr.



Abbildung 1: Anblick des Himmels um 14:54 Uhr

Es war etwa um die  $10^\circ\text{C}$  warm bzw. kalt. Ein leichter Luftstrom durchströmte die Kuppel. Etwa eineinhalb Stunden später zogen bereits die ersten Wolkenbänder vor der Sonne durch. Dafür erschien links neben der Sonne ein Nebensonne (siehe Foto). Das Maximum war erst für 16:19 Uhr berechnet. Kurz danach sollte die Sonne untergehen. Hier wollte ich

ebenfalls schöne Sonnenuntergangsbilder mit dem Merkur vor der Sonnenscheibe anfertigen, aber es sollte nicht sein.



*Abbildung 2: Anblick um 15:26 Uhr, links ist eine Nebensonne zu sehen*

Hier nochmal die genauen Zeiten für Quedlinburg, die mit CalSky (Internet) berechnet wurden.

<b>Uhrzeit (MEZ)</b>	<b>Ereignis</b>
13:35:31	1. Kontakt
13:37:13	2. Kontakt
16:19:42	Maximum
16:31	Sonnenuntergang

*Tabelle 1: Kontaktzeiten für den Merkurtransit am 11. November 2019 für Quedlinburg*

Eine Stunde vor dem Sonnenuntergang zog sich der Himmel zu und vereitelte weitere Aufnahmen.



*Abbildung 3: Anblick um 15:45 Uhr, eine gute halbe Stunde vor dem Maximum*

So wurde es nichts mit dem Sonnenuntergang. Die letzte Aufnahme gelang um 15:34 Uhr, etwa eine Stunde vor dem Sonnenuntergang und 45 Minuten vor dem Maximum.

Der Eintritt konnte fotografisch dokumentiert werden. Außerdem standen Aufnahmen mit dem 300mm-Tele auf dem Programm. Grundsätzlich wurde es mit einem Zweifachkonverter betrieben, so daß effektiv mit 600 Millimeter gearbeitet wurde, aber ich wollte auch schauen, ob der Merkur auch mit 300 mm Brennweite zu fotografieren ist.

Nach der erfolgreichen Beobachtung gönnte ich mir noch eine Flasche Wein und eine tschechische Käseplatte. Den nächsten Merkurtransit am 13. November 2032 werde ich dann definitiv als Pensionär erleben, da bin ich 65 Jahre alt (egal wie noch an den Gesetzen geschraubt wird).

Da bis auf die beiden Bauarbeiter keine weiteren Gäste da waren, konnte ich das Hauptinstrument für mich nutzen und den Eintritt mit dem Spiegelteleskop fotografieren.

## Beobachtung des Eintritt des Merkurs

Mit der Nikon D750 und dem Zeiss Cassegrain 150 (Brennweite 2250 mm) wurden der Eintritt mit folgenden Aufnahmen festgehalten.

Aufnahmedatei	Uhrzeit Kamera	Uhrzeit MEZ	Bemerkung
DSC2018	13:35:14	13:35:32	Eintritt
DSC2019	13:35:34	13:35:52	
DSC2020	13:35:53	13:36:11	
DSC2021	13:36:14	13:36:32	
DSC2022	13:36:37	13:36:55	
DSC2023	13:36:54	13:37:12	starke Luftunruhe
DSC2024	13:37:14	13:37:32	2. Kontakt
DSC2025	13:37:34	13:37:52	
DSC2026	13:37:54	13:38:12	
DSC2027	13:38:14	13:38:32	

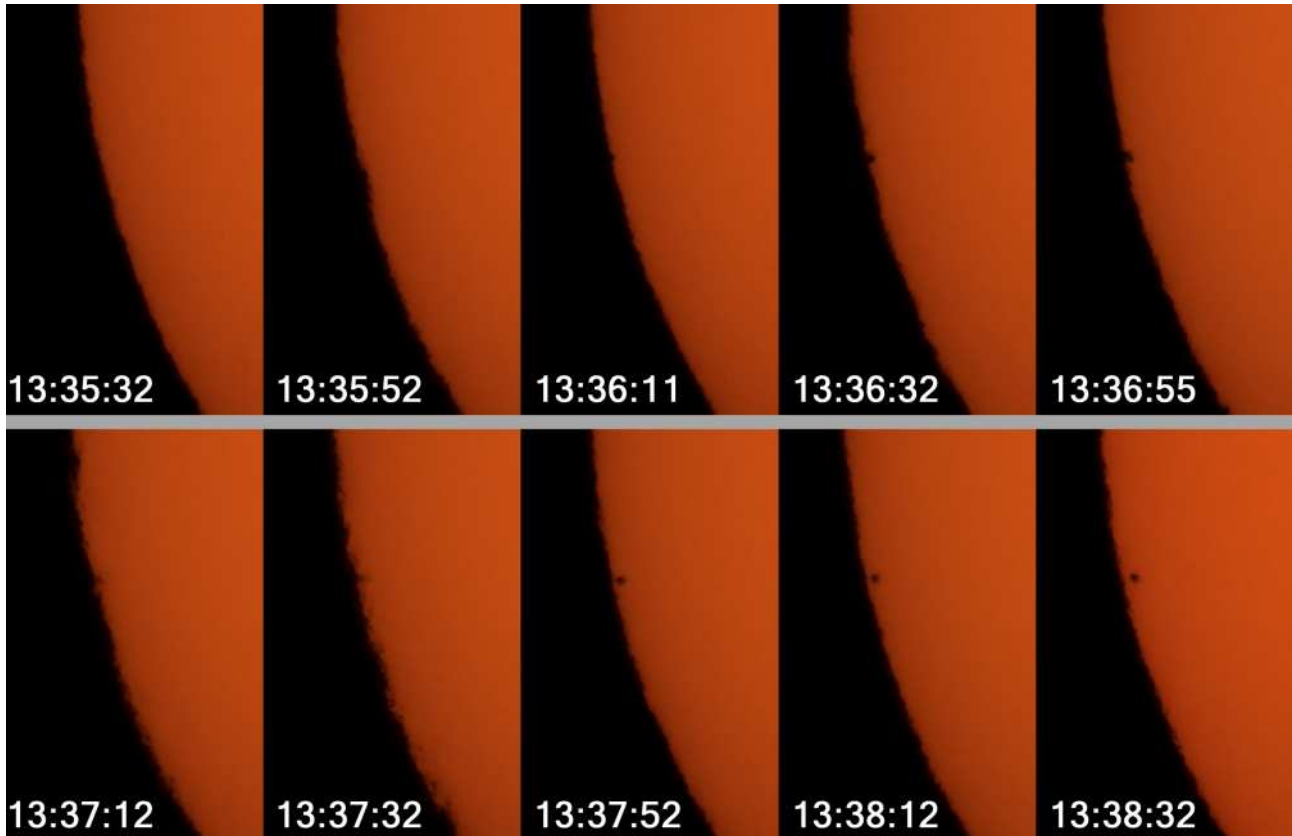
*Tabelle 2: Aufnahmezeiten für den Merkureintritt. Die Kamerazeit musste um 18 Sekunden korrigiert werden, um die tatsächliche Mitteleuropäische Zeit (MEZ) zu erhalten*



Grundsätzlich war es sehr schwierig den richtigen Fokus zu finden. Eine eindeutige Einstellung auf den Sonnenrand war leider nicht möglich, da dieser zu sehr waberte. Man konnte am Fokus drehen wie man wollte, es war kein scharfer Punkt auszumachen. Ich behelf mich dem Funkturm auf der Viktorshöhe. Dieser Turm ist von der Sternwarte aus etwa 12 Kilometer entfernt. Hier konnte man dann gut fokussieren, obwohl auch hier die Luft stark flimmerte. Am Nonius des Teleskop wurde ein Wert von 27,15 mm abgelesen für die exakte Scharfstellung.

*Abbildung 3a: Funkturm auf der Viktorshöhe, etwa 12 Kilometer entfernt, fotografiert durch den Zeiss-Cassegrain 150/2250*

Im Folgenden nun eine Auswahl der Bilder vom Eintritt. Die Kamera hatte immer 3 Sekunden Vorlaufzeit mit Spiegelvorauslösung. Die Belichtungsmessung war auf die Betriebsart „Spot“ gestellt und der Weißabgleich fest auf 5.600 K eingestellt. Letzteres hatte ich mir seit etwa einem Jahr angewöhnt, da die Automatik bei besonderen Situationen versagt. Im Notfall kann man dann immer noch den Farbabgleich später in einem Bildbearbeitungsprogramm verändern.



*Abbildung 4: Eintritt des Merkurs am Sonnenrand. Starke Luftunruhe verwischten die Merkurscheibe merklich, fast bis zur Unkenntlichkeit (Aufnahme 13:37:32 MEZ)*

Interessant sind die Aufnahmen um 13:37:12 und 13:37:32. Hier flimmerte die Luft so stark, dass der immerhin 10 Bogensekunden große Merkur fast nicht auszumachen ist. Man sieht die Luftunruhe auch sehr schön am Sonnenrand.

## **Der weitere Verlauf der Finsternis**

Bis 15:34 Uhr konnte der Merkurtransit beobachtet werden, zum Schluß allerdings immer nur durch Wolkenlücken. Die nächsten Bilder zeigen eine kleine Auswahl der weiteren Beobachtung.

Auch als die Wolkenbänder vor der Sonne durchliefen, war der kleine Merkur noch eindeutig auszumachen. Die Wolkenstrukturen gaben manchen Bildern noch das gewisse Etwas. Auf der Sternwarte liefen Bauarbeiten. Im Radio der Bauarbeiter, die gerade damit beschäftigt waren, die Decke für den Technikraum vorzubereiten, lief sogar ein Beitrag über den Merkurtransit. In einer kleinen Pause schauten sie sich das Ereignis durch unser großes Teleskop an. Ein Handyfoto war dank des genialen Handyhalters ebenfalls problemlos möglich. Allerdings zeigte es auch den ganzen Schmutz des Okulars. Eine kleine Retusche brachte dann aber ein vorzeigbares Resultat.





Abbildung 6: Sonne und Merkur um 14:34 Uhr , etwa 1 Stunde nach dem ersten Kontakt



Abbildung 5: Sonne und Merkur um 15:23 Uhr



Abbildung 7: Stefan macht ein Handyfoto, im Hintergrund das 300er Tele mit SFO 63



Abbildung 8: 15:12 Uhr



Abbildung 9: 15:34 Uhr



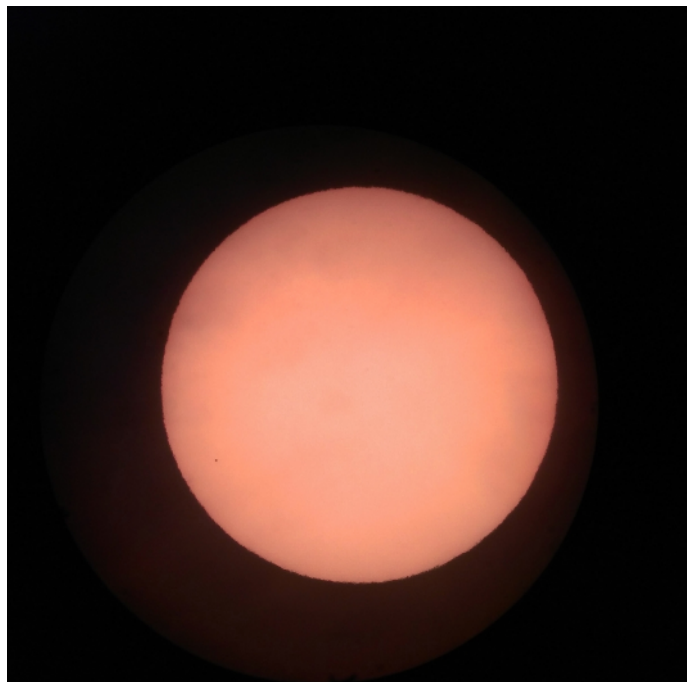
Abbildung 10: 15:35 Uhr



*Abbildung 11: Unsere einzigen Gäste bei der Beobachtung, die zur Zeit auf der Sternwarte tätigen Bauarbeiter der Firma LB Bau aus Quedlinburg*



*Abbildung 12: Ulrike und Hannjo bei der Beobachtung. Hannjo am Spezialinstrument, welches einen schärferen Blick versprach.*



*Abbildung 13: Handybild von Stefan Kunz um 14:05 Uhr, der Staub des Okulars wurde per Bildbearbeitung beseitigt*

## Bestimmung der Größe des Merkurs auf dem Chip

Ein weiteres Experiment war die Bestimmung der Größe des Merkurs bei verschiedenen Brennweiten auf dem fotografischen Chip. Dazu wurde die technischen Daten der digitalen Spiegelreflexkameras den Datenblättern entnommen.

Typ	Chip (mm)	Pixel	Summe (Mio.)
D300	23,6 x 15,8	4288 x 2848	12,3
D500	23,5 x 15,7	5568 x 3712	20,9
D7000	23,6 x 15,6	4928 x 3264	16,2
D7100	23,5 x 15,6	6000 x 4000	24,1
D7200	23,5 x 15,6	6000 x 4000	24,1
D700	36,0 x 23,9	4256 x 2832	12,1
D750	35,9 x 24,0	6016 x 4016	24,3
D810	35,9 x 24,0	7360 x 4912	36,3
D850	35,9 x 23,9	8256 x 5504	45,4

Tabelle 3: Pixelauflösungen von digitalen Spiegelreflexkameras (Nikon bis 2017)

Als nächstes wurde der Formel  $\text{Bildwinkel} = \arctan(d/(2 * f))$  der Bildwinkel bei verschiedenen Brennweiten bestimmt. D ist dabei die Höhe oder Breite des Chip und f die Brennweite des Objektivs. Beide Angaben sind dabei in Millimeter anzugeben. Danach ergibt sich folgende Tabelle:

Brennweite		180 mm	300 mm	600 mm	840 mm	2250 mm
		Bildwinkel (°)				
<b>FX-Format</b>	Horizontal (36 mm)	11,39	6,85	3,43	2,45	0,91
	Vertikal (24 mm)	7,63	4,58	2,29	1,64	0,61
<b>DX-Format</b>	Horizontal (24 mm)	7,50	4,50	2,25	1,61	0,60
	Vertikal (16 mm)	4,96	2,98	1,49	1,06	0,40

Tabelle 4: Bildwinkel bei verschiedenen Brennweiten und Aufnahmeformaten

Aus der Pixelzahl der verwendeten Kameras konnte nun eine Tabelle erzeugt werden, die für einen definierten Bildwinkel angibt, wieviel Pixel dieser Winkel auf dem Chip entspricht unter Berücksichtigung der entsprechenden Brennweite. Der übersichtlicher wurden in der nun folgende Tabelle nur die tatsächlich verwendeten Kameras und Brennweiten aufgeführt. Eine ausführliche Tabelle ist als Calc-Datei vorhanden.

Die vorletzte Spalte ist für die weitere Auswertung interessant. Der Merkur hat zum Zeitpunkt des Transits fast genau eine scheinbare Größe von 10 Bogensekunden. Aus der Tabelle läßt sich ableiten, dass das Merkurscheibchen bei 300 mm Brennweite und Verwendung der Nikon D7100 mit 3,7 Pixel Durchmesser auf dem Chip abgebildet wird. Ebenso ergibt sich zum Beispiel, daß bei der gleichen Brennweite mit der D750 der Merkur nur 2,4 Pixel groß erscheint. Hier ist also das DX-Format (24 x 16 mm) klar im Vorteil. Aus diesem Grund wurde auch die D750 an das Zeiss-Cassegrain 150/2250



angeschlossen. Nach der Tabelle ergibt sich hier ein Merkurdurchmesser von immerhin 18 Pixel. Zu beachten ist jedoch, dass diese Angaben berechnete theoretische Werte sind.

Kamera	Brennweite	Pixel pro Bildwinkel					
		1°	30′	1′	30″	10″	1″
<b>D7100</b>	180 mm	800,0	400,0	13,3	6,7	2,2	0,2
	300 mm	1333,3	666,7	22,2	11,1	3,7	0,4
	600 mm	2666,7	1333,3	44,4	22,2	7,4	0,7
	840 mm	3726,7	1863,4	62,1	31,1	10,4	1,0
	2250 mm	10000,0	5000,0	166,7	83,3	27,8	2,8
<b>D750</b>	180 mm	528,2	264,1	8,8	4,4	1,5	0,1
	300 mm	878,2	439,1	14,6	7,3	2,4	0,2
	600 mm	1753,9	877,0	29,2	14,6	4,9	0,5
	840 mm	2455,5	1227,8	40,9	20,5	6,8	0,7
	2250 mm	6611,0	3305,5	110,2	55,1	18,4	1,8

Tabelle 5: Pixel pro Winkelgröße für bestimmte Kamera/Objektivkombinationen

Um die Berechnungen zu überprüfen wurden nun die Bilder soweit vergrößert, dass die Pixel sichtbar wurden. Mit dem Meßwerkzeug wurden dann der Merkurdurchmesser bestimmt.

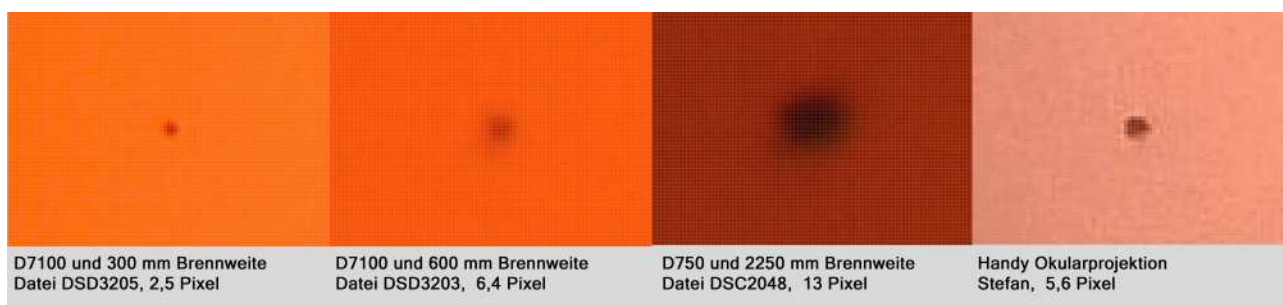


Abbildung 14: Auf 1600% vergrößerte, originale JPEG-Datei und daraus ermittelte Pixeldurchmesser der Merkurscheibe (siehe auch nächste Tabelle)

Kamera/Objektiv	Berechnete Größe	Gemessene Größe	Verhältnis
D7100 und 4/300	3,7 px	2,5 px	68 %
D7100 und 8/600	7,4 px	6,4 px	86 %
D750 und 15/2250	18,4 px	13 px	71 %

Tabelle 6: Ermittelte Pixeldurchmesser bei den verschiedenen Aufnahmekombinationen

Interessant ist auch das Handybild. Es zeigt die schönste Merkurscheibe, vermutlich jedoch ein Produkt intensiver handyinterner Bildbearbeitung. Dies zeigen auch die Artefakte, der sonst gleichmäßigen Sonnenoberfläche. Dennoch ist das Ergebnis ganz erstaunlich.



Die tatsächlich ermittelten Durchmesser weichen alle nach unten ab (siehe Verhältniszahl). Erstaunlich ist, dass das Merkurbild mit 300 mm Brennweite keine drei Pixel groß ist und dennoch auf den Bildern rundlich erscheint.

Damit dürften 180 mm Brennweite im DX-Format (24 x 16mm) eine untere sinnvolle Grenze für Merkurtransits darstellen. Die tatsächliche Größe würde sich dann bei etwa 2 Pixeln bewegen. Nach oben ist die Begrenzung das Auflösungsvermögen. Das Auflösungsvermögen kann überschlägig nach der Formel  $d = 115 / D$ , wobei sich das Auflösungsvermögen  $d$  in Bogensekunden ergibt, wenn man den Objektivdurchmesser  $D$  in Millimeter angibt.

Gerät	Auflösungsvermögen (Bogensekunden)
Telementor 63 mm	1,8
Nikon AF-S 4/300	1,5
Zeiss AS 100/1000	1,2
Zeiss Cassegrain 150/2250	0,8
C8 (200 mm)	0,6
C11 (280 mm)	0,4
C14 (356 mm)	0,3

*Tabelle 7: Auflösungsvermögen bestimmter Geräte*

Nach dieser Tabelle werden zwei Punkte gerade noch so getrennt, wenn sie den entsprechenden Winkelabstand haben.

Zum Merkurtransit ist die Scheibe des Merkur gerade einmal 10 Bogensekunden groß. Bei einem Auflösungsvermögen von zum Beispiel 0,8 Bogensekunden für das Cassegrain unter idealen Bedingungen (Luftruhe, Seeing) und angenommen 2,5 Pixeln Abstand für die höchste Auflösung ergibt sich eine maximale sinnvolle Größe der Merkurscheibe zu 31,25 Pixeln. Der berechnete Wert für 10" bei 2.250 mm Brennweite ergibt einen Durchmesser von 18 Pixeln.

Die Brennweite könnte für die Vollformatkamera D750 noch leicht erhöht werden (1,7 fach maximal). Zwar könnte man den Informationsgehalt noch leicht steigern, aber die Sonne würde man jedoch dann nicht mehr komplett abbilden können.

Für die DX-Format-Kamera D7100 ergibt sich ein Pixeldurchmesser von 27,8 Pixeln. Hier ist das maximale Auflösungsvermögen bereits erreicht. Mit anderen Worten eine weitere Vergrößerung der Brennweite, z.B. durch eine Barlowlinse, bringt keinen zusätzlichen Informationsgewinn.

## Die nächsten Merkurtransits

Nun ist für 13 Jahre erst einmal Ruhe mit den Durchgängen des Merkurs vor der Sonnenscheibe. Der nächste Transit wird am 13. November 2032 stattfinden, dann jedoch am Osthimmel bei Sonnenaufgang. Zu diesem Zeitpunkt bin ich 65 Jahre alt und werde definitiv das Rentnerdasein genießen, egal an welchen Stellschrauben die Regierung noch dreht (Renteneintrittsalter, Rentenhöhe usw.). Die folgende Tabelle gibt alle Merkurtransits in den Jahren 1950 bis 2100 wieder.

Transits	Beginn (UTC)	Mitte (UTC)	Ende (UTC)
14. November 1953	15:37	16:54	18:11
6. Mai 1957	23:59	01:14	02:30
7. November 1960	14:34	16:53	19:12
9. Mai 1970	04:19	08:16	12:13
10. November 1973	07:47	10:32	13:17
13. November 1986	01:43	04:07	06:31
6. November 1993	03:06	03:57	04:47
15. November 1999	21:15	21:41	22:07
7. Mai 2003	05:13	07:52	10:32
8. November 2006	19:12	21:41	00:10
9. Mai 2016	11:12	14:57	18:42
11. November 2019	12:35	15:20	18:04
13. November 2032	06:41	08:54	11:07
7. November 2039	07:17	08:46	10:15
7. Mai 2049	11:04	14:24	17:45
9. November 2052	23:53	02:29	05:06
10. Mai 2062	18:16	21:36	00:57
11. November 2065	17:24	20:06	22:48
14. November 2078	11:42	13:41	15:39
7. November 2085	11:42	13:34	15:26
8. Mai 2095	17:20	21:05	00:50
10. November 2098	04:35	07:16	09:57

*Tabelle 8: Die nächsten Merkurdurchgänge (Quelle: Wikipedia)*

## Quintessenz

Die Beobachtung des zentralsten Merkurdurchgang im 21. Jahrhundert (nur 7% Sonnenradius vom Sonnenmittelpunkt entfernt) war ein großer Erfolg.

Die Luftunruhe vermag es 10 Bogensekunden große Objekte fast komplett zu verwischen und damit quasi unsichtbar zu machen.

Aktuelle DX-Format-Kameras am Zeiss-Cassegrain übertragen den kompletten Informationsgehalt, d.h. eine weitere Brennweitensteigerung bringt nichts.