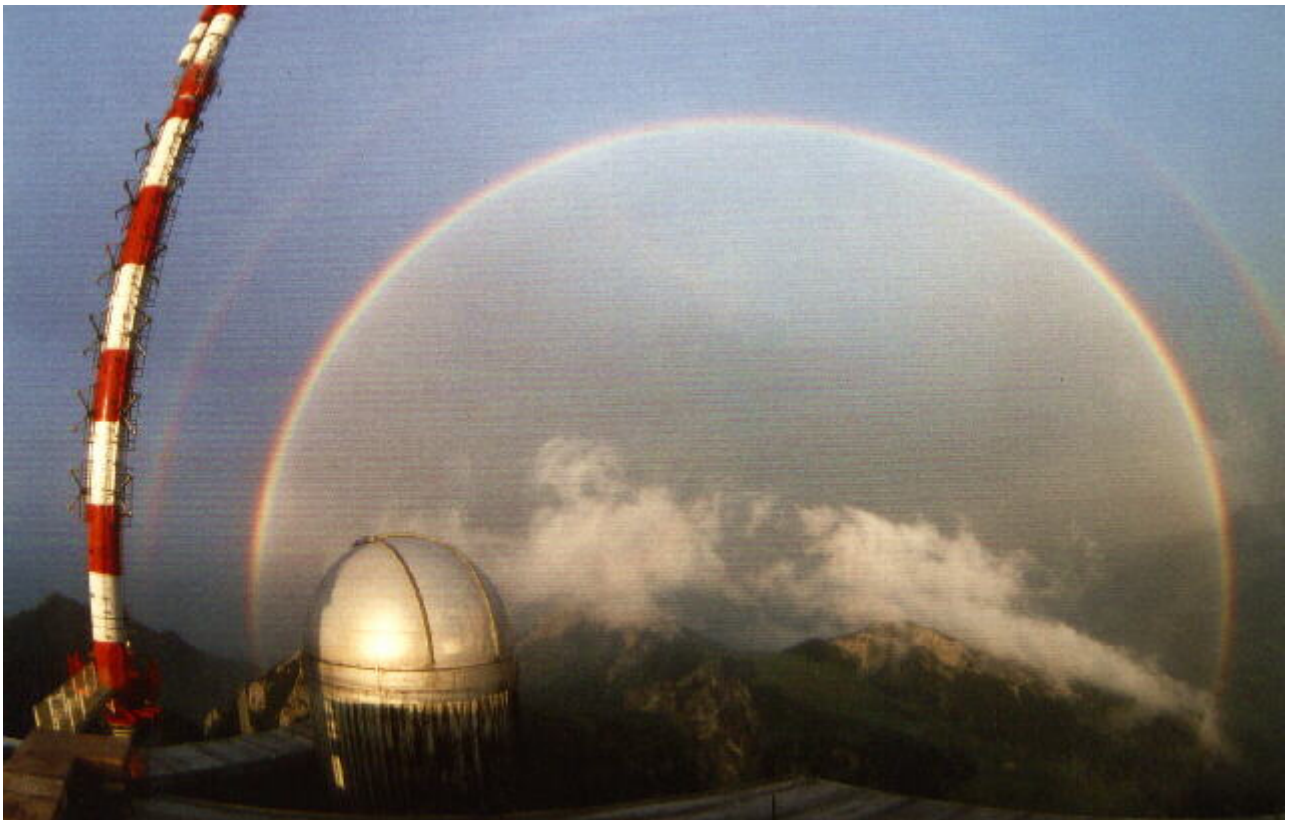

METEOROS

ISSN 1435-0424

Jahrgang 13

Nr. 9 / 2010



Mitteilungsblatt des Arbeitskreises Meteore e. V.
über Meteore, Meteorite, leuchtende Nachtwolken, Halos, Polarlichter
und andere atmosphärische Erscheinungen

Aus dem Inhalt:	Seite
Visuelle Meteorbeobachtungen im Juli 2010	174
Einsatzzeiten der Kameras im IMO Video Meteor Network.....	176
Hinweise für den visuellen Meteorbeobachter im Oktober 2010	181
Die Halos im Juni 2010	182
Regenbögen – Teil 1: Der tertiäre Regenbogen.....	186
Summary, Titelbild, Impressum.....	198

Visuelle Meteorbeobachtungen im Juli 2010

Jürgen Rendtel, Eschenweg 16, 14476 Marquardt

Juergen.Rendtel@meteoros.de

Beobachter im Juli 2010		T_{eff} [h]	Nächte	Meteore
BADPI	Pierre Bader, Viernau	14.10	8	145
GERCH	Christoph Gerber, Heidelberg	17.21	11	85
NATSV	Sven Näther, Wilhelmshorst	28.25	12	300
RENJU	Jürgen Rendtel, Marquardt	15.50	8	164
SCHSJ	Sergei Schmalz, Wiesbaden	7.50	4	21

Dt	T_A	T_E	λ_{\odot}	T_{eff}	m_{gr}	$\sum n$	Ströme/sporadische Meteore							Beob.	Ort	Meth./ Int.	
							ANT	JPE	CAP	PER	SDA	PAU	SPO				
Juli 2010																	
03	2120	2235	101.73	1.10	6.00	10	0	0						10	BADPI	16151	P
06	2142	2335	104.60	1.81	6.15	18	2	1						15	NATSV	11149	P
07	2145	2342	105.56	1.95	6.08	19	3	0	0					16	NATSV	11149	P
07	2218	0003	105.57	1.75	6.18	14	2	-	2					10	RENJU	11152	C
08	2238	0026	106.54	1.80	6.18	16	3	2	1					10	RENJU	11152	C
08	2245	0025	106.54	1.60	6.12	17	2	1	1					13	NATSV	11149	P
08	2248	0053	106.55	2.08	6.05	15	2	3	1					9	GERCH	16131	P, 2
09	2130	2350	107.46	2.20	6.15	18	3	-	3					12	BADPI	16151	P, 2
09	2138	2348	107.46	2.08	6.12	19	3	0	0					16	NATSV	11149	P
09	2240	0012	107.48	1.50	5.80	4	0	1	0					3	GERCH	16131	P ⁽¹⁾
10	2140	0042	108.44	2.91	6.15	29	4	0	1					24	NATSV	11149	P
10	2145	0015	108.44	2.00	6.08	18	3	-	0					15	BADPI	16151	P, 2
11	2150	0055	109.39	2.95	6.16	30	5	0	2					23	NATSV	11149	P
12	0024	0140	109.46	1.26	5.75	5	1	0	0					4	GERCH	16131	P
12	2250	0004	110.37	1.20	6.05	6	1	0	0	2	1			3	GERCH	16131	P
13	2200	0100	111.31	2.87	6.18	30	4	1	1					24	NATSV	11149	P
13	2233	0039	111.32	2.10	6.19	27	3	-	2	6	1			15	RENJU	11152	C, 2
13	2257	0030	111.33	1.50	6.05	10	1	0	0	2	3			4	GERCH	16131	P
15	2215	0030	113.21	2.15	6.18	23	3		1	1	0			18	NATSV	11149	P
15	2233	0039	113.22	2.10	6.21	22	2		4	4	3	0		9	RENJU	11152	C, 2
16	2050	2205	114.09	1.10	6.05	9	3		1	2	0	0		4	BADPI	16151	P
17	2332	0120	115.16	1.70	6.05	21	3		2	1	0	0		15	BADPI	16151	P
17	2325	0135	115.16	2.00	5.78	13	0		4	1	0	0		8	GERCH	16131	P, 2
18	2137	2345	116.04	2.00	6.27	21	1		3	1	1	0		15	BADPI	16151	P, 2
18	2220	0055	116.08	2.45	6.23	30	4		1	2	1	0		22	NATSV	11149	P
18	2225	2311	116.06	0.67	5.55	3	0		0	0	1	0		2	GERCH	16131	P
18	2230	0045	116.08	2.25	6.23	24	3		0	6	3	0		12	RENJU	11152	C, 2
18	2330	0030	116.07	1.00	5.00	3	-		-	2	-	-		1	SCHSJ	16036	C
19	2232	0026	117.03	1.90	6.00	11	1		2	1	0	-		7	GERCH	16131	P, 2
19	2235	0050	117.05	2.16	6.17	21	2		0	2	0	0		17	NATSV	11149	P
19	2237	0046	117.05	2.00	6.28	27	3		2	4	3	0		15	BADPI	16151	P, 2
19	2240	0049	117.05	2.15	6.27	24	2		2	2	1	0		17	RENJU	11152	C, 2
20	0010	0110	117.07	1.00	5.00	2	-		-	0	-	-		2	SCHSJ	16036	C
20	2225	0032	117.99	2.10	5.90	11	1		1	0	0	-		9	GERCH	16131	P, 2
20	2250	0055	118.00	2.00	6.40	21	2		4	1	0	0		14	BADPI	16151	P, 2
20	2255	0150	118.02	2.76	6.20	36	3		2	4	2	1		24	NATSV	11149	P
20	2306	0056	118.00	1.85	6.17	19	2		1	7	2	0		7	RENJU	11152	C, 2
21	2302	0143	118.98	2.56	6.18	28	2		1	4	1	0		20	NATSV	11149	P
21	2336	0106	118.98	1.50	6.13	18	3		1	5	3	0		6	RENJU	11152	C
25	0015	0215	121.88	2.00	4.65	5	-		-	4	-	-		1	SCHSJ	16036	C ⁽²⁾
26	0137	V o l l m o n d															
30	2153	2311	127.50	1.00	5.55	3	0		0	3	0	-		9	GERCH	16131	P
30	2145	0145	127.55	3.50	4.79	11	-		-	5	-	-		6	SCHSJ	16036	C
31	2119	2226	128.43	1.00	5.90	4	0		1	1	0	-		2	GERCH	16131	P

⁽¹⁾ $c_F = 1.50$

⁽²⁾ $c_F = 1.02$

Dieser oft wolkenarme Sommermonat bot verbreitet recht gute Beobachtungsbedingungen. Die Vollmondzeit gegen Monatsende beeinträchtigte natürlich die Sicht während der Zeit mit etwas höherer Aktivität, wenn die Perseiden (PER) langsam auffallen und die Quellen im Bereich von Capricornus und Aquarius (CAP, SDA, ANT) zu insgesamt ordentlichen Raten beitragen. Am 18./19. und 19./20. waren alle fünf beteiligten Beobachter aktiv, und durch die guten Bedingungen konnte der Beginn der Perseidenaktivität gut dokumentiert werden.

Vor der Monatsmitte konnten Meteore der erst in jüngerer Zeit aus der Arbeitsliste der Meteorströme gestrichenen Juli-Pegasiden (JPE) gesehen werden, die auch in den Videodaten der vergangenen elf Jahre in Erscheinung treten (siehe dazu den ausführlichen Beitrag von Sirko Molau und Jürgen Rendtel in der IMO-Zeitschrift WGN vom August 2009 wie auch den kurz davor in WGN erschienenen Bericht von Sonota-Co zu Meteororbits aus Videodaten). Gab es nur zu wenige visuelle Beobachtungen jeweils aus der zweiten Nachthälfte oder waren die Raten 2010 wieder merklicher? Da die Videodaten der letzten Jahre den Radianten zweifelsfrei zeigen, ist dies wenig wahrscheinlich. Vielleicht waren auch nur zu wenige Nächte in der fraglichen Zeit wolkenfrei. Da der Radiant nicht weit vom Apex entfernt ist, geben die kurzen Julinächte auch nur ein schmales Beobachtungsfenster zum Morgen frei.

Bis Anfang Juli wären auch noch ein späte Juni-Bootiden möglich gewesen, aber die erste Beobachtung des Monats fand in diesem Jahr erst am 3. statt – zu spät.

Im Juli 2010 notierten fünf Beobachter innerhalb von 82.56 Stunden in 19 (!) Nächten Daten von insgesamt 715 Meteoren. Damit gehört der Juli 2010 zu den "besseren" Julimonaten der letzten zehn Jahre und es wurde fast das Ergebnis des Rekordjulis von 2006 erreicht (85.6 Stunden). Hinsichtlich der Meteoranzahl waren allerdings die letzten zwei Jahre ertragreicher – die nutzbaren Nächte lagen dann vorzugsweise in der letzten Dekade.

Wie immer werden die Beobachtungen in der Nacht des Monatswechsels komplett dem (ab-)laufenden Monat zugerechnet.

Berücksichtigte Ströme:

ANT	Antihelion-Quelle	1. 1.–24. 9.
CAP	α -Capricorniden	3. 7.–19. 8.
JPE	Juli-Pegasiden	7. 7.–13. 7.
PAU	Pisces Austriniden	15. 7.–10. 8.
PER	Perseiden	17. 7.–24. 8.
SDA	Südliche δ -Aquariiden	12. 7.–19. 8.
SPO	Sporadisch (keinem Rad. zugeordnet)	

Beobachtungsorte:

11149	Wilhelmshorst, Brandenburg (13°4'E; 52°20'N)
11152	Marquardt, Brandenburg (12°57'50"E; 52°27'34"N)
16036	Wiesbaden, Hessen (8°14' E; 50°5' N)
16103	Heidelberg, Baden-Württemberg (8°39'E; 49°26'N)
16151	Winterhausen, Bayern (9°57'E; 49°50'N)

Erklärungen zur Übersichtstabelle visueller Meteorbeobachtungen:

Dt	Datum des Beobachtungsbeginns (UT); hier nach T _A sortiert
T _A , T _E	Anfang und Ende der (gesamten) Beobachtung; UT
λ_{\odot}	Länge der Sonne auf der Ekliptik (2000.0) zur Mitte des Intervalls
T _{eff}	effektive Beobachtungsdauer (h)
m _{gr}	mittlere Grenzhelligkeit im Beobachtungsfeld
$\sum n$	Anzahl der insgesamt beobachteten Meteore
Ströme/spor. Met.	Anzahl der Meteore der angegebenen Ströme bzw. der sporadischen Meteore
	Strom nicht bearbeitet: – (z.B. Meteore nicht zugeordnet beim Zählen)
	Radiant unter dem Horizont: /
	Strom nicht aktiv: Spalte leer
Beob.	Code des Beobachters (IMO-Code)
Ort	Beobachtungsort (IMO-Code)
Meth.	Beobachtungsmethode. Die wichtigsten sind: P = Karteneintragungen (Plotting) und C = Zählungen (Counting)
	P/C = Zählung (großer Strom) kombiniert mit Bahneintragung (andere Ströme)
Int.	Anzahl der Intervalle (falls mehr als eins)

Einsatzzeiten der Kameras im IMO Video Meteor Network, Juli 2010

von Sirko Molau, Abenstalstr. 13b, 84072 Seysdorf

Sirko.Molau@meteoros.de

1. Beobachterübersicht

Code	Name	Ort	Kamera	Feld	Grenzgr.	Nächte	Zeit	Meteore	
BENOR	Benitez-S.	Las Palmas	TIMES4 (1.4/50)	Ø 20°	3 mag	10	17.5	50	
BRIBE	Brinkmann	Herne	HERMINE (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	24	87.3	303	
CRIST	Crivello	Valbrevenna	C3P8 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	28	132.5	613	
			STG38 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	31	124.3	436	
ELTMA	Eltri	Venezia	MET38 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	22	102.5	434	
GONRU	Goncalves	Tomar	TEMPLAR1 (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	28	157.8	917	
			TEMPLAR2 (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	28	102.0	424	
GOVMI	Govedic	Sredisce ob Dravi	ORION2 (0.8/8)	Ø 42°	4 mag	17	62.8	240	
HERCA	Hergenrother	Tucson	SALSA2 (1.2/4)	Ø 80°	3 mag	18	38.9	116	
HINWO	Hinz	Brannenburg	AKM2 (0.85/25)	Ø 32°	6 mag	14	55.8	217	
IGAAN	Igaz	Budapest	HUPOL (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	22	67.2	192	
JOBKL	Jobse	Oostkapelle	BETSY2 (1.2/85)	Ø 25°	7 mag	13	49.6	626	
KACJA	Kac	Kostanjevec	METKA (0.8/8)	Ø 42°	4 mag	1	0.3	1	
			Ljubljana	ORION1 (0.8/8)	Ø 42°	4 mag	22	79.2	254
			Kamnik	REZIKA (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	12	60.0	336
			STEFKA (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	14	52.6	239	
			Glenlee	GOCAM1 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	23	197.4	1797
MOLSI	Molau	Seysdorf	AVIS2 (1.4/50)	Ø 60°	6 mag	18	76.7	855	
			MINCAM1 (0.8/8)	Ø 42°	4 mag	22	91.5	377	
			Ketzür	REMO1 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	25	82.0	239
			REMO2 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	26	97.6	410	
MORJO	Morvai	Fülöpszallas	HUFUL (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	10	35.0	79	
OCHPA	Ochner	Albiano	ALBIANO (1.2/4.5)	Ø 68°	3 mag	2	7.3	15	
PERCZ	Perko	Becsehely	HUBEC (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	5	25.5	92	
ROBBI	Roberto	Verona	FIAMENE (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	5	20.9	93	
ROTEC	Rothenberg	Berlin	ARMEFA (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	16	53.6	209	
SCHHA	Schremmer	Niederkrüchten	DORAEMON (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	26	73.0	211	
SLAST	Slavec	Ljubljana	KAYAK1 (1.8/28)	Ø 50°	4 mag	18	63.1	188	
STOEN	Stomeo	Scorze	MIN38 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	22	124.5	801	
			NOA38 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	21	121.7	799	
			SCO38 (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	21	122.0	973	
			Herford	MINCAM2 (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	11	24.8	71
STRJO	Strunk	Herford	MINCAM3 (0.8/8)	Ø 42°	4 mag	15	38.2	129	
			MINCAM5 (0.8/6)	Ø 55°	3 mag	13	34.6	135	
			Budapest	HUMOB (0.8/3.8)	Ø 80°	3 mag	23	96.4	411
Summe						31	2576.1	13282	

2. Übersicht Einsatzzeiten (h)

Juli	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
BRIBE	3.4	4.0	1.2	5.9	3.0	6.0	1.2	5.2	1.9	2.4	0.8	1.5	2.6	4.0	5.7
HINWO	2.2	4.0	2.5	-	-	-	4.7	5.1	5.2	0.6	4.2	-	4.6	0.5	-
MOLSI	4.5	4.6	3.0	-	2.8	3.1	4.8	4.8	4.8	4.9	3.1	-	5.0	-	4.6
	3.0	4.3	3.5	2.9	1.8	3.0	4.2	5.8	5.8	5.9	2.5	-	6.0	-	5.6
ROTEC	2.7	4.4	2.6	-	-	1.8	1.6	3.2	2.6	2.4	1.4	-	4.9	0.8	3.5
	0.8	4.4	3.3	0.2	-	4.6	1.9	4.7	4.7	4.8	2.8	-	4.9	1.2	5.0
	3.1	4.5	3.1	-	-	3.1	4.7	4.7	3.4	-	-	0.2	5.0	0.5	0.5
SCHHA	3.2	2.1	0.3	5.1	0.9	3.8	-	2.7	0.6	-	0.3	2.5	3.6	4.0	3.0
STRJO	-	0.9	-	1.1	-	3.2	-	4.0	1.6	1.0	2.4	-	2.0	-	4.3
	1.7	2.4	0.3	2.7	-	2.6	-	3.1	3.3	3.0	2.4	-	3.2	-	3.6
	-	3.8	-	2.5	0.4	3.9	-	4.0	1.6	2.4	4.2	0.6	2.8	-	3.6
Summe	60.4	93.8	86.7	63.2	57.9	82.3	87.2	126.2	119.8	102.8	91.0	73.8	77.0	70.3	101.9

Juli	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
BRIBE	4.5	6.4	6.5	5.9	5.8	0.3	2.6	1.5	5.0	-	-	-	-	-	-	-
HINWO	-	-	-	5.5	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.9	6.2
MOLSI	-	-	5.3	4.3	5.4	4.3	-	-	-	2.7	-	-	-	-	-	4.7
	-	-	6.2	6.3	4.7	3.6	-	-	2.5	3.0	-	1.6	2.5	-	6.8	-
	1.4	1.4	4.0	3.8	5.3	4.2	-	-	1.9	4.6	2.9	5.7	5.8	4.3	4.8	-
	2.0	1.9	5.2	5.3	5.3	5.4	-	-	1.0	3.5	3.4	5.7	3.8	5.9	5.9	-
ROTEC	-	0.4	5.3	4.3	5.4	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCHHA	2.7	4.6	2.3	4.2	1.1	-	3.0	1.4	5.6	-	1.3	-	2.1	1.6	7.2	3.8
STRJO	0.5	3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.3	2.5	3.9	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	90.0	82.0	106.8	105.6	111.0	115.6	96.6	40.8	73.3	44.3	54.9	76.5	46.0	43.9	96.6	97.9

3. Ergebnisübersicht (Meteore)

Juli	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
BRIBE	12	9	1	16	11	17	5	16	2	7	5	7	5	9	25
HINWO	2	5	5	-	-	-	18	15	11	1	6	-	11	2	-
MOLSI	25	36	19	-	29	13	87	79	54	44	14	-	71	-	58
	8	16	4	3	7	8	26	30	19	15	6	-	22	-	20
	4	7	8	-	-	12	4	11	5	8	3	-	17	2	9
	2	16	11	1	-	13	10	15	11	19	11	-	23	2	31
ROTEC	10	11	21	-	-	18	15	7	11	-	-	1	12	3	5
SCHHA	7	5	1	19	2	13	-	8	3	-	1	14	8	11	9
STRJO	-	2	-	2	-	11	-	7	4	5	6	-	5	-	16
	6	8	3	6	-	7	-	6	11	8	8	-	9	-	14
	-	11	-	8	2	17	-	11	5	7	17	1	12	-	13
Summe	189	278	393	210	257	283	454	600	623	468	376	361	354	269	595

Juli	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
BRIBE	15	19	32	24	19	1	10	6	30	-	-	-	-	-	-	-
HINWO	-	-	-	36	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	36
MOLSI	-	-	56	57	72	59	-	-	-	11	-	-	-	-	-	71
	-	-	29	38	33	13	-	-	4	10	-	13	15	-	38	-
	5	2	12	13	14	17	-	-	6	10	9	10	24	16	11	-
	10	8	23	27	32	23	-	-	5	9	15	32	5	32	24	-
ROTEC	-	2	31	19	23	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCHHA	4	17	12	14	5	-	7	3	9	-	3	-	4	5	12	15
STRJO	2	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	14	16	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	481	404	553	606	627	627	513	267	454	192	336	479	187	289	703	854

Im Juli setzte sich das gute Beobachtungswetter aus dem Vormonat weitestgehend fort. So ist es nicht verwunderlich, dass wieder 17 Kameras auf über zwanzig Beobachtungsnächte kamen. Stefano Crivello konnte mit seiner Kamera STG38 sogar alle Nächte nutzen. In Summe verfehlten wir mit fast 2.600 Beobachtungsstunden und über 13.000 Meteoren das Rekordergebnis des Vorjahres nur knapp. Allerdings fehlen auch noch die Daten von drei Kameras.

Wie gewohnt stieg die Meteoraktivität zur Monatsmitte drastisch an. Die stetig länger werdenden Nächte vereint mit der aufkommenden Perseidenaktivität sowie den südlichen Meteorströmen sorgten für eine steigende Ausbeute an Meteoren. Das Monatsmittel stieg von 3,4 Meteoren pro Stunde im Juni auf 5,2 im Juli an. Besonders erfolgreich war zum wiederholten Mal unser australischer Beobachter Steve Kerr. In den letzten Juli- und den ersten Augusttagen konnte er mehr südliche δ -Aquariiden aufzeichnen als viele europäische Beobachter Mitte August an Perseiden!

Erneut konnten wir eine neue Kamera in das Netzwerk integrieren. HUBEC (eine Mintron-Kamera mit 3,8 mm f/0,8 Objektiv) wird von zwei Mitgliedern der Nagykanizsa Astronomical Association südwestlich des Balaton betrieben und vervollständigt das ungarische Kameranetz weiter.

Wiederum vermeldeten zwei Beobachter ungewöhnliche Meteoraktivität. Den Anfang machte Christoph Gerber, der während seiner visuellen Beobachtung am 8./9. Juli eine hohe Zahl von Juli-Pegasiden bemerkte. Wenige Tage später notierte Enrico Stomeo, dass die Perseiden in den Daten der italienischen Videometeorkameras vom 14./15. bis 16./17. Juli überraschend aktiv waren – in der Folgenacht wurden sie hingegen kaum noch wahrgenommen.

Zur Überprüfung dieser Beobachtungen wurde in gewohnter Weise die Zahl der Strommeteore pro Nacht über alle Kameras summiert und durch die Zahl der sporadischen Meteore geteilt. Um vor allem die Rate an den Rändern der Aktivitätsintervalle zu prüfen, wurde zuvor bei der Neuberechnung der Stromzuordnung so getan, als ob alle relevanten Ströme im kompletten Monat Juli aktiv sind. Zudem wurden die Beobachtung von Steve Kerr aus dieser Analyse ausgenommen, weil durch ihn das Profil der SDA zu stark beeinflusst wird. Das Ergebnis ist in Abbildung 1 zu sehen. Neben den einzelnen Strömen wird im Hintergrund die Zahl der sporadischen Meteore dargestellt, um den Umfang des Datenmaterials für jede Nacht zu dokumentieren.

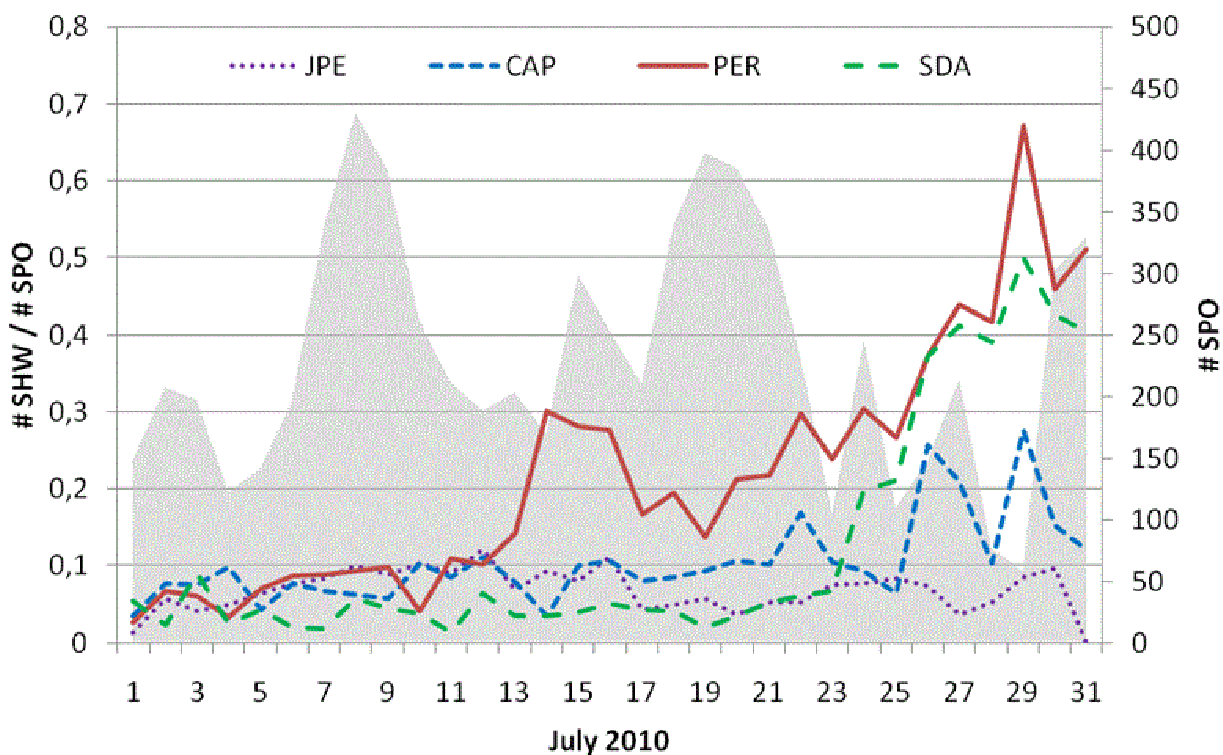


Abbildung 1: Aktivitätsprofile der Juli-Pegasiden, α -Capricorniden, Perseiden und südlichen delta-Aquariiden im Juli 2010. Dargestellt ist jeweils die Zahl der Strommeteore pro Nacht, geteilt durch die Zahl der sporadischen Meteore. Im Hintergrund ist die absolute Anzahl an sporadischen Meteoren angegeben.

Alle vier untersuchten Ströme zeigten in den ersten Tagen eine Aktivität um 0,05. Die letzten Auswertungen haben gezeigt, dass dies etwa dem sporadischen Hintergrund (also den sporadischen Meteoren, die zufällig zum Meteorstromradianten passen) entspricht, die Ströme zu dieser Zeit also nicht aktiv waren.

Die Juli-Pegasiden sind nach unserer Langzeitanalyse vom vergangenen Jahr zwischen dem 7. und 29. Juli aktiv. Ihr Aktivitätsprofil zeigt über den gesamten Zeitraum hinweg nur wenig Variationen, so dass das Maximum am 10. Juli kaum hervortritt. In diesem Jahr hoben sich die Juli-Pegasiden etwa ab dem 8. Juli schwach vom Hintergrund ab und blieben bis zum 16. Juli bei konstant geringer Rate aktiv. Eine erhöhte Rate in der Nacht vom 8./9. Juli ist nicht erkennbar.

Als nächstes wurden ab etwa dem 10. Juli die α -Capricorniden nachweisbar. Auch ihr Aktivitätsniveau blieb bis zum 20. Juli sehr gering. Erst vom 26. bis 28. Juli nahm die Zahl der Capricorniden merklich zu. Das passt gut zu dem Maximum aus der letztjährigen Meteorstromanalyse (28. Juli). Der erneute Anstieg am 29./30. Juli könnte durch unzureichendes Datenmaterial vorgetäuscht werden, da auch die Perseiden und Aquariiden an diesem Tag ungewöhnlich hohe Raten zeigen.

Die Perseiden waren etwa ab dem 11./12. Juli aktiv. Das ist etwas früher als bei unser letztjährigen Analyse, wo wir den Beginn auf den 14. Juli festgesetzt haben. Wie bereits von Enrico vermerkt, war die Rate in den drei Nächten vom 14./15. bis 16./17. Juli ungewöhnlich hoch – die Perseidenzahl war in dieser Zeit etwa um einen Faktor zwei höher. Zieht man dann noch den sporadischen Hintergrund in Betracht, so dürfte das Aktivitätsniveau sogar um einen Faktor drei über dem üblichen Niveau gelegen haben. In den Folgenächten fiel die Perseidenrate wieder auf das normale Level zurück und erreicht dasselbe Niveau erst zwischen dem 22. und 26. Juli. Da das Datenmaterial in allen Nächten sehr umfangreich ist, können wir davon ausgehen, dass der beobachtete Anstieg real war. Es ist sicherlich eine reizvolle Aufgabe für die Theoretiker, nach einer möglichen Ursache für diesen Peak zu Beginn des Aktivitätsintervalls zu suchen.

Die südlichen δ -Aquariiden konnten schließlich in der nördlichen Hemisphäre zum ersten Mal am 24./25. Juli deutlich wahrgenommen werden. Ihre Aktivität stieg in den Folgetagen stark an – rein zahlenmäßig waren die Aquariiden den Perseiden am Monatsende ebenbürtig. Aufgrund der südlichen Lage sind die SDA von der nördlichen Hemisphäre jedoch viel schlechter zu beobachten, so dass ihre ZHR sogar mehr als doppelt so hoch wie die der Perseiden war. Das Maximum der südlichen δ -Aquariiden tritt laut unserer Langzeitanalyse am 30. Juli auf – das genaue Datum ließ sich aus den diesjährigen Daten aufgrund der geringen Meteorzahlen am 28./29. und 29./30. Juli jedoch nicht ableiten.

Wie bereits erwähnt, zeichnen sich die südlichen δ -Aquariiden in den australischen Daten von Steve Kerr noch viel markanter ab. So konnte Steve zum Beispiel am 31. Juli 86 Meteore dieses Strom aufzeichnen, bei 63 sporadischen Meteoren und nur zwei Perseiden. Um die Daten von Nord- und Südhalbkugel sinnvoll zu kombinieren, muss die Beobachtungsgeometrie in Betracht gezogen werden. Bei der Ableitung der Aktivitätsprofile, die wir im letzten Jahr vorgestellt haben, wird dazu die „Observability Function“ benutzt. Sie drückt aus, wie lange der Meteorstromradiant an einem Beobachtungsort wie hoch über dem Horizont steht. Die finale Normierung der Meteorzahlen erfolgte jedoch letztlich auch in diesem Fall über die Zahl der sporadischen Meteore, weil bei der Analyse weder die effektive Beobachtungszeit noch die Grenzgröße, das Gesichtsfeld und andere grundlegende Kameraparameter bekannt sind. Um zukünftig bessere Analysemöglichkeiten zu haben, wurde MetRec im Juni um zwei wichtige Funktionen erweitert.

Zum einen berechnet die Software jetzt im Minutentakt die mittlere Grenzgröße im aktiven Gesichtsfeld und speichert sie in einem extra Textfile ab. Während wir bisher oftmals nur anhand längerer Lücken ohne Meteor detektion auf eine zeitweise Bewölkung schließen konnten, liegt nun für jede Nacht ein detailliertes Grenzgrößenprofil vor, bei dem man auch klar erkennen kann, wenn die Beobachtungsbedingungen sich zeitweise verschlechtert haben oder der Himmel komplett bewölkt war.

In einem zweiten Schritt wird dann die Sammelfläche (Collection Area) für jede Kamera bestimmt. Dazu wird zunächst das effektive Gesichtsfeld in Quadratgrad berechnet, und daraus die in der Meteorebene in 85 km Höhe abgedeckte atmosphärische Fläche in Quadratkilometern. Dieser Wert wird noch um die Entfernung (absolute Helligkeit) und um die Extinktion korrigiert: Je tiefer die Kamera zum Horizont schaut, desto größer ist zwar das abgedeckte atmosphärische Volumen – aber desto weiter weg und damit schwächer sind auch die Meteore. Durch das größere atmosphärische Volumen wird die Helligkeit zusätzlich abgeschwächt. Kombiniert man nun die korrigierte Sammelfläche mit der Grenzgröße der Kamera (wobei für den Populationsindex ein fester Wert von $r=2,5$ angenommen wird) und der Beobachtungszeit, so erhält man die effektive Sammelfläche (Effective Collection Area). Dieser Wert hat die Einheit $\text{km}^2 \times \text{h} / r^{(6,5-\text{mag})}$ und spiegelt die Leistungsfähigkeit einer Meteorkamera viel besser wieder als die reine effektive Beobachtungszeit. Der Einfachheit halber wird in der Folge nur $\text{km}^2 \times \text{h}$ als Einheit angegeben.

Zur Demonstration vergleichen wir einmal die Juliergebnisse von zwei verschiedenen Meteorkameras. Die eine Kamera ist die bildverstärkte Kamera AVIS2 mit einem 50 mm f/1,4 Objektiv. Sie hat ein rundes Gesichtsfeld von ca. 60° Durchmesser und erreicht eine Grenzgröße von 6 mag. Sie beobachtet nördlich des Zenits und deckt eine Fläche von knapp 1.800 Quadratgrad bzw. gut 6.100 Quadratkilometern ab. Korrigiert man diesen Wert um den Abstand der Meteorebene und die Extinktion, reduziert sich die effektive Sammelfläche auf 4.400.

Die zweite Kamera ist die altersschwache Mintron-Kamera MINCAM1, die mit einem 12 mm f/0,8 Objektiv ausgerüstet ist und damit auf eine Grenzgröße von gut 4,5 mag kommt. Diese Kamera deckt ein Gesichtsfeld von knapp 1.500 Quadratgrad ab. Da sie deutlich tiefer in südöstlicher Richtung schaut, ergibt sich eine überwachte Fläche von über 42.000 Quadratkilometern, die sich nach Korrektur der Entfernung und Extinktion auf 5.400 reduziert.

Nehmen wir nun die Daten vom 31. Juli: Die effektive Beobachtungszeit von AVIS2 betrug 4,7 Stunden, in denen 71 Meteore aufgezeichnet wurden. Die effektive Sammelfläche betrug im Laufe der Nacht gut 8.100 km² x h. MINCAM1 konnte immerhin 6,8 Stunden beobachten – zeichnete in dieser Zeit aber nur 45 Meteore auf. Warum? Weil die effektive Sammelfläche nur gut 6.000 km² x h betrug.

Abbildung 2 stellt den Quotienten aus der Zahl der Meteore und der effektiven Beobachtungszeit für beide Kameras im gesamten Monat Juli dar. Erwartungsgemäß zeichnete AVIS2 deutlich mehr Meteore pro Stunde auf als MINCAM1. Zudem schwankte die stündliche Rate von Nacht zu Nacht aufgrund der unterschiedlichen Beobachtungsbedingungen recht stark. In Abbildung 3 wird die Zahl der Meteore hingegen durch die effektive Sammelfläche geteilt. Hier liegen beide Kameras im Mittel gleichauf, und die Schwankungsbreite von Tag zu Tag ist merklich geringer. In Summe betrug die effektive Sammelfläche von AVIS2 in den genannten Julinächten 123.000 km² x h (bei 855 Meteoren) und von MINCAM1 58.000 km² x h (bei 349 Meteoren).

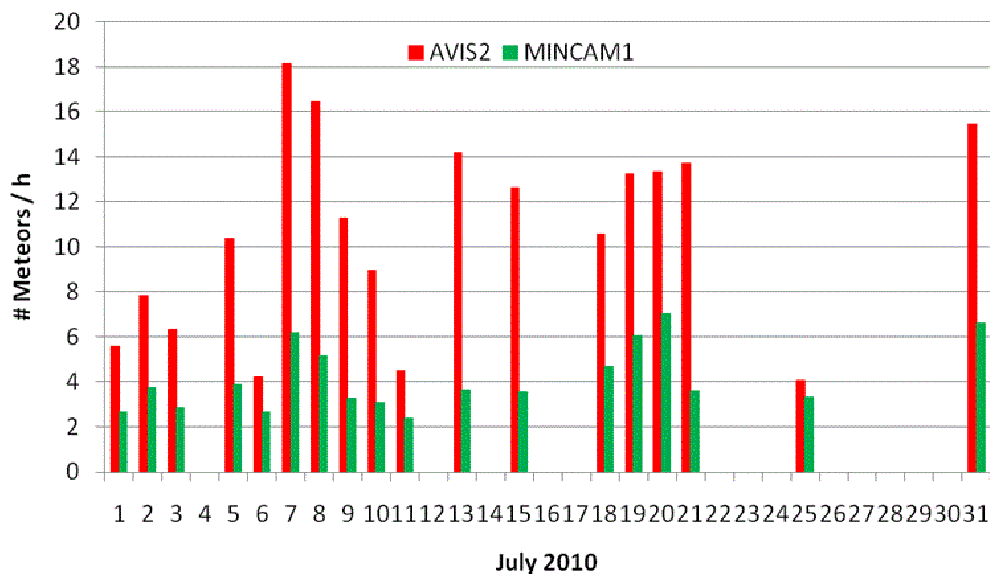


Abbildung 2: Zahl der Meteore für die beiden Kameras AVIS2 und MINCAM1 im Juli geteilt durch die effektive Beobachtungszeit in der jeweiligen Nacht.

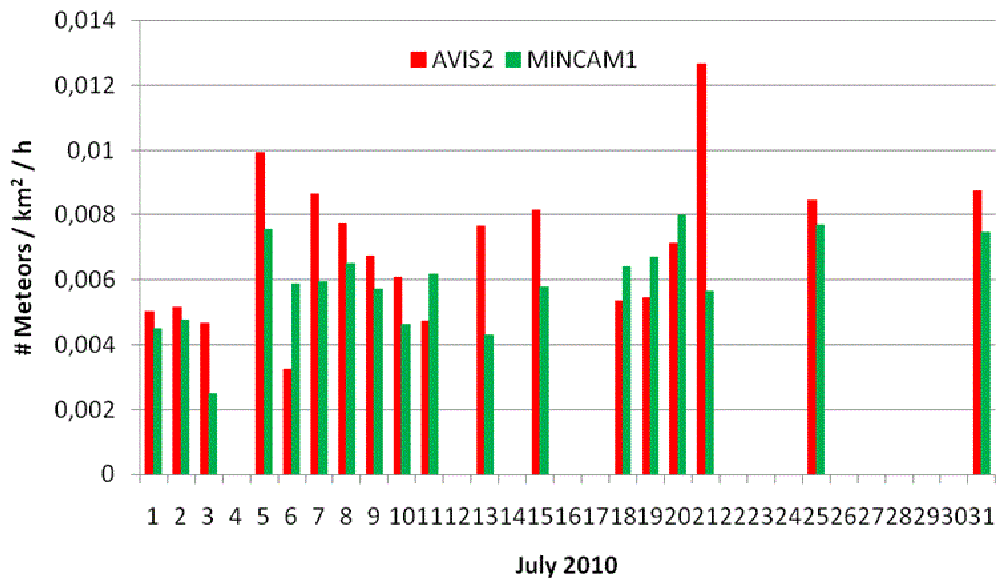


Abbildung 3: Zahl der Meteore für die beiden Kameras AVIS2 und MINCAM1 im Juli geteilt durch die effektive Sammelfläche in der jeweiligen Nacht.

Natürlich ist die Korrektur noch nicht perfekt, aber ein großer Teil der Kameraabhängigkeiten werden mit dieser neuen Methode beseitigt und wir kommen der Messung einer Flussrate von Meteorströmen basierend auf Videobeobachtungen ein großes Stück näher. Mehr zur neuen Methode gibt es auf der IMC im kommenden Monat.

Hinweise für den visuellen Meteorbeobachter im Oktober 2010

von Roland Winkler, Merseburger Str. 6, 04435 Schkeuditz

Die Antihelion Quelle (ANT) beendet am 25.9. vorübergehend ihre Aktivität und geht nahtlos in die Nördlichen (NTA) und südlichen Tauriden (STA) über, welche bis in den November hinein aktiv bleiben. Normal sind Raten um 5 Meteore je Stunde, es wurden aber auch schon Raten größer 10 beobachtet. Die beiden Ströme bieten sich fürs Plotting an.

Der Neumond begünstigt zu Monatsbeginn den Strom der Draconiden (DRA), welche am 6.10. beginnen. Das Maximum wird am 8.10. gegen 22h45m UT (Sonnenlänge 195.4°) erwartet, dabei sind Schwankungen in der Maximumszeit möglich. Die langsamen Meteore sind sehr auffällig, dabei können ZHRs zwischen 10 und 20 Meteoren auftreten. Ausbrüche sind nicht ausgeschlossen.

Am 2.10. beginnen die Orioniden (ORI) ihren Aktivitätszeitraum. Die Raten erreichen zum Maximum am 21.10. ca. 30 Meteore je Stunde. Der Vollmond am 23.10. bietet für die Zeiträume vor und kurz nach dem Maximum leider nur eingeschränkte Beobachtungsbedingungen.

Gleichzeitig beginnt der kleine Strom der Leonis Minoriden (LMI) ab 19.10. seinen kurzen Aktivitätszeitraum. Von diesem Strom, der seit einem Jahr auf der Meteorstromliste steht, sind bisher nur wenige Beobachtungen in der Datenbank vorhanden. Die Raten liegen um 2 Meteore je Stunde. Die Mondphase ermöglicht nur einen sehr eingeschränkten Blick auf eine mögliche Aktivität.

Parallel dazu sind die ϵ -Geminiden (EGE) aktiv, welche bis zum 27.10. beobachtet werden können. Aufgrund der ähnlichen geozentrischen Geschwindigkeiten von Orioniden (66 km/s), Leonis Minoriden (62 km/s) und ϵ -Geminiden (70 km/s) sollte eine sorgfältige Zuordnung anhand von Plottings erfolgen.

Die Halos im Juni 2010

von Claudia und Wolfgang Hinz, Bräuhausgasse 12, 83098 Brannenburg

Claudia.Hinz@meteoros.de Wolfgang.Hinz@meteoros.de

Im Juni wurden von 29 Beobachtern an 28 Tagen 379 Sonnenhalos und an 3 Tagen 7 Mondhalos beobachtet. Damit lag die Haloaktivität deutlich unter dem Mittelwert. Allerdings gab es regional sehr große Unterschiede. Während der haloverwöhnte Süden so gut wie leer ausging, gab es einen Streifen über der Mitte Deutschlands (Ruhrgebiet, Hessen, Thüringen, Brandenburg, Sachsen), wo zumindest das Monats-soll an Halotagen gebietsweise erfüllt oder gar überschritten (KK04) wurde, allerdings gab es auch dort kaum seltene Erscheinungen. Die meisten Halotage (14) gab es in und um Leipzig (KK46), die wenigsten (0) im Alpenraum (KK51). Dies war der erste halofreie Monat in der 16-jährigen Halostatistik von C. Hinz. Aber auch W. Hinz stellte mit nur einem 10-Minutenhalo einen absoluten Negativrekord in 25 Jahren Halo-Beobachtung auf. Einige Zitate der Beobachter spiegeln diese Haloarmut sehr schön wieder:

KK09: „Absolutes Sommerloch“

KK04: „Lichtblick war einzig und allein ein Zirkumzenitalbogen“

KK44: „Erstmals hab ich in einem Monat mehr Halos (1HT) als die Halochefin (OHT)“

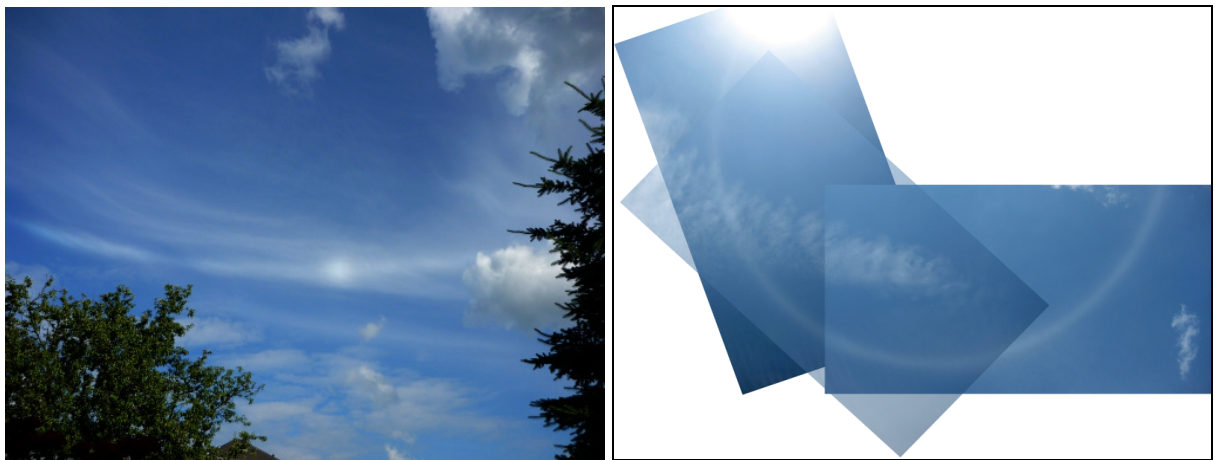
Das Wetter präsentierte sich im ersten meteorologischen Sommermonat recht warm, sehr sonnenscheinreich und fast überall, vor allem aber im Osten und Nordwesten Deutschlands, extrem trocken. Damit bot er ein vollkommen gegensätzliches Bild zum Vormonat Mai. Bevorzugt im süddeutschen Raum gab es jedoch auch einige intensive Niederschlagsereignisse. Zunächst wechselten kühlere und wärmere Witterungsphasen einander ab. Am Ende der ersten Junidekade setzte für einige Tage eine erste intensive Warmphase ein, die fast bundesweit für Werte über 30°C sorgte. Etwa zum Beginn des kalendarischen Sommeranfangs verzeichnete man einen kurzen Kaltlufteinbruch („Schafskälte“). In den Nächten sanken die Temperaturen tlw. extrem ab. Vielerorts gab es sogar nochmals Bodenfrost. Danach sorgte Hochdruckeinfluss für zunehmende Wetterbesserung, eine hochsommerlich warme Witterungsphase folgte. Durch den meist nur geringen Niederschlag stieg regional die Waldbrandgefahr weiter an. Im Osten Deutschlands, in Teilen Sachsens, in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wurden vielerorts neue Juli-Negativrekorde aufgestellt. So fielen im Großraum Berlin mit etwa 4 l/m² gerade einmal 6 Prozent des vieljährigen Solls von 69 l/m². Extrem trocken war es auch im Raum Magdeburg, Angermünde, Wittenberg, Leipzig, Cottbus. Im Gegensatz dazu verzeichnete man vor allem im süddeutschen Raum im Stau der Alpen mehrere herausragende Niederschlagsereignisse mit Mengen zum Teil über 100mm in 24 Stunden. Dennoch ging fast überall der Juni hochsommerlich mit viel Sonnenschein zu Ende. So wurde aus einer zunächst eher durchschnittlichen Sonnenscheinbilanz dann doch ein sehr sonnenscheinreicher Monat mit 124 Prozent des vieljährigen Klimamittels.

Die höchste Haloaktivität des Monats brachte der 6. Das kleine Ostseetief CORDULAR bezirrte Hoch URS bis in die Mitte Bayerns. Der Alpenraum ging leer aus, aber die nördlicheren Beobachter konnten sich über einen hellen und langanhaltenden (KK06: 540min), sehr helle Nebensonnen (mehrmals H=3), Teile des Horizontalkreises (KK31/62/72) und einen Zirkumhorizontalbogen (KK62) freuen. Georg Dittie war an diesem Tag in Berlin unterwegs und sah den 22°-Ring mit umschriebenen Halo „am Ostkreuz beim Umsteigen auf Bahnsteig D. Schön, dass gerade der Baukran so günstig stand und die Sonne abdeckte. Besonders interessant ist der Schattenwurf des Kondensstreifens zentral durch den 22°-Ring und den umschriebenen Halo. Der hat mir allerdings die Sichtung des Horizontalkreises vermässelt.“

Einzelne Höhepunkte in den Folgetagen waren am 09. eine Untersonne auf einem Flug von Berlin nach Frankfurt (KK75), am 10. ein weiterer Zirkumhorizontalbogen in Dresden (KK15) sowie am 11. und 12. Lowitzbögen in Hagen (KK22). K. Kaiser konnte am 12. an der Venus eine komplette Lichtsäule mit wenigen Bogenminuten Länge ausmachen.



06.06.2010: 22°-Ring und umschriebener Halo in Berlin (G. Dittie) und mit zusätzlichem Horizontalkreis in Brandenburg (A. Haussmann)



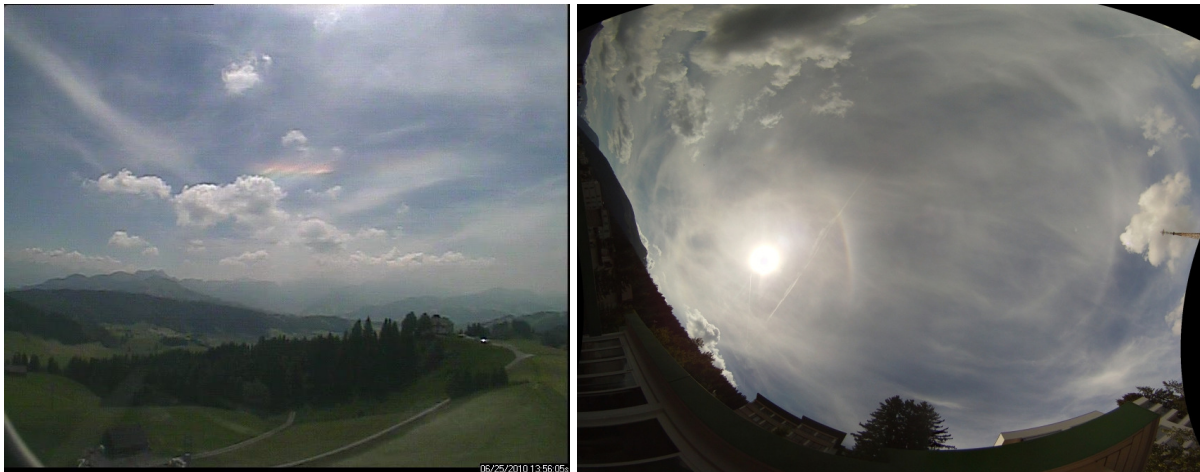
Sächsische Horizontalkreisinvasion am 19. mit 120°-Nebensonne über Freital (H. Ulbricht) und am 20. über Spremberg (H. Bachmann)



23.06.: 22°-Ring, umschriebener Halo und Horizontalkreis in Kämpfelbach (M. Großmann)

Etwas flächendeckender waren die Halos zwischen 18. und 20., als Hoch VAKUR von dem Skandinavientief FRIEDERIKE und dem Alpentief ELIANE eingekeilt wurde. Auch hier zählten wieder z.T. extrem helle Nebensonnen (mehrmals H=3), ein bis zu 6 Stunden andauernder 22°-Ring (KK74) sowie Horizontalkreis mit 120°-Nebensonne (KK15) zu den Highlights. In Worten drückte sich das Ganze so aus:

Heiko Ulbricht, Freital: „Am 19. konnte ich mein Halo-Glück kaum fassen: nachdem eine extrem starke linke Nebensonne mit einem prächtigen Schweif sichtbar war (wo ich meine Cam mal nicht dabei hatte...), bin ich heim gerannt, Kamera geholt und wurde sodann mit einem wunderschönen Horizontalkreis und einem Bilderbuchexemplar einer 120°-Nebensonne belohnt!! Daneben stand unmittelbar der Mond. Nicht nur, dass ich sie so extrem ausgeprägt sah, sondern generell zum ersten Mal bewußt!! Very Happy, Very Happy“ Heiko Bachmann konnte am Folgetag in Spremberg das erste Halo seines Lebens beobachten: Ein Horizontalkreis! Vom 23.-25. ging es vor allem im Südwesten Deutschlands und der Schweiz zur Sache. Neben hellem 22°-Ring mit umschriebenen Halo wurden auch der ZHB (M. Großmann, Kämpfelbach, M. Vornhusen, CH-Gais) und ein fast vollständiger Horizontalkreis (M. Großmann, B. Radelow) registriert. Der Monat wurde am 30. mit einem letzten Horizontalkreis (KK13) und einem letzten Zirkumhorizontalbogen (KK69) verabschiedet.



25.06.: Zirkumhorizontalbogen in CH-Gais (M. Vornhusen) und vollständiger Horizontalkreis in CH-Davos (B. Radelow).

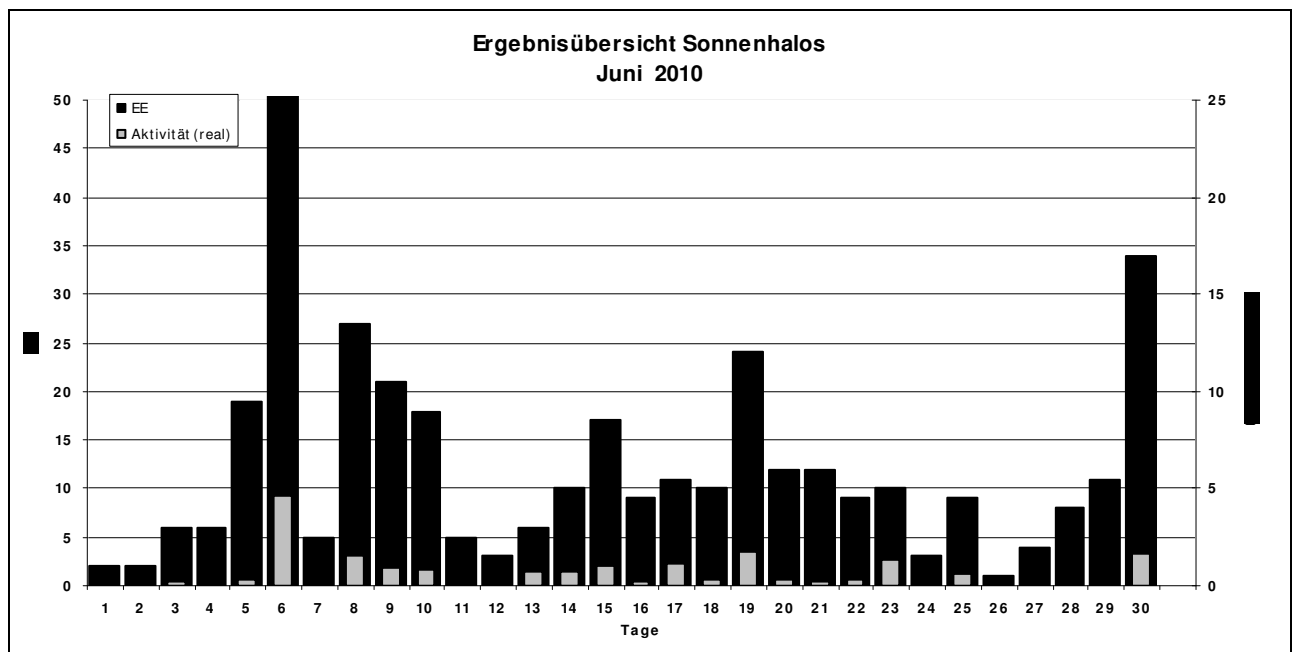
Beobachterübersicht Juni 2010																																
KKGG	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	1)	2)	3)	4)													
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30																	
5901		1		4	1	1						3				10	5	0	5													
5602									2		1					3	2	0	2													
5702	1			4	4						1				5	15	5	0	5													
7402				2						1	1	2				7	5	0	5													
0604		1	3	2	5	1	4	1		1	2				1	24	12	0	12													
4404				1												1	1	0	1													
7504		4	1	2	1	4	3	2		5		1			4	17	10	0	10													
1305	1	1		2	3				1		2				4	14	7	0	7													
2205			2	1	3			4			6				2	18	6	0	6													
6906			1	1	1				1	1			2	3		12	8	0	8													
6407			1	1	2				2	1	1					8	6	0	6													
7307			1													1	1	0	1													
0208			2	1	3				2		3	1				12	6	0	6													
0408			3	2	2	2		1		1	5	3		2	1	23	11	0	11													
0508			1				1		1		2	2			1	8	6	0	6													
0908			1													1	1	0	1													
1508			2	4	3	4	3		2	4	4					26	8	1	8													
3108			2	2	1	1				1		2				9	6	0	6													
4608			2	2	1	1	2	1	1	1	2	1		1	1	18	14	0	14													
5508			2		1				1		5				1	10	5	0	5													
6110					1	1	3			1						7	5	0	5													
6210			3		1	1					2					7	4	0	4													
7210			4		3			2			1		1	3		14	6	0	6													
0311		1	1	2	1	1	1	1			1			1	1	13	12	0	12													
3811					1											1	1	0	1													
5111	Kein Halo															0	0	0	0													
5317			1						2			X				3	2	1	4													
9524									1							1	1	0	1													
9235	1		2	1	1				2		3	2	3	1		31	12	0	12													
9335		1	1	2	2					1	7	7	4	2	2	1	4	1	8	6												

1) = EE (Sonne) 2) = Tage (Sonne) 3) = Tage (Mond) 4) = Tage (gesamt)

Ergebnisübersicht Juni 2010																														
EE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	ges														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30															
01	2	2	2	1	3	21	1	12	8	7	1	1	3	11	2	3	7	4	5	2	1	2	2	2	1	2	1	11	120	
02			1	3	6	7	1	4	4	4	1	1	1	1	1	3	3	7	3	2	2	1			1	1	2	3	4	69
03			2	1	6	8		3	4	4	3	1	2	2	2	2	2	7	1	2	3	2	1			1	2	6	67	
05			1	1	1	2		2	1				1	2			2						1	1			2	3	20	
06																													0	
07				2	9	1	4	3	2		1	5		1		3	1	1	2		2				1	1	5	44		
08				1		1	1				1			2			2	2	1					1	1			13		
09																							1					1		
10																												0		
11					2	1	1				1				1	2			1		1				1	1	2	3	17	
12														1												1			2	
	2	6	19	5	20	5	5	17	9	22	12	9	9	4	11														353	
	2	6	49	27	17	3	10	9	10	12	9	3	1	8	32															

Erscheinungen über EE 12																	
TT	EE	KKGG	TT	EE	KKGG	TT	EE	KKGG	TT	EE	KKGG	TT	EE	KKGG	TT	EE	KKGG
06	13	3106	10	23	1508	19	13	1508	20	20	9335	27	13	9335	30	13	1305
06	13	6210				19	18	1508							30	23	6906
06	13	7210	13	15	2205				21	13	9335	29	13	9335			
06	23	6210				20	13	9335	21	20	9335	29	21	9235			
			17	14	2205	20	13	9335				29	21	9335			
09	44	7507	17	15	2205	20	18	9335	23	23	6906						

KK	Name / Hauptbeobachtungsort	KK	Name / Hauptbeobachtungsort	KK	Name, Hauptbeobachtungsort	KK	Name, Hauptbeobachtungsort
02	Gerhard Stemmler, Oelsnitz/Erzg.	22	Günter Röttler, Hagen	56	Ludger Ihrendorf, Damme	73	Rene Winter, Eschenbergen
03	Thomas Groß, Flintsbach a. Inn	31	Jürgen Götze, Adorf bei Chemnitz	57	Dieter Klatt, Oldenburg	74	Reinhard Nitzte, Barsinghausen
04	H. + B. Bretschneider, Schneeberg	38	Wolfgang Hinz, Brannenburg	59	Wetterwarte Laage-Kronskamp	75	Andreas Zeiske, Woltersdorf
05	Steffen Lambrecht, Radebeul	44	Sirko Molau, Seysdorf	61	Günter Busch, Fichtenau	92	Judith Proctor, UK-Shepshed
06	Andre Knöfel, Lindenberg	46	Roland Winkler, Schkeuditz	62	Christoph Gerber, Heidelberg	93	Kevin Boyle, UK Stoke-on-Trent
09	Gerald Berthold, Chemnitz	51	Claudia Hinz, Brannenburg	64	Wetterwarte Neuhaus/Rennw.	95	Attila Kosa-Kiss, RO-Salonta
13	Peter Krämer, Bochum	53	Karl Kaiser, A-Schlägl	69	Werner Krell, Wersau		
15	Udo Hennig, Dresden	55	Michael Dachsel, Chemnitz	72	Jürgen Krieg, Ettlingen		



Regenbögen auf der 10. Konferenz „Licht und Farbe in der Natur“

Teil 1 – Der tertiäre Regenbogen

von Rainer Schmidt, Zum Lebensbaum 10, D-18147 Rostock

schmidtrostock@arcor.de

1. Einleitung

Regenbögen sind im Allgemeinen sehr schön anzusehen und wurden daher schon immer mit Interesse diskutiert, sowohl in der Wissenschaft als auch in der Kunst. Will man eine befriedigende Erklärung für diese Erscheinungen finden, so gelangt man schnell von der geometrischen Optik über die Elektrodynamik bis hin zur Quantenmechanik. Die Vorträge zum Thema Regenbögen waren hervorragend präsentiert und gut erläutert, so dass es sich lohnt an dieser Stelle etwas näher darauf einzugehen. Einen umfassenden Überblick zum Thema des tertiären Regenbogens gaben Philip Laven [1] und Raymond L. Lee, Jr. [2] in ihren Vorträgen. Theoretische Einblicke in diese Problematik präsentierte James A. Lock [3].

2. Der tertiäre Regenbogen oder Regenbogen dritter Ordnung.

2.1. Überlieferte Berichte beobachteter Regenbögen dritter Ordnung

In der Literatur gibt es leider nur wenige brauchbare Beobachtungsberichte, welche in Tab. 1 zusammengefasst sind. Alle Berichte haben etwas gemeinsam. Mit Ausnahme der Beobachtung von Bergman [7] wurden alle Bögen bei tief stehender Sonne beobachtet. Die Helligkeitsangaben variieren je nach individuellem Empfinden. So hat Hartwell [8] die Erscheinung als sehr hell beschrieben, aber nur Varianten von Rot und Orange beobachtet. Pedgley [10] hingegen hat den dritten Bogen bei schwacher Helligkeit gesehen, schätzt aber die Sichtbarkeit als deutlich ein und erkennt sogar das Grün auf der Innenseite des Bogens. Bei Heilermann [9] wurde zwar keine Helligkeit/Sichtbarkeit angegeben, aber die Beobachtung der Entwicklung des tertiären Bogens über den gesamten Zeitraum und von mehreren Personen bei übereinstimmender Identifizierung, lässt mit einiger Wahrscheinlichkeit die Eigenschaft „gut sichtbar“ zu.

Bergman [7] hingegen gibt die Helligkeiten mit schwach an, macht aber keine Angaben zur Sichtbarkeit der Erscheinungen. Leider beschränkt sich die Zeitangabe der Beobachtung auf den Tagesabschnitt Nachmittag, womit eine Bestimmung der genauen Sonnenhöhe nicht möglich ist. Für den 3. September (In Schweden wurde der Gregorianische Kalender bereits 1753 eingeführt) wurde eine Sonnenhöhe für Visby um 14 Uhr Ortszeit von $37,96^\circ$ und um 15 Uhr von $33,66^\circ$ ermittelt. Erst um 19 Uhr steht die Sonne nur noch $12,54^\circ$ über dem Horizont und liegt damit nicht mehr im Tagesabschnitt des Nachmittags. Möglicherweise ist die schwache Helligkeit in diesem Fall auf die größere Sonnenhöhe zurück zu führen.

2.2. Theorie der Regenbögen höherer Ordnung

2.2.1. Der Regentropfen als ein transparentes kugelsymmetrisches Medium

Der Ausgangspunkt aller Betrachtungen ist die Mie-Streuung [4]. Die Mie-Streuung basiert auf den Maxwell'schen Feldgleichungen der Elektrodynamik, angewendet auf Polarkoordinaten mit einem homogenem, kugelsymmetrischem und transparentem Medium (hier Regentropfen) im Zentrum. Vom Standpunkt der Elektrodynamik aus betrachtet müsste man korrekterweise den Regentropfen als Dielektrikum betrachten. Der Einfachheit halber wird aber hier die Bezeichnung Regentropfen beibehalten. Die Mie-Streuung ist für eine numerische Berechnung sehr aufwendig, da die Lösung eine Reihe mit praktisch unendlich vielen Summen ist. Nach Willerding [5] benötigt man für die Berechnung der Streuamplituden an einem Wassertropfen mit einem Radius von 1000 Lichtwellenlängen mindestens 6000 Reihenglieder, die

aufsummiert werden müssen. Effizienter geht es dagegen mit den Debye-Reihen. Debye hat die Reihe der Mie-Streuung nach möglichen Strahlengängen sortiert.

Hierbei treten folgende Debye-Reihen auf (hier nur von $p=0$ bis $p=5$):

- $p=0$ – entspricht der äußeren Reflexion plus Beugung
- $p=1$ – entspricht der direkten Transmission durch einen Wassertropfen
- $p=2$ – entspricht 1 interne Reflexion (primärer Regenbogen)
- $p=3$ – entspricht 2 interne Reflexionen (sekundärer Regenbogen)
- $p=4$ – entspricht 3 interne Reflexionen (tertiärer Regenbogen)
- $p=5$ – entspricht 4 interne Reflexionen (quartärer Regenbogen)

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass man fallbezogen die p -Reihen auch einzeln berechnen und die Reihe danach abbrechen kann, was sich günstig auf die Rechenzeit auswirkt.

Beobachter	Beschreibung	Sonnenhöhe
Torbern Bergman 3. Sept. und 5. Sept. 1758, Nachmittag [7]	... und ich selbst hatte das Vergnügen, den dritten Regenbogen im vergangenen Sommer, zweimal im westlichen Gotland am 3. September und 5. am Nachmittag, zu beobachten. Der Himmel war sehr dunkel nach dem regen, aber die Farben waren so schwach, dass bei der ersten Gelegenheit nur die rote und die gelbe Farbe schwach, und das zweite Mal nur die rote sichtbar war. Sein Durchmesser - von der Sonnenhöhe geschätzt - bei etwa 84° ... (Winkelabstand 42°)	Keine Angabe
Charles Hartwell 28. Juli 1851 [8]	Nach einem starken Schauer und kurz vor Sonnenuntergang schien die Sonne und zeichnete einen schönen ersten Bogen auf die dunklen Wolken im Osten. Zur selben Zeit wurde im Nordwesten eine Erscheinung zerlegten Lichtes auf einer Wolke nicht sehr großen Ausmaßes, aus welcher aber offenbar Regen fiel, gesehen. Die Erscheinung nördlich der Sonne war sehr hell obwohl nur verschiedene Varianten von Rot und Orange beobachtet wurden. ... In Richtung Süden war das Phänomen weniger brillant und weniger ausgedehnt, aber deutlich nachvollziehbar etwa 15° vom Horizont entfernt. ... Der Radius betrug etwa 40°	Wenige Grad über dem Horizont
Johannes Heilmann 4. Sept. 1878 [9]	... ein kreisförmiges rotes Segment zeigte sich rechts über der Sonne bei einem Winkelabstand von etwa 40° . Und dieses Segment breitete sich langsam weiter um die Sonne aus, während allmählich die anderen Farben entstanden, wie theoretisch erwartet. Schließlich näherte sich der runde Bogen fast dem Horizont, und der Beobachter ebenso wie seine Gefährten und Experten gleichermaßen verloren alle Zweifel daran, dass dies in der Tat der dritte Regenbogen war.	ca. 10°
David Pedgley 21. Mai 1986, 17:55 [10]	... es hatte gerade begonnen zu regnen ... in dichten Vorhängen von mittleren Tropfen hell erleuchtet durch die tief stehende Sonne. Vom Balkon des vierten Stocks meines Hotelzimmers konnte ich nicht nur einen hellen primären, begleitet von einem mäßig hellen sekundären Bogen, sondern auch einen schwachen Bogen in Richtung zur Sonne, welcher von der Seite des Gebäudes abgeschirmt wurde, bequem sehen. Der Bogen funkelte, war aber deutlich für zwei oder drei Minuten sichtbar. Er hatte ungefähr die gleiche Größe wie der primäre Bogen, mit rot auf der Außenseite und innen grün.	ca. 7.4°

Tab.1: Beobachtungsberichte über den dritten Regenbogen, zitiert von Lee [2]. Die Beschreibung wurde auszugsweise zusammengefasst und ist nicht wörtlich wiedergegeben. Die Sonnenhöhe wurde nachträglich bestimmt.

GEOMETRIC RAINBOW ANGLES

Colour	λ (nm)	n	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$
	400	1.34451	139.57°	126.14°	37.56°	49.04°
	425	1.34235	139.26°	126.69°	38.34°	48.05°
	450	1.34055	139.01°	127.15°	38.99°	47.22°
	475	1.33903	138.79°	127.54°	39.54°	46.52°
	500	1.33772	138.60°	127.88°	40.01°	45.91°
	525	1.33659	138.44°	128.17°	40.42°	45.38°
	550	1.33560	138.30°	128.43°	40.78°	44.92°
	575	1.33472	138.17°	128.66°	41.11°	44.51°
	600	1.33393	138.06°	128.87°	41.40°	44.14°
	625	1.33322	137.95°	129.05°	41.66°	43.81°
	650	1.33257	137.86°	129.22°	41.90°	43.50°
	675	1.33197	137.77°	129.38°	42.12°	43.22°
700	1.33141	137.69°	129.53°	42.32°	42.95°	

Red outside Red inside Red outside Red inside

Abb.1¹⁾: - Übersicht über die Ablenkwinkel in einem Regenbogen nach Laven [1], $p=2, p=3$ weg von der Sonne, $p=4, p=5$ zur Sonne hin. Es bedeuten: Colour - Spektralfarbe, λ - Wellenlänge, n - Brechungsindex Wasser/Luft, $p=\{2, \dots, 5\}$ Debye-Reihen.

P. Laven hat eigene Rechnungen nach Debye mit unterschiedlichen Tropfenradien präsentiert. Aus Abb. 1 ergibt sich der Gesamtablenkwinkel für den Hauptregenbogen ($p=2$), für rot (700 nm) mit Blickrichtung zum Gegen Sonnenpunkt (180°) $42,31^\circ = 180^\circ - 137,69^\circ$ und für den Nebenregenbogen bei gleicher Blickrichtung und gleicher Wellenlänge $50,47^\circ$. Die Gesamtablenkwinkel für die Regenbögen dritter ($p=4$) und vierter Ordnung ($p=5$) kann man direkt aus Abb. 1 ablesen, allerdings bei einer Blickrichtung zur Sonne (Sonnenposition 0°).

DEBYE $r = 200 \mu\text{m}$

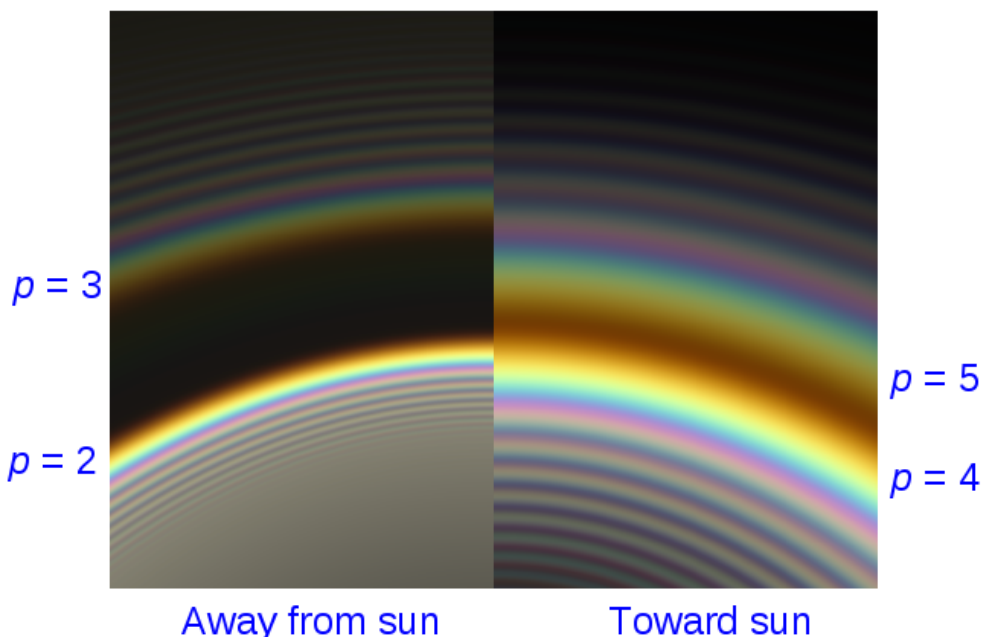


Abb.2¹⁾: - Ergebnis einer Computersimulation für einen Tropfenradius $r=200 \mu\text{m}$, nach Laven [1].

Zum Vergleich sind in Abb.2 und Abb.3 links die Regenbögen erster und zweiter Ordnung und rechts die Regenbögen dritter und vierter Ordnung visualisiert. Auf der linken Seite beider Abb.1 und Abb.2 ist das dunkle Band (Alexanders dunkles Band) zwischen Haupt- und Nebenregenbogen ($p=2$) und ($p=3$) zu erkennen. Auffällig sind auch die Interferenzbögen, deren Anzahl mit wachsendem Tropfenradius kleiner wird, vergleiche Abb.2 mit Abb.3. Laven [1] führt Visualisierungen mit weiteren Tropfenradien von 10, 20, 50, 100, 200 und 1000 μm vor und vergleicht die Ergebnisse auch direkt mit der Mie-Streuung und mit Simulationen von Les Cowley[6].

Das Problem der Regenbögen höherer Ordnung ($p>1$) ist, dass die Helligkeit mit wachsender Anzahl der Reflexionen im Regentropfen abnimmt. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Fragestellung: Ist der tertiäre Regenbogen in der freien Natur überhaupt noch sichtbar? Die Betrachtung der in Tab.1 zusammengefassten Beobachterberichte entscheiden diese Frage bereits. Die tertiären Regenbögen wurden zwar in sehr seltenen Fällen beobachtet, aber sie wurden mit hinreichender Sicherheit wahrgenommen. Somit kann die Frage wie folgt präzisiert werden: Unter welchen Bedingungen ist der tertiäre Regenbogen zu beobachten?

Die bisherigen theoretischen Betrachtungen liefern hierfür jedoch keinen Ansatz. Alle weiteren Ausführungen der Referenten Laven [1] und ganz besonders Lee [2] wurden unter dieser Fragestellung weitergeführt.

DEBYE $r = 1000 \mu\text{m}$

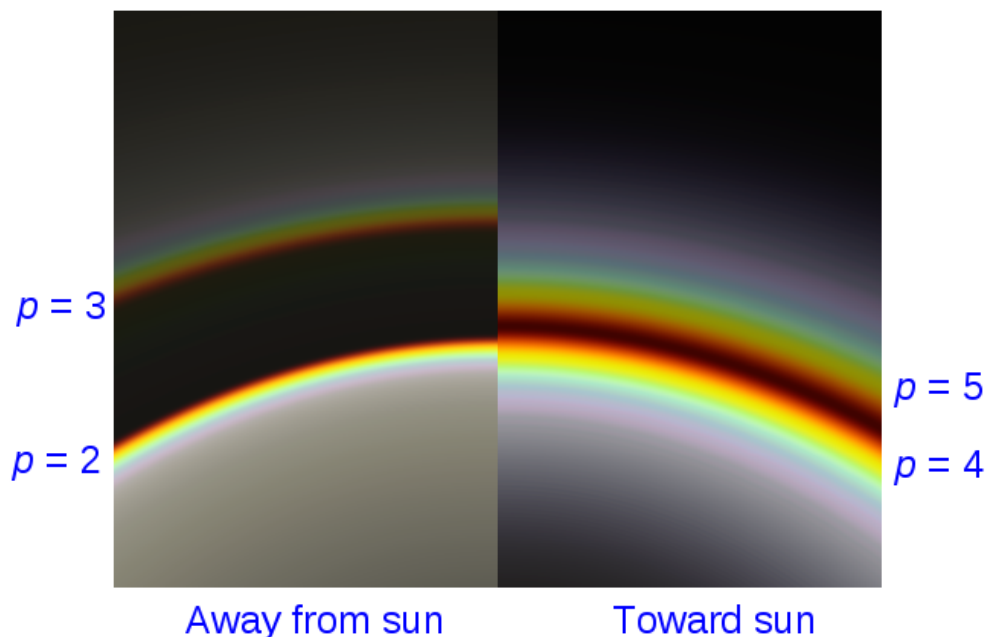


Abb.3¹⁾: – Ergebnis einer Computersimulation für einen Tropfenradius $r=1000 \mu\text{m}$, nach Laven [1].

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass bis jetzt immer noch der Idealfall des kugelsymmetrischen, homogenen und transparenten Regentropfens gilt. Aus der Erfahrung heraus ist jedoch bekannt, dass in der Natur die Form des Regentropfens in Abhängigkeit von seinem Radius mehr oder weniger stark von der Kugelsymmetrie abweicht. Alle weiteren Betrachtungen der Referenten gingen in die Richtung, ein Tropfenmodell zu entwickeln, welches besser der realen Tropfengeometrie entspricht. In erster Näherung kann dieses erreicht werden, wenn statt kugelförmigen Tropfen elliptische Tropfen betrachtet werden. Das heißt, die klassischen Theorien müssen von der kugelsymmetrischen Tropfengeometrie auf die axial-symmetrische Tropfengeometrie erweitert werden. Diese Problematik wurde von Lock [3] in einem eigenen Vortrag behandelt. Doch zunächst bleiben wir bei der Kugelsymmetrie und schauen uns die Erweiterung der Airy-Theorie für alle p an²⁾. Ausgangspunkt aller Überlegungen bildet die Standard-Airy-Theorie mit der Fraunhofer-Beugung einer räumlichen Wellenfront an Tropfen mit einem ebenen Ausgang zur Streuung in einem Fernfeld.

Ohne Berücksichtigung der Polarisation	
1.	$\Theta = \Theta_D + \Delta, \quad E(\Delta) \propto A_i \left[\frac{-\Delta (2\pi a/\lambda)^{2/3}}{h^{1/3}} \right] \quad h = \frac{(p^2-1)^2 (p^2-n^2)^{1/2}}{p^2 (n^2-1)^{3/2}}, \quad B=0$
Mit Berücksichtigung der Polarisation [12]	
2.	$E(\Delta) \propto A_i \left[\frac{-\Delta (2\pi a/\lambda)^{2/3}}{h^{1/3}} \right] + iB \frac{h^{1/6}}{(2\pi a/\lambda)^{1/3}} A_i' \left[\frac{-\Delta (2\pi a/\lambda)^{2/3}}{h^{1/3}} \right]$
Polarisation → TE (transversal elektrisch)	
Polarisation TM → (transversal magnetisch)	
Bestimmung von B nach der CAM-Theorie [13], [14] für alle p (± → + = Strahl 2; - = Strahl 1)	
3.	$\theta_i = \theta_i^D + \epsilon; \quad \Theta = \Theta_D + \Delta; \quad \epsilon = \frac{\pm p}{(p^2-1)^{1/2}} \left(\frac{n^2-1}{p^2-n^2} \right)^{1/4} \sqrt{\Delta} + \frac{(3n^2-p^2n^2-2p^2)}{6(p^2-1)(p^2-n^2)} \Delta + \theta(\Delta^{3/2})$ $\mathcal{L} = \mathcal{L}_D + a \left(\frac{p^2-n^2}{p^2-1} \right)^{1/2} \Delta \pm \frac{2a}{3} \frac{\Delta^{3/2}}{\sqrt{h}} + \theta(\Delta^2) E(\Delta) \propto A_i \left[\frac{-\Delta x^{2/3}}{h^{1/3}} \right] + iB \frac{h^{1/6}}{x^{1/3}} A_i' \left[\frac{-\Delta x^{2/3}}{h^{1/3}} \right]$
$B^{TE} = \frac{3p^2(2n^2-p^2-1) - (p^2n^2+2p^2-3n^2) + 6(p^2-1)(p^2-n^2)}{6p^{4/3}(p^2-1)^{1/6}(p^2-n^2)^{2/3}(n^2-1)^{1/2}}$	
$B^{TM} = \frac{3p^2(2n^2-p^2-1) - (p^2n^2+2p^2-3n^2) - 6(p^2+n^4-2p^2n^2)(p^2-1)(p^2-n^2)}{6p^{4/3}(p^2-1)^{1/6}(p^2-n^2)^{2/3}(n^2-1)^{1/2}}$	

Tab.2¹⁾: Funktionen und Ergebnisse der erweiterten Airy-Theorie nach Lock [3]. Es bedeuten: Θ – Streuwinkel; Θ_D – Decartes-Winkel; E Elementarwelle (Beugung); A_i – Airy-Funktion (Regenbogenintegral); a – Tropfenradius; λ – Wellenlänge des Lichtes; h – numerischer Parameter, konstant für jedes p ; p – Debye-Reihe; n – Brechungsindex (Wasser); x – Größenparameter $x=2\pi a/\lambda$; CAM- Complex Angular Momentum theory; \square - Elliptizitätsparameter.

Die Airy-Theorie beschreibt nur den Haupt-Regenbogen und seine Interferenzbögen im weißen Licht, berücksichtigt die Polarisation des gestreuten Lichtes aber nur in grober Näherung. Es folgt im ersten Teil des Vortrages die Korrektur erster Ordnung, als Erweiterung der Airy-Theorie für alle Debye-Reihen (p) (Tab. 2, 1.). Eine Lösung für die Polarisation des gestreuten Lichtes nach der Airy-Theorie wurde bereits von Können & de Boer [12] entwickelt. Sie fand Eingang in die Erweiterung der Airy-Theorie. Der Ansatz besteht nun darin, dass die Änderung der Elementarwelle proportional zur Änderung des Wertes der Airy-Funktion A_i erfolgen soll. Der Parameter h ist eine Funktion von p und n . Dieser Wert wurde von Können & de Boer [12], mit 4,9 für den Hauptregenbogen ($p=2$) und 28 für den zweiten Regenbogen ($p=3$), als Eingangsgröße verwendet. Vom Standpunkt der Polarisation aus betrachtet kommt ein neuer Term B (Tab.2, 1.); (Tab.2, 2.) hinzu, dessen Bedeutung für die weiteren Überlegungen bekannt sein muss. Für den gewöhnlichen Regenbogen ist $B=0$ (Tab.2, 1.). Lock [3]

führt an dieser Stelle die Komplexe Drehmoment-Theorie [13], [14] in die Erweiterung der Airy-Theorie für alle p ein. Wir setzen nun den elliptischen Polarisationszustand als gegeben voraus. Der elektrische Feldvektor \mathbf{E} ändert sich in diesem Fall in Betrag und Richtung. Der lineare und zirkulare Zustand sind Spezialfälle der elliptischen Polarisation. Dieser Zustand wird auch durch die kohärente Überlagerung von intensitätsgleichem Licht im rechts- und links- zirkularen Zustand bei hinreichend großer Phasendifferenz erreicht. Betrachtet man nun eine Lichtwelle als einen Energiestrom gequantelter und identischer Photonen, die mit einem Regentropfen in Wechselwirkung tritt, so wird ein gequantelter Transport des Drehimpulses auf die subatomaren Teilchen des Regentropfens übertragen. Photonen besitzen einen entweder völlig parallelen oder antiparallelen Spin in Bezug auf den Wellenvektor \mathbf{k} . Jedes einzelne Photon existiert in beiden möglichen Spin-Zuständen (rechts oder links) mit gleicher Wahrscheinlichkeit. Würde man z. B. einen rechten Spin-Zustand häufiger messen als den linken, dann ergibt sich auch ein rechter Gesamtdrehimpuls für die subatomaren Teilchen des Regenbogens, was im Ergebnis elliptisch polarisiertes Licht in Form einer Überlagerung des rechtsdominierten Polarisationszustandes bei einer bestimmten Phasenbeziehung zum linken Polarisationszustand ist.

Genau an dieser Stelle ergibt sich ein Übergang von der klassischen Wellentheorie zur Quantenmechanik und einen Ansatz für die Einbindung der CAM-Theorie nach Nussenzweig [13], [14], siehe (Tab.2, 3). Nussenzweig hat die aus der Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie stammende Streu-Matrix (S-Matrix) als Grundlage für die Anwendung auf die Mie-Streuung genutzt. Ein wichtiges mathematisches Instrument hierfür ist die Partialwellenzerlegung. Wie bereits oben gesagt, ist die Mie-Streuung als eine unendliche Summe komplizierter Terme formuliert. Man kann nun jeden einzelnen Term auch als eine Partialwelle auffassen, die bis ins Unendliche aufsummiert, wieder eine Welle ergibt. Dieser Ansatz wurde auch von Nussenzweig [13], [14] verfolgt. Um eine unendliche Summe von Partialwellen in ein leichter anwendbares Integral umwandeln zu können, wurde der Drehimpuls in komplexen Zahlen dargestellt (modifizierte Watson-Transformation). Daher die Bezeichnung Komplexe Drehmoment Theorie. Mit dieser Theorie kann im Gegensatz zur Mie-Theorie, mit nur wenigen Termen bereits eine Streuamplitude berechnet werden.

Hiermit ist die Korrektur erster Ordnung abgeschlossen und der Term B wurde für beide Polarisationsrichtungen B^{TE} und B^{TM} bestimmt (Tab.2, 3).

2.2.2. Der Regentropfen als ein transparentes axialsymmetrisches Medium

Im zweiten Teil des Vortrages von Lock [3] wurde die Erweiterte der Airy-Theorie auf elliptische Tropfenformen angewandt und es folgte eine Untersuchung über den Einfluss der Möbiusverschiebung auf die Amplitude. Möbius beobachtete diesen Effekt bei Laborexperimenten mit Kugeln optischen Glases [15]. Er stellte bei der Drehung der Kugeln um die senkrechte Achse eine seitliche Verschiebung von Regenbogen und Beugungstreifen (überzählige Bögen) fest. Bei einer kontinuierlichen Drehung um 360° verschoben sich Regenbogen und Beugungstreifen wie eine Sinusfunktion. Auf Grund der Messwerte konnte er nachweisen, dass die Glaskugeln elliptisch deformiert waren. Der Brechungsindex der Glaskugel betrug nach erneuter Bestimmung $n=1,51093$ und nach Herstellerangaben $n=1,51040$.

Als Ansatz dient die Kugelsymmetrie und beide Regenbogenwinkel werden für alle $p-1$ inneren Reflexionen bestimmt. Den Übergang zur Axialsymmetrie entwickelt Lock [3] in dem er den Ablenkwinkel θ als

Funktion des Elliptizitätsparameters ϵ betrachtet. Die allgemeine Gleichung für den Regenbogenwinkel Θ_p (Tab.3) enthält allerdings einen Term $G_p(\theta_0, \Phi_0, \xi)$ der in ausführlicher Darstellung lang und kompliziert ist. Eine Vereinfachung dieser Gleichung ist möglich in dem, ausgehend vom Winkel der Maximalablenkung für einen einfallenden Lichtstrahl, die rechte Teilellipse betrachtet wird und die Winkel θ_0, Φ_0 auf den einfacheren Decartes-Fall bezieht. In mehreren Schritten und Kunstgriffen wird somit in dieser Gleichung der Term $2\theta_0 - 2p\Phi_0$ Null, so dass θ_0 verschwindet und in der neuen Form der Gleichung Θ_p^R nur noch der Winkel Φ_0 im Decartes-Fall auftritt. Diese Gleichung Θ_p^R beschreibt den Regenbogenwinkel aus der Abweichung von der Kugelsymmetrie (erster Term) und vom Decartes-Fall, wobei der Φ -abhängige Term im zweiten Summanden die Amplitude und der ξ -Term die Oszillation darstellt. Selbst diese Lösung enthält auch wieder einen unbekanntenen Term $F_p(\phi_0^D)$, welcher für die numerische Berechnung ausgewertet sein muss. Lock [3] berechnet diesen Term rekursiv durch die Anwendung des Tschebyschev-Polynoms zweiter Art auf Φ_0 , bezogen auf den Decartes-Fall. Die daraus resultierenden Gleichungen F_{2m} und F_{2m+1} sind ebenfalls in Tab.3 aufgeführt.

Kugelsymmetrie Def: $\epsilon=0=\frac{b}{a}-1; b=a$	Axialsymmetrie Def: $\epsilon=\frac{b}{a}-1; b\neq a$
$x_L = -a \cos \xi$ $y_L = -a \sin \xi$	$x_R = a \cos \xi$ $y_R = a \sin \xi$
$\Theta_p = (p-1)\pi + 2\theta_0 - 2p\phi_0$	$\Theta_p = (p-1)\pi + 2\theta_0 - 2p\phi_0 + \epsilon G_p(\theta_0, \phi_0, \xi) + \theta(\epsilon^2)$
$\Theta_p^D = (p-1)\pi + 2\theta_0^D - 2p\phi_0^D$	$\Theta_p^R = \underbrace{\Theta_p^D}_{\text{Kugel}} + \underbrace{\epsilon(-1)^{p+1} 8 \sin \phi_0^D \cos^3 \phi_0^D F_p(\phi_0^D)}_{\text{Amplitude}} \underbrace{\cos(\Theta_p^D 2 \xi)}_{\text{Oszillation}} + \theta(\epsilon^2)$
	$F_{2m} = \sum_{m=0}^{M-1} (-1)^{M-1+m} \frac{(M+m)!}{(M-1-m)!(2m)!} (2 \cos 2 \phi_0^D)^{2m}$
	$F_{2m+1} = \sum_{m=0}^{M-1} (-1)^{M-1+m} \frac{(M+1+m)!}{(M-1-m)!(2m+1)!} (2 \cos 2 \phi_0^D)^{2m+1}$

Tab.3¹⁾: Regenbogenwinkel Θ_p und Decartes-Winkel Θ_p^D für Tropfen mit kugelsymmetrischer Geometrie und Θ_p, Θ_p^R für Tropfen mit axialsymmetrischer Geometrie, jeweils für alle $p-1$, nach Lock [3]; ϵ – Elliptizitätsparameter; ξ – Neigungswinkel der Ellipse zur Normalform; R in Θ_p^R bezieht sich auf den rechten Teil der Halbellipse (siehe Abbildung).

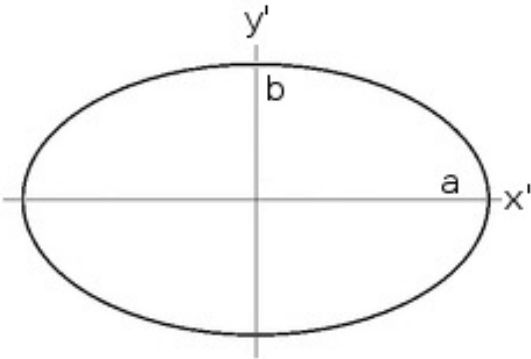
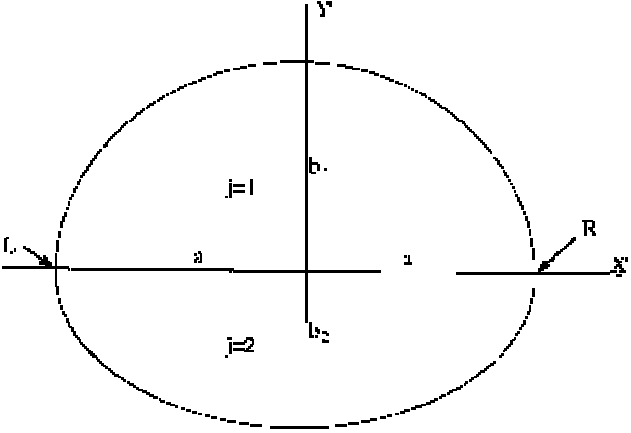
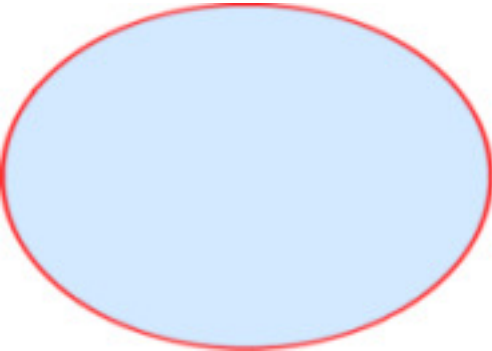
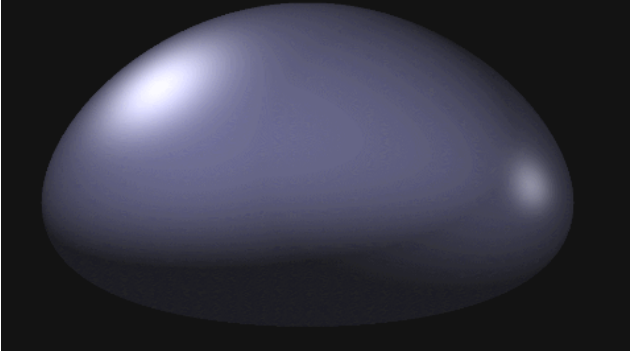
In Tab.3 sind wieder die Ergebnisse im Vergleich von Kugelsymmetrie und Axialsymmetrie stark schematisiert dargestellt. Bereits der flüchtige Blick auf die Tabelle 3 zeigt, dass der mathematische Aufwand bereits bei der Betrachtung einer einfachen Ellipse erheblich steigt. Das Modell zur Berechnung von Regenbögen höherer Ordnung bei einer elliptischen Tropfenform ist hiermit abgeschlossen. Die Ergebnisse werden nachfolgend diskutiert.

3. Zusammenfassung und Diskussion zur Sichtbarkeit des tertiären Regenbogens

Das oben besprochene Modell von Lock [3] liefert in der numerischen Berechnung die größte Empfindlichkeit bei einer Abweichung von der Kugelsymmetrie für $p=8$. Der Betrag der Amplitude erreicht hier mit 4,55 ein Maximum (Tab.4). Die Möbiusverschiebung ist nahe Null für $p=3$, bei einem Betrag der Amplitude von 0,13.

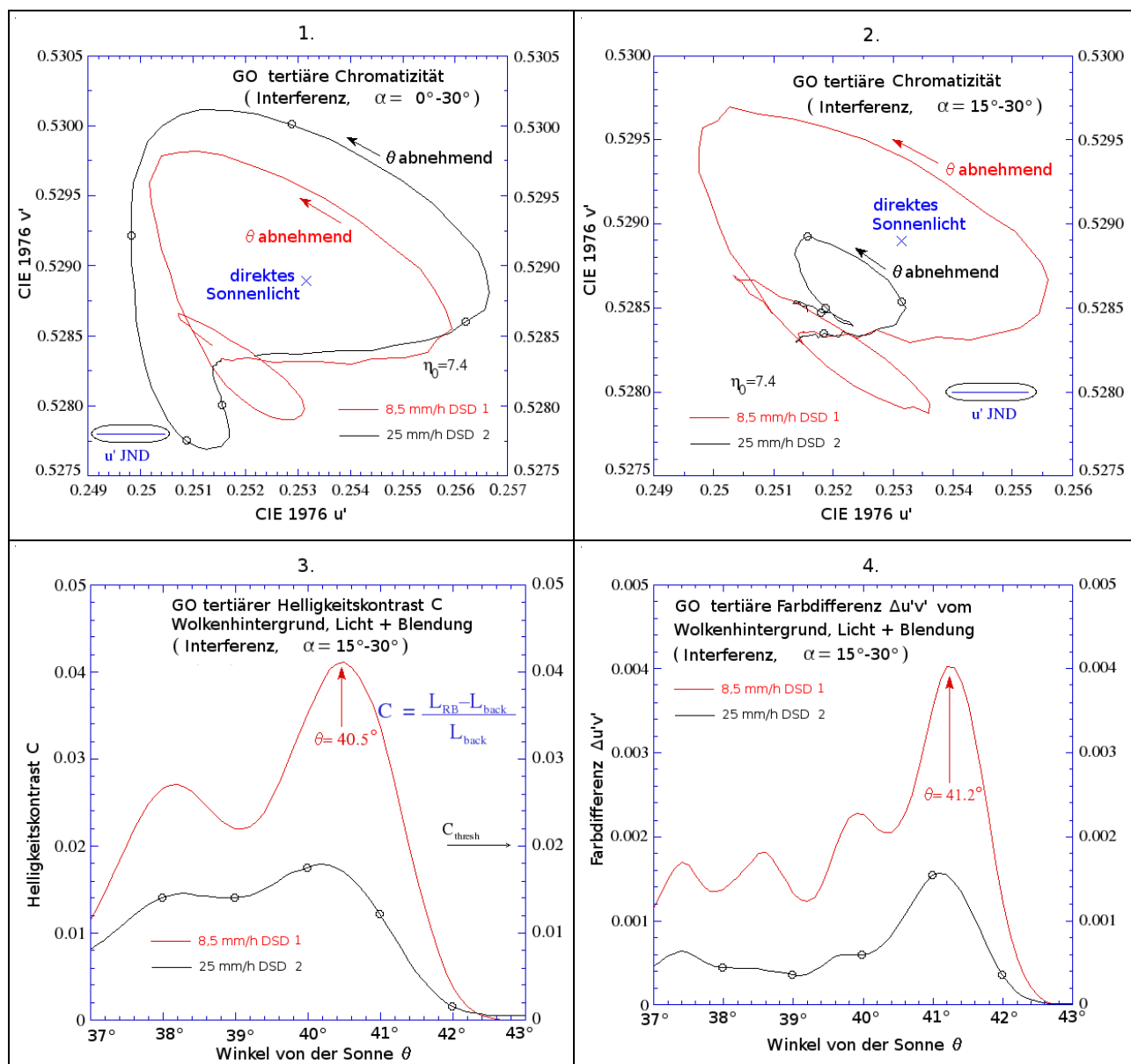
Debye-Reihen (p)	Betrag der Amplitude
2	2,30
4	3,62
6	4,51
8	4,55
10	3,56

Tab.4: Auswahl einiger Ergebnisse der Modellrechnung nach Lock [3]; $n=1,333$; $\phi_0^D \approx 45^\circ$

Axialsymmetrie Def: $\epsilon = \frac{b}{a} - 1; b \neq a$	
Körper als einfaches Ellipsoid [3]	Körper aus 2 ungleichen Halbellipsoiden [1]
$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1$	$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b_1^2} = 1; y' \geq 0$ $\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b_2^2} = 1; y' < 0$
	
	

Tab.5¹⁾: Übersicht beider axialsymmetrischer Tropfenmodelle nach Laven [1], die als Grundlage für die Berechnung von Streumodellen dienen.

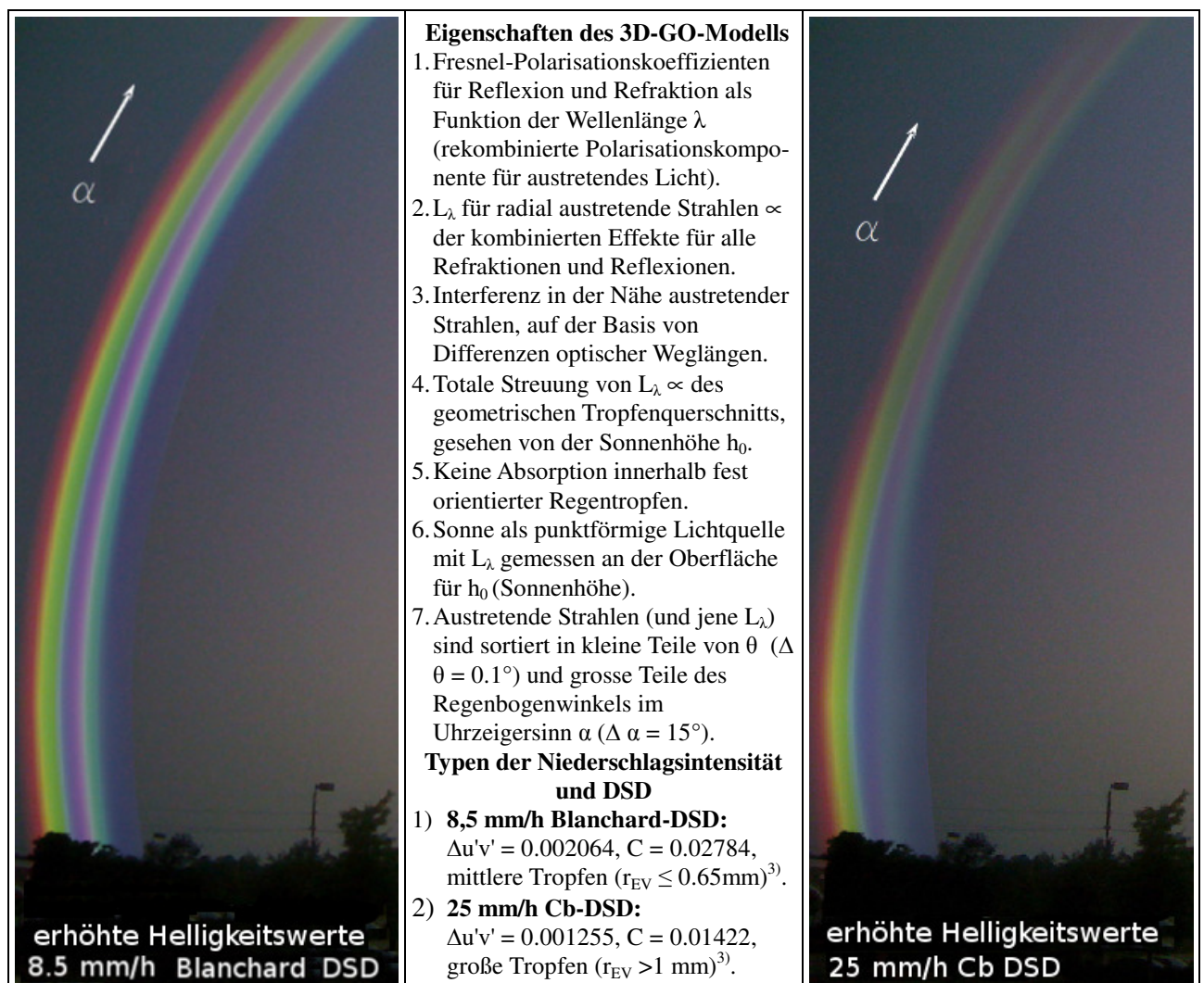
Laven [1] berichtete in seiner Präsentation von einer weiteren Modellrechnung für die Streuung an einem Tropfen mit modifizierter Geometrie. Hierbei handelt es sich um einen Körper, der im Querschnitt zwei ungleiche Halbellipsen zeigt und als deformierter elliptischer Körper immer noch die Bedingungen der Axialsymmetrie erfüllt (Tab.5). Diese modifizierte Geometrie geht auf einem Vorschlag von Adler; Lock und Stone [16] zurück und wird in der Literatur dem Aussehen nach als "hamburger buns" oder "burgeroids" bezeichnet. Mit der Entwicklung dieses Tropfenmodells haben Lock; Adler; Stone und Zajak [16], [17] bereits Ergebnisse publiziert, welche Laven [1] auszugsweise zitiert. Das wesentliche Resultat beider Publikationen ist, dass die Intensität des tertiären Regenbogen ($p = 4$) im Verhältnis zum kugelsymmetrischen Tropfen um den Faktor 13 „verstärkt“ sein kann. Berechnet für einen Tropfenradius von $a \approx 700 \mu\text{m}$, und $b/a = 0.95$. Ein derart „verstärkt“ erscheinender tertiärer Regenbogen wäre diesem Modell zufolge aber nur bei einer Sonnenhöhe von $h > 50^\circ$ realistisch. Dieses Resultat stimmt nicht mit der Beobachtung überein. Die bisher beobachteten tertiären Regenbögen traten hauptsächlich bei einer Sonnenhöhe von $h < 12^\circ$ auf (Tab.1). Es sind daher weitere Untersuchungen zur Verbesserung des Tropfenmodells erforderlichlich.



Tab.6¹⁾: Farbverhalten des tertiären Regenbogens als Funktion von θ , nach Lee [2]; GO – geometrische Optik (3D-Modell); DSD – Drop-Size-Distribution; 8,5 mm/h – 1. Typ der Niederschlagsintensität; 25 mm/h – 2. Typ der Niederschlagsintensität; DSD 1 – Blanchard-DSD; DSD 2 – cb-DSD; θ – Regenbogenwinkel (Ablenkwinkel); α – Regenbogenwinkel im Uhrzeigersinn; C_{thresh} – physiologische Kontrastschwelle; L – Helligkeit im CIEL* $u'v'$ -Farbraum.

Offenbar wurden auch neuere Streumodelle im Team um Henrik Wann Jensen an der University of California, San Diego in Zusammenarbeit mit der Universität Zaragoza, unter anderem auch für die "hamburger buns" berechnet. Leider hat Laven [1] in diesem Zusammenhang keine Quellen referenziert. Es wäre interessant gewesen, sowohl Modelle als auch Ergebnisse vergleichend den bisherigen Resultaten gegenüber zu stellen.

Laven [1] kommt am Ende seiner Ausführungen zu folgenden Schlussfolgerungen: Dass der tertiäre Regenbogen durch die Streuung des Sonnenlichts an kugelförmigen Regentropfen verursacht wird ist unwahrscheinlich, denn die Transmission von Sonnenlicht durch kugelförmige Regentropfen für $(p=1)$ ist stärker als die für Regenbögen $(p=3)$ oder $(p=4)$. Die Streuung an nicht-kugelförmigen Regentropfen könnte dazu führen dass der tertiäre Regenbogen überhaupt erst sichtbar wird. Um die Sichtbarkeit des tertiären und quartären Regenbogens, durch "realistische" Tropfenformen verursacht, untersuchen zu können sind Computersimulationen mit einer Vollfarbauflösung erforderlich. Er schlägt weiterhin vor, wenn man schon nach einem tertiären Regenbogen Ausschau hält, dann sollte man auch gleich auf den quartären Regenbogen, auch Regenbogen vierter Ordnung genannt, achten.



Tab.7¹⁾: Visualisierung der Simulation des 3. Regenbogens mit erhöhten Helligkeitswerten L_v für zwei DSD und Beschreibung der Eigenschaften des 3D-GO-Modells, nach Lee [2].

Die Computersimulation mit Vollfarbauflösung wurde von Raymond Lee, Jr. [2] durchgeführt um die Sichtbarkeit des tertiären Regenbogens unter natürlichen Bedingungen quantitativ besser abschätzen zu können. Hierzu entwickelt er zunächst ein Tropfenauswahlverfahren (DSD = **D**rop-**S**ize-**D**istribution), dass Tropfen gleicher Masse und einem Radius von $(r_{EV} > 1\text{ mm})$ ³ beinhaltet. Weiterhin gehen noch drei

Tropfenformen, ausgehend von kugelförmigen Tropfen und zwei weitere Typen aerodynamisch deformierter Regentropfen in die DSD ein. Dann entsteht ein dreidimensionales Modell der geometrischen Optik (GO) für die polydispersive Transmission von Licht durch den Tropfen bei einer Streuung in Kombination der Debye-Reihen von $p=1$ und $p=4$. Dieses Modell wird auf eine breite Palette von Typen verschiedener Niederschlagsintensitäten angewandt.

Die komplette Modellrechnung wird im CIEL* $u'v'$ -Farbraum [18] auf der Grundlage des CIE 1976-Normfarbsystems durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgt zunächst die Bestimmung des Chromatizität (Projektion $p: \{x, y\} \rightarrow \{u', v'\}$) als Funktion von θ . Danach ist es möglich die chromatische Differenz $\Delta u'v'$ und den Helligkeitskontrast ebenfalls als Funktion des Ablenkwinkels θ von der Sonne zu berechnen (Tab.6). Für die Berechnung der Werte für C und $\Delta u'v'$, entweder mit oder ohne Reflexion 3.-Ordnung, gelten folgende Bedingungen: a) Diffuse Reflexion des Lichtes vom sehr dunklen Wolkenhintergrund. b) Sonnenlicht wird in einem Regentropfen ohne innere Reflexion in Vorwärtsrichtung gebrochen (Blendung 0.-Ordnung).

Das einfache 3D-GO-Modell (Tab.6, 1.) und (Tab.6, 2.) reagiert ziemlich empfindlich auf die Änderungen der Sonnenhöhe h_0 , der DSD und auch sehr sensibel auf die Änderung des Regenbogenwinkels im Uhrzeigersinn α , weil mit wachsendem Betrag von r_{EV} auch die Abplattung der Tropfen zunimmt. Im Intervall $\alpha = 15^\circ - 30^\circ$ liegt der Helligkeitskontrast für die 8,5 mm/h Blanchard-DSD oberhalb der physiologischen Kontrastschwelle des menschlichen Auges ($C_{\text{thresh}} = 0.02$) (Tab.6, 3.), aber wir sehen den tertiären Regenbogen mit geringerer Wahrscheinlichkeit im Helligkeitskontrast C , als vielmehr im Farbkontrast oder Farbdifferenz $\Delta u'v'$ unter Berücksichtigung des dunklen Hintergrundes (Tab.6, 4.). Die physikalisch-optischen Eigenschaften des 3D-GO-Modells sind in Tab.7 zusammengefasst.

Lee [2] hat noch weitere Simulationen unter Voraussetzung verstärkter Helligkeitswerte L_v durchgeführt (Tab.7). Diese Simulationen heben die unterschiedlichen Helligkeitsverteilungen in den Niederschlagsdistributionen hervor, welche das 3D-GO-Modell bereits vorhergesagt. Die Blanchard-DSD ist durch einen Mangel an großen Tropfen gekennzeichnet. Diese Distribution definiert eine mittlere Tropfengröße ($r_{EV} \leq 0.65 \text{ mm}$)³ mit milchig-glasiger Opazität und ist mit der Niederschlagsintensität von 8,5 Millimeter pro Stunde korreliert. Tab.7 zeigt deutlich, dass die Helligkeitsverteilung für L_v gleichmäßiger ist bei zunehmendem α und die überzähligen Bögen sind offensichtlich erkennbar. Die zweite Simulation (Tab.7) mit der Cb-DSD berücksichtigt großtropfigen Starkniederschlag mit einer Intensität von 25 mm/h, wie er aus einem sehr mächtigen Cb (Cumulonimbus) gewöhnlich fällt. Diese Visualisierung (Tab.7) zeigt zwar eine breitere Helligkeitsverteilung am Fuß des Bogens, L_v nimmt aber mit wachsendem α ziemlich schnell ab. Die überzähligen Bögen sind ebenfalls erkennbar, unterliegen aber dem gleichen Verhalten der Helligkeitsverteilung L_v .

Nach Auswertung mehrerer Simulationen kommt Lee [2] zu folgenden Ergebnissen: Die Streuung an Tropfen als natürliche Ursache des tertiären Regenbogens bringt von Natur aus einen schwachen Kontrast, sowohl in der Farbe als auch in der Helligkeit und im Vergleich mit diffus reflektiertem Licht am Wolkenhintergrund und bei vorwärts gestreutem Licht aller Ordnungen, mit sich. Unter idealen Umständen sollte Licht nach innerer Reflexion dritter Ordnung gerade so unter folgenden Bedingungen sichtbar sein: Es muss bei direkter Sonneneinstrahlung ein sehr dunkler Wolkenhintergrund vorhanden sein und Niederschlag in einer engen Bandbreite von kleinen bis mittelgroßen Tropfen ($r_{EV} \leq 0,65 \text{ mm}$) auftreten.

Zusammenfassend kann folgendes gesagt werden: Alle Referenten halten die Sichtbarkeit des tertiären Regenbogens in der freien Natur prinzipiell für möglich. Die Bedingungen unter denen er auftreten sollte, werden von ihnen allerdings unterschiedlich bewertet. Philip Laven [1] geht recht optimistisch an die Sache heran und empfiehlt bei der Gelegenheit auch gleich auf den Bogen vierter Ordnung zu achten, während bei Raymond Lee [2] ein pessimistischer Unterton in seinen Ausführungen nicht zu überhören war. Seine Betrachtungen über Helligkeit, Kontrast und Farbdifferenz liefern auch die größte Menge an Einschränkungen in der Sichtbarkeit des dritten Bogens. Wenn man bedenkt, dass im Zeitraum von 1758 bis 1986 nur vier anerkannte Beobachtungen (Tab.1) überliefert sind, wird sofort klar, dass es sich hierbei um eine äußerst seltene Erscheinung handelt. Einschränkend kommt noch hinzu, dass der tertiäre Regenbogen in Sonnenrichtung entsteht und man neben dem schwachen Kontrast auch noch mit einer er-

heblichen Blendwirkung rechnen muss. Bei welchen Tropfenformen und Niederschlagsintensitäten dieser Regenbogen bevorzugt in Erscheinung tritt kann nicht einmal mit hinreichender Sicherheit gesagt werden. Die oben vorgestellten Modellbetrachtungen geben lediglich eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für deren Auftreten bei kleinen, mittelgroßen und nicht-kugelförmigen Regentropfen an.

Auf Grund der noch zu lösenden Probleme eröffnet sich hier ein Betätigungsfeld für Wetterbeobachter. Bisher existiert noch kein Foto vom tertiären Regenbogen. Lee [2] präsentierte am Ende seines Vortrages ein Foto, auf dem nur wenige glitzernde Punkte zu sehen sind. Man braucht hier schon viel Phantasie um darin überhaupt auch nur ansatzweise einen Teil dieses Regenbogens zu erkennen. Ein Foto mit einem eindeutig identifizierbaren tertiären Regenbogen wäre eine echte Sensation. Sollte ein solcher Bogen jemals wieder gesehen werden, dann ist es sinnvoll ebenso die Niederschlagsart, Niederschlagsintensität und die Tropfenform(en) zu bestimmen. Weitere Beobachtungen und ganz besonders Fotos sind hier sehr willkommen.

Anmerkungen

¹⁾ Alle Abbildungen, graphische Darstellungen und mathematischen Symbole wurden aus den entsprechenden Power-Point-Präsentationen entnommen. Weiterhin bestand die Notwendigkeit die Gleichungen und Formeln in den Tabellen mit einem Formeleditor anhand der handschriftlichen Vorlage neu zu erstellen. Zum besseren Verständnis sind in Tab.3 noch zusätzlich Definitionen und Gleichungen zur Geometrie der Ellipse hinzugefügt. In Tab.5 wurden die Abbildungen der einfachen Ellipsen mit einem Grafikprogramm neu erstellt. In Tab.6 bezieht sich die Phrase „GO tertiäre ...“ auf die Anwendung des 3D-GO-Modells speziell auf den tertiären Regenbogen. In Tab.6 und Tab.7 erfolgte eine Übersetzung der Grafikinschriften ins Deutsche, wobei in Tab.7 das Wort „Blanchard“ als Fachbegriff bestehen bleibt.

²⁾ Im Rahmen dieses Aufsatzes ist es nicht möglich den Inhalt dieses Vortrages umfassend zu beschreiben. Die wichtigsten Zusammenhänge und Ergebnisse sind daher in stark schematisierter Form in Tab.2 und Tab.3 zusammengefasst. Eine ausführliche und vor allem hervorragend kommentierte theoretische Abhandlung zum Thema Regenbogen findet man bei Adam [11].

³⁾ r_{EV} – Radius bestimmt aus Tropfen gleichen Volumens (EV = equivalent-volume).

Quellen

- [1] Laven, Philip: „Tertiary Rainbows: Do they exist in nature?“, ppt-Vortrag.
 [2] Lee, Raymond L., Jr.: „Visibility of natural rainbows“, ppt-Vortrag.
 [3] Lock, James A.: „Airy theory and Mobius shift extendet to rainbows of all orders“, ppt-Vortrag.
 [4] Mie, Gustav: „Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen“. Annalen der Physik, Folge 4, Vol.25, No.03, (1908), S.377-445.
 URL:<http://diogenes.iwt.uni-bremen.de/vt/laser/papers/Mie-Beitrag-zur-Optik-AnnalenPhysik1908.PDF>, [5] Willerding, Eugen: „Zur Theorie von Regenbögen, Glorien und Halos“
 URL:<http://www.astro.uni-bonn.de/~willerd/regenbogen.pdf>
 [6] Cowley, Les: URL:<http://www.atoptics.co.uk/rainbows/ord34.htm>
 [7] Bergman, Torbern: “Von den Erklärungen des Regenbogens,” Der königlich schwedischen Akademie der Wissenschaften Abhandlungen aus der Naturlehre, Haushaltungskunst und Mechanik, Jg. 21 (1762), S. 231-243.
 [8] Hartwell, Charles: “Description of a tertiary rainbow,” American Journal of Science and Arts, Vol.. 17, (2nd series, May 1854), p. 56-57.
 [9] Heilermann, Johannes: “Ueber den dritten Regenbogen,” Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht, Jg. 11 (1880), S. 72-73.
 [10] Pedgley, David: „A tertiary rainbow“ Weather: Vol.41, (1986), p.401.
 [11] Adam, John A.: „The mathematical physics of rainbow and glories“ Physics Reports, No.356, (2002), p.229-365,
 URL:http://www.cems.uvm.edu/~lakobati/AppliedUGMath/rainbow_glory_review.pdf,
 [12] Können, G.P. & de Boer, J.H.: „Polarized rainbow“ Applied Optics, Vol.18, No.12, (1979), p.1961-1965,
 URL:http://www.guntherkonnem.com/downloads/1979_rainbow_AO.pdf,
 [13] Nussenzweig, H.M.: „High-Frequenzy Scattering by a Transparent Sphere. I Direct Reflection and Transmission“ Journal of mathematical physics, Vol.10, (1969), p.82-124.
 [14] Nussenzweig, H.M.: „High-Frequenzy Scattering by a Transparent Sphere. II theory of the rainbow and the glory“ Journal of mathematical physics, Vol.10, (1969), p.125-176.
 [15] Möbius, W.: „Zur Theorie des Regenbogens und ihrer experimentellen Prüfung“ Abhandlungen der Mathematisch-Physikalischen Klasse Bd.30, No.11, (1907), S.103-256

- [16] Adler, Charles L.; Lock, James A., and Stone, Bradley R.: „Rainbow scattering by a cylinder with a nearly elliptical cross section“, *Applied Optics*, Vol.37, No.09, (1998), p.1540-1550.
- [17] Lock, J.A.; Adler, C.L.; Stone; B. R. and Zajak, P. D. “Amplification of high-order rainbows of a cylinder with an elliptical cross section,” *Applied Optics*, Vol.37, No.9, (1998), p. 1527-1533
- [18] „CIELUV-Farbrausystem“, URL:<http://de.wikipedia.org/wiki/CIELUV-Farbrausystem>

English summary

Visual meteor observations in July 2010:

five observers recorded data of 715 meteors in almost 83 hours (covering 19 nights). This is above the average of the recent years but slightly less than during the exceptional July 2006. This year, the end of the month was affected by moonlight. Between July 7 and 13, some July-Pegasids were reported. This shower was rejected from the working list but both recent video data and the 2010 visual data show the shower.

Video meteor observations in July 2010:

17 cameras of the IMO network collected data of in more than 20 nights, and in total more than 13000 meteors in 2600 hours were recorded. The July-Pegasids were well detectable as in the visual data, but not exceeding the average level over the recent years. The Perseids produced obvious rates on July 14-17. Investigations towards a flux determination were made, considering the effective collection area for a given camera.

Hints for the visual meteor observer in October 2010:

the Antihelion source is superposed by the stronger Taurid radiants from end-September onwards. The Draconids are expected to reach their maximum on October 8 near 2245 UT. Shower meteors are very slow. Orionids can be observed from October 2 onwards. The peak period is strongly moonlit. The same holds for the weak Leonis Minorids and the epsilon Geminids. Care should be taken to distinguish between these radiants.

Halo observations in June 2010:

29 observers noted 379 solar haloes on 28 days and seven lunar haloes on three days. The halo activity index for June 2010 was well below the average with strong local differences. Only observers in a belt over the central part of Germany saw about the average number of haloes while close to the Alps very few or no haloes at all were seen.

Rainbows - a report from the "Light and Color in Nature" conference:

details of the optics behind the tertiary rainbow are summarized and explained by Rainer Schmidt, including the effect of droplet sizes, and comparing it with observation reports.

Unser Titelbild...

... zeigt einen Regenbogen am 2. August 2000 auf dem Wendelstein. Aufnahme: Claudia Hinz, Brannenburg. Auf Seite 186 in diesem Heft erscheint der erste Teil einer Beitragsfolge über Regenbögen.

Impressum:

Die Zeitschrift *METEOROS* des Arbeitskreises Meteore e. V. (AKM) über Meteore, Leuchtende Nachtwolken, Halos, Polarlichter und andere atmosphärische Erscheinungen erscheint in der Regel monatlich. *METEOROS* entstand durch die Vereinigung der *Mitteilungen des Arbeitskreises Meteore* und der *Sternschnuppe* im Januar 1998.

Nachdruck nur mit Zustimmung der Redaktion und gegen Übersendung eines Belegexemplares.

Herausgeber: Arbeitskreis Meteore e. V. (AKM), c/o Ina Rendtel, Mehlsbeerenweg 5, 14469 Potsdam

Redaktion: André Knöfel, Am Observatorium 2, 15848 Lindenberg

Meteorbeobachtung visuell: Jürgen Rendtel, Eschenweg 16, 14476 Marquardt

Video-Meteorbeobachtung: Sirko Molau, Abenstalstraße 13 b, 84072 Seysdorf

Beobachtungshinweise: Roland Winkler, Merseburger Straße 6, 04435 Schkeuditz

Feuerkugeln: Thomas Grau, Puschkinstr. 20, 16321 Bernau

Halo-Teil: Wolfgang Hinz, Bräuhausgasse 12, 83098 Brannenburg

Meteor-Fotonetz: Jörg Strunk, Kneippstr. 14, 32049 Herford

EN-Kameranetz und Meteorite: Dieter Heinlein, Lilienstraße 3, 86156 Augsburg

Polarlichter: Ulrich Rieth, Rumpffsweg 37, 20537 Hamburg

Bezugspreis: Für Mitglieder des AKM ist 2010 der Bezug von *METEOROS* im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Für den Jahrgang 2010 inkl. Versand für Nichtmitglieder des AKM 25,00 €. Überweisungen bitte mit der Angabe von Name und „Meteoros-Abo“ an das Konto 2913417200 von Ina Rendtel bei der SEB Potsdam, BLZ 160 101 11.

Anfragen zum Bezug an AKM, c/o Ina Rendtel, Mehlsbeerenweg 5, 14469 Potsdam

oder per E-Mail an: Ina.Rendtel@meteoros.de