

**DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE**

**TECHNICAL REPORT**

**99-8**

**Måling af Soltimer**

**Maj 1999**

**Maja Kjørup Nielsen**



**Copenhagen 1999**

**ISSN 0906-897X**



## Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	1
2. Metode til registrering af antal solskinstimer med pyranometer.....	3
3. Forskelle på instrumenter.....	6
4. Resultater.....	7
4.1 Månedssum.....	7
4.2 Døgnsam.....	11
4.3 Timesummer.....	13
4.4 Sammenligning af Haenni og Pyranometre.....	14
4.5 Ændret tidsopløsning.....	15
5. Konklusion.....	24
6. Litteratur.....	25

## Bilag

1. Tekniske data for CM21
2. Tekniske data for CM11
3. Tekniske data for Star
4. Tekniske data for Haenni
5. Timesummer for hver måned
6. Timesummer for hver måned, ny metode

## 1. Indledning

Antallet af solskinstimer registreres i Danmark med solautografen Campbell-Stokes/Casella. Der er nu opstået et ønske om at gå over til automatisk registrering af antallet af solskinstimer. Dette kræver, at man går over til en anden type instrument.

Når man overgår til at måle med et andet instrument kan det være vanskeligt at bevare homogeniteten i tidsserierne, fordi det nye instrument benytter andre målemetoder, og dermed kan der være ændringer i følsomhedsniveauet, tidsopløsningen mv.

Der er i et par år foretaget parallelle målinger af antal solskinstimer på DMI i Jægersborg med forskellige automatiske instrumenter og den traditionelle solautograf Campbell-Stokes/Casella. Målingerne er foretaget med henblik på at undersøge hvilken betydning det vil have for tidsserierne, at overgå fra registrering af antallet af solskinstimer med solautografen til et automatisk instrument. I denne rapport beskrives denne undersøgelse, og der er givet bud på betydningen for målingerne, samt årsagen hertil.

I undersøgelsen indgår to typer automatiske instrumenter: Haenni Solar 111 samt 3 forskellige pyranometre: CM21 og CM11 fra Kipp & Zonen samt Star Type 8106 fra Ph. Schenk. I bilag 1 - 4 er de tekniske data for hvert af de automatiske instrumenter beskrevet. Instrumenterne vil i det følgende blive benævnt hhv. Casella, Haenni, CM21, CM11 og Star.

Haenni ligner Casella på den måde, at det er en solskinsdetektor, der direkte registrerer om solen skinner eller ej. Haenni registrerer solskin når den direkte indstråling overstiger et fastsat niveau.

Pyranometrene måler global indstråling, hvilket inkluderer direkte indstråling fra solen samt diffus stråling.

Oliviéri har vist, at det er muligt at måle antallet af solskinstimer med et pyranometer [Oliviéri, 1998]. Dette gøres ved sammenligning af den målte globale indstråling med en matematisk model for den globale stråling på et givet tidspunkt. Resultaterne i [Oliviéri, 1998], som blev til på baggrund af målinger foretaget i Carpentras, Frankrig, viste, at der kun var en fejl på  $\pm 1\%$  på det totale antal solskinstimer registreret i løbet af et år i forhold til referencen (et pyrhelimeter).

Det er en fordel at bruge et pyranometer, da man således kan måle både antallet af solskinstimer samt global indstråling med et instrument.

Det vil i denne rapport blive undersøgt om det er muligt at benytte pyranometre til registrering af antal solskinstimer med målingerne foretaget i Jægersborg. Jægersborgmålingerne skiller sig ud fra dem fra Carpentras ved, at der her er en anden reference, nemlig Casella, som har en betydelig mindre tidsopløsning end de automatiske instrumenter.

Sammenligning af to instrumenter med forskellig tidsopløsning er foretaget af Dobesh & Mohnl i 1992.

Her blev Casella og Haenni sammenlignet for 3 forskellige lokaliteter i Østrig [Dobesh & Mohnl, 1992]. Det blev fundet, at der er to fundamentale forskelle i målingerne fra de to instrumenter. Under omstændigheder med hurtigt skiftende skydække måler Casella flere solskinstimer end Haenni. Det skyldes Casellaens lavere tidsopløsning i forbindelse med aflæsningspraksis, og betyder, at antallet af solskinstimer sandsynligvis er overestimeret. I situationer med lav solhøjde resulterer Haenniens større følsomhed i mere solskin end målt med Casella.

I gennemsnit måler Haenni 1% til 4% mere solskin på lavlandsstationer, som kan sammenlignes med stationen i Jægersborg.

## **1.1 Datagrundlag**

Data, der er benyttet til undersøgelsen stammer fra hele 1997 og 1998. Der er blevet målt hvert 15. sekund året rundt med de 4 automatiske instrumenter. 9.5% af data fra denne periode er ikke med i undersøgelsen på grund af fejl eller mangler i de automatiske instrumenter. Derudover eksisterer der ikke data fra Casella fra april og maj 1998, så disse måneder er ikke medtaget i undersøgelsen.

## 2. Metode til registrering af antal solskinstimer med pyranometer

Global indstråling og antallet af solskinstimer er godt korrelerede, hvilket gør det muligt at måle antallet af solskinstimer med et pyranometer.

Man kan opstille en model for den globale indstråling på en skyfri dag på en bestemt lokalitet. Modellen sammenlignes med den globale indstråling målt med et pyranometer, og på den måde kan man finde frem til om solen skinner på det pågældende tidspunkt.

Definitionen på om solen skinner er iflg. [WMO-No. 590, 1981], at den direkte indstråling er højere  $120 \text{ W/m}^2$ .

I det følgende benyttes en metode til beregning af antallet af solskinstimer ud fra den globale stråling, som er beskrevet af Oliiviéri i 1998 [Oliiviéri, 1998]. Iflg. denne metode er den direkte indstråling højere end  $120 \text{ W/m}^2$  hvis

$$E_M > F_C \cdot E_G \quad (1)$$

hvor

$E_M$  er den målte globale stråling

$F_C$  er en dimensionsløs empirisk konstant tæt på 0.7, se (3)

$E_G$  er den globale stråling på en skyfri dag.  $E_G$  afhænger af solhøjden

Solskinstiden defineres som summen af intervaller indenfor et tidsrum hvor (1) er opfyldt.

Ifølge [Oliiviéri, 1998] kan den globale stråling beregnes som:

$$E_G = 1080 \text{ W} / \text{m}^2 (\sin(h + \alpha))^\beta \quad (2)$$

hvor

$h$  er solhøjden

$\alpha$  er en empirisk parameter mellem 0 og 0.15

$\beta$  er en eksponent tæt på 1.22, ligeledes empirisk

I denne undersøgelse benyttes de samme empiriske konstanter, som blev brugt i [Oliiviéri, 1998], dermed sættes  $\alpha$  til 0 og  $\beta$  til 1.22.

Denne model er testet i [Oliiviéri, 1998], og de bedste resultater sammenlignet med referencen blev fundet når faktoren  $F_C$  varierede afhængende af både tid på året og tid på døgnet.  $F_C$  blev således fundet til:

$$F_C = (A + B \cos \theta) \cdot (ah + b) \quad (3)$$

$$\theta = 2\pi \frac{d}{365} \quad (4)$$

hvor

$$A = 0.74$$

$$B = 0.04$$

$$a = -0.0028$$

$$b = 1$$

d betegner dagens nummer regnet fra 1. januar

Solhøjden er fundet ved [WMO-No. 8, 1996]:

$$\sinh = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad (5)$$

hvor

$\delta$  er solen deklination

$\varphi$  er breddegraden

$\tau$  er timevinklen

Solens deklination er givet ved [WMO-No. 8, 1996]:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos \theta + 0.070257 \sin \theta - 0.006758 \cos 2\theta + 0.000908 \sin 2\theta \quad (6)$$

og timevinklen  $\tau$  er givet ved:

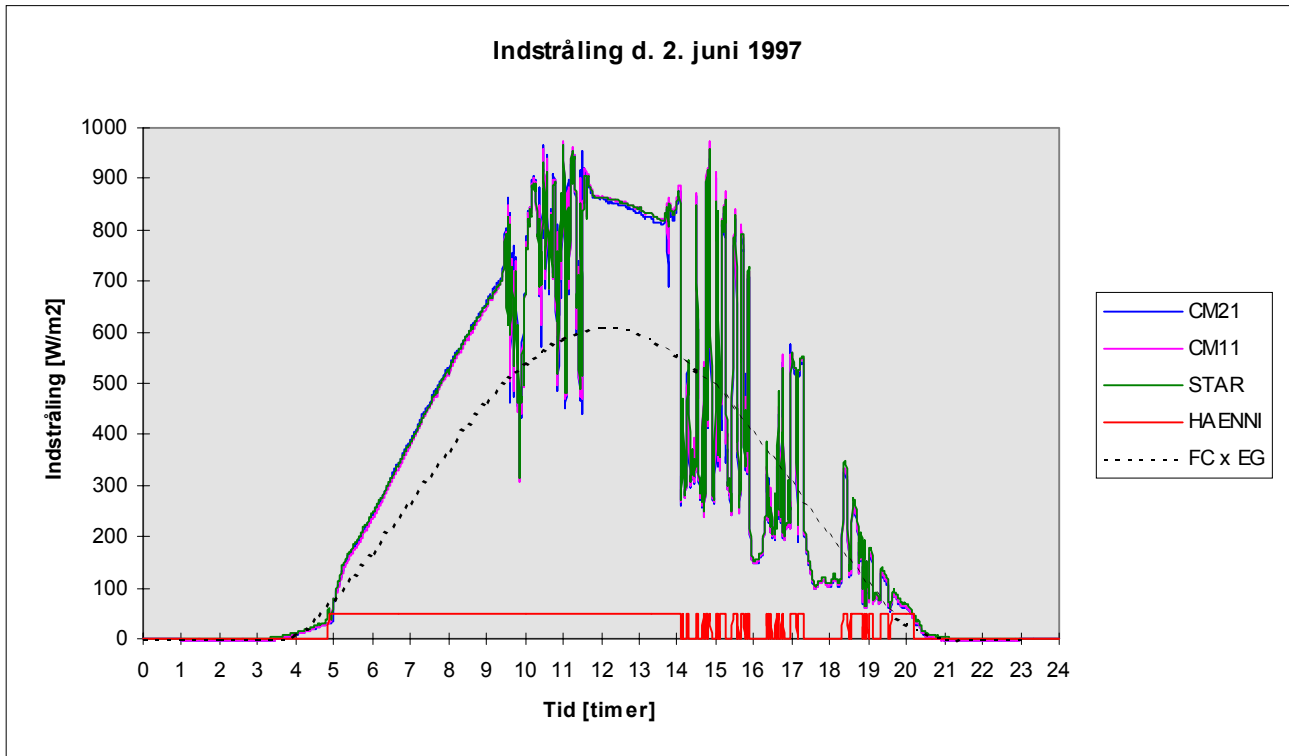
$$\tau = \begin{cases} \pi(\frac{t}{12} + 1) & \text{for } t < 12 \\ \pi(\frac{t}{12} - 1) & \text{for } t \geq 12 \end{cases} \quad (7)$$

hvor

t betegner tidspunktet på dagen [0:24].

Ved sammenligningen af den målte globale stråling og modellen gælder, at resultatet automatisk sættes til 0, hvis solhøjden er mindre end 3 grader.

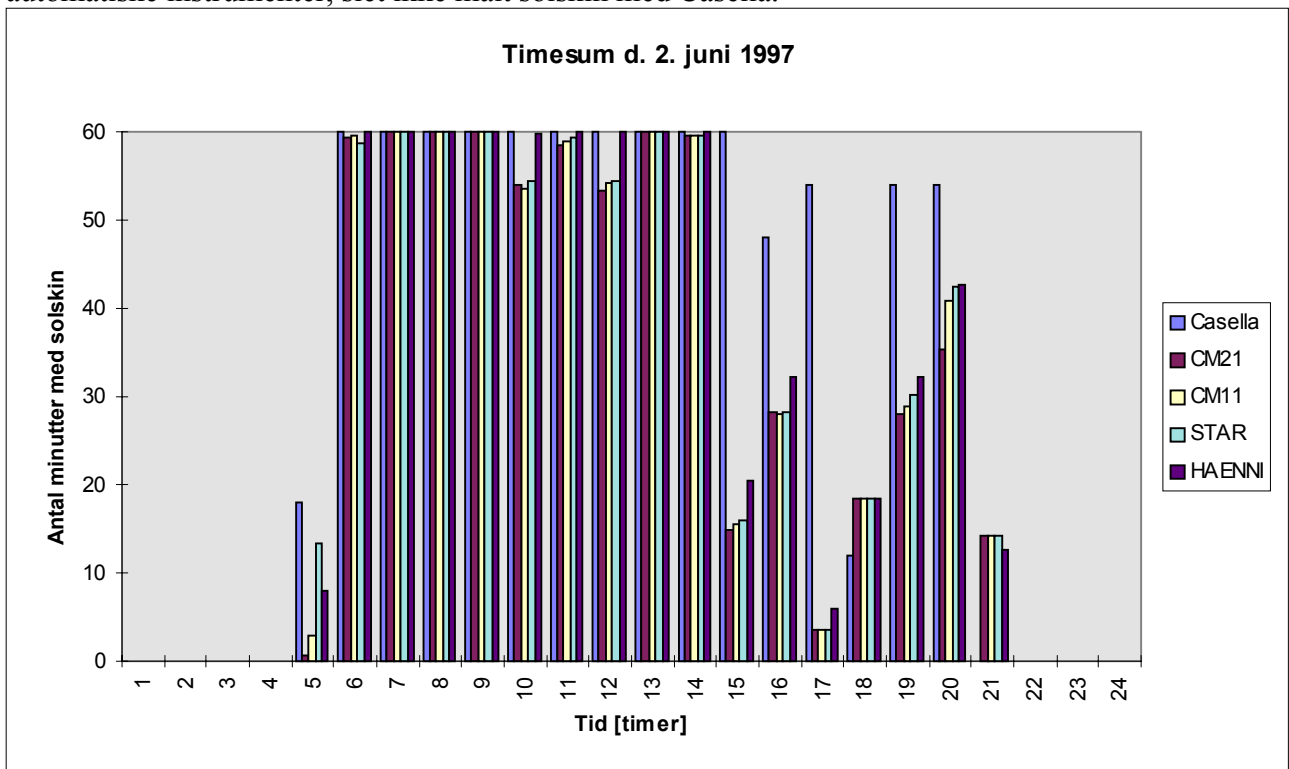
For at illustrere metoden er vist et eksempel fra d. 2 juni 1997. På figur 1 er optegnet den globale indstråling over døgnet målt med de tre pyranometre, samt produktet  $F_C \times E_G$ . Målingerne fra Haenni er også optegnet på diagrammet hvor værdien 50 angiver solskin og 0 ikke solskin. Det ses, at solen den dag stort set skinnede konstant fra kl. 5 til kl. 14, hvorefter der var skiftende skydække. Der er nogle kortere tidsrum mellem kl. 9 og 12, hvor der ikke registreres solskin med pyranometrene, mens der registreres sol med Haenni. Ellers er der god overensstemmelse mellem pyranometrene og Haenni.



Figur 1

På figur 2 er lavet søjlediagram over solskinstiden hver time over døgnet for alle de automatiske instrumenter og solautografen. Det ses, at i perioden efter kl. 14, med skiftende skydække registrerer Casella mere solskinstid end de andre instrumenter.

Derudover bliver der i timen mellem 20 og 21, som er den sidste, der registreres sol med de automatiske instrumenter, slet ikke målt solskin med Casella.



Figur 2



### **3. Forskelle på instrumenter**

Når man overgår fra et måleinstrument til et andet er det klart, at der vil være en ændring i tidsserierne.

Der er her givet et bud på forskellen mellem de forskellige instrumenttyper, og hvordan dette kan influere på målingerne.

#### **3.1.1 Tidsopløsning**

Solautografens tidsopløsning er på 6 min, mens de automatiske instrumenter, måler hvert 15. sekund. Det kan betyde, at der kan være forskel i registreringen af tid med solskin på dage med hurtigt skiftende skydække. Hvis der f.eks. et par minutter går en sky for solen vil dette blive registreret af de automatiske instrumenter men muligvis ikke af Casella.

#### **3.1.2 Følsomhedsniveau**

Der kan være forskel i følsomhedsniveau. Målinger med Casella vil sandsynligvis være influeret af målepapirets kvalitet og tilstand. Man kan forestille sig, at f.eks. luftens fugtighed vil have en stor indflydelse på papirets tilstand. Dermed vil grænseværdien for registrering af solskin med Casella kunne blive flyttet fra de  $120 \text{ W/m}^2$ , der er definitionen.

Konsekvenserne af forskellige følsomhedsniveauer forventes at være størst i situationer med lav direkte solstråling, f.eks. i perioder lige efter solopgang og lige inden solnedgang.

#### **3.1.3 Varme**

Der har i hele observationsperioden været varme på Casella og Haenni, men ikke på pyranometrene. Det kan have en stor betydning især under vejrlig, hvor der afsættes dug, rim osv. på pyranometrene, som kan forårsage fejl ved målingerne, og medføre, at disse ikke registrere så meget sol som Casella og Haenni.

#### **3.1.4 Model**

For pyranometrene antages det, at den matematiske model for direkte indstråling er korrekt. Der vil derfor indtræde usikkerheder hvor modellen ikke præcist er som virkeligheden.

#### **3.1.5 Aflæsningsfejl**

Mht. Casella aflæses målepapiret manuelt, med deraf følgende muligheder for spredning i tolkning af brændspor m.m.

## 4. Resultater

For hver måling er der for pyranometrenes vedkommende foretaget en sammenligning med produktet  $F_C \times E_G$ , og der er på den måde fundet frem til om solen skinner på det pågældende tidspunkt.

Resultatet antages at gælde for de følgende 15. sekunder indtil næste måling. Dette gælder ligeledes for Haenni.

Målinger med Casella er gemt som timesummer i DMI's klimadatabase. For at kunne sammenligne resultater er data fra de automatiske instrumenter derfor opsummeret i timeintervaller som mindste enhed.

### 4.1 Månedssum

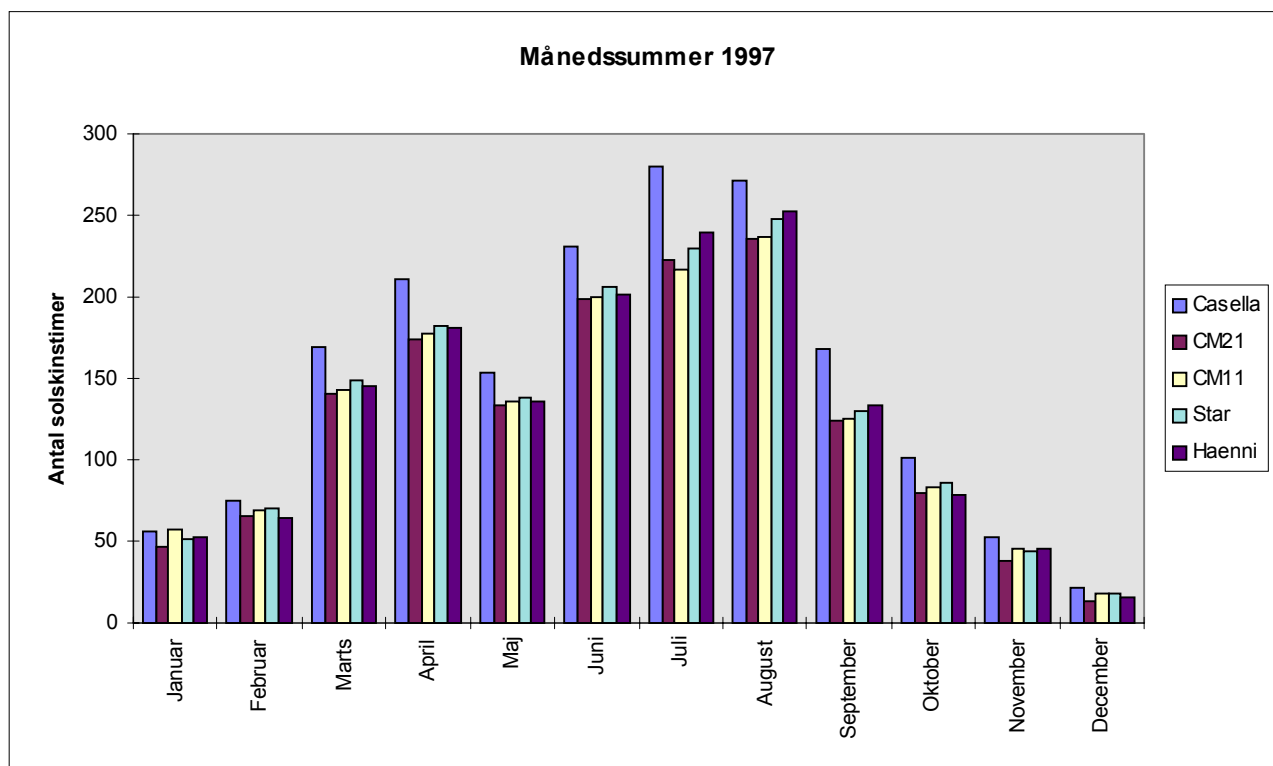
En første ide om hovedforskellene mellem de forskellige instrumenter fås ved en sammenligning af månedssummer.

I tabel 1 og figur 3 og 4 ses månedssummen for de 5 instrumenter. Månedssummen for maj 1997 og september 1998 er atypisk lav, hvilket skyldes, at der mangler data fra hhv. 8 og 5 dage disse måneder.

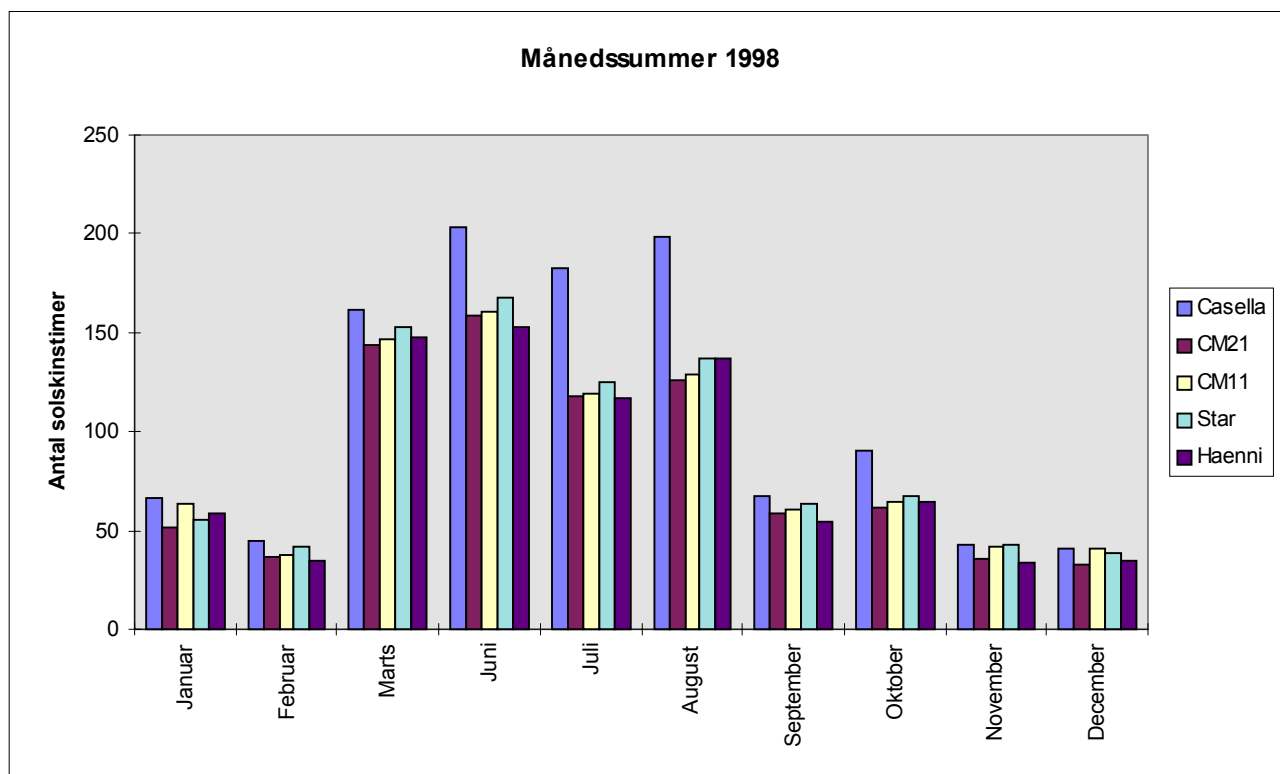
Det ses, at der generelt måles flere solskinstimer med Casella end med de andre instrumenter, undtagelser er dog CM11 i januar 1997 og Star i november 1998.

Månedssum						
		Casella	CM21	CM11	Star	Haenni
1997	Januar	56.2	46.9	57,4	51,6	52,0
	Februar	75.5	66.0	68,8	70,8	64,0
	Marts	168.8	140.7	143,1	149,2	145,7
	April	210.6	174.0	177,1	182,7	181,4
	Maj	153.1	132.9	135,1	138,6	135,6
	Juni	230.6	199.2	200,2	206,2	201,0
	Juli	280.3	222.8	217,3	229,6	239,8
	August	271.2	235.8	236,8	247,5	252,6
	September	167.6	123.4	125,3	129,5	132,8
	Oktober	101.6	80.2	83,4	85,3	78,9
	November	52.6	38.0	44,9	44,4	45,0
	December	21.6	13.5	17,8	17,3	15,4
	Total 1997	1789.7	1473.4	1507,0	1552,6	1544,1
1998	Januar	66.9	51.3	63,1	55,1	58,0
	Februar	44.4	36.4	37,9	41,2	35,0
	Marts	162.0	144.1	146,4	152,4	148,2
	Juni	203.7	159.1	160,4	167,2	152,5
	Juli	182.4	117.8	119,5	125,1	116,9
	August	198.2	126.2	129,3	136,5	136,6
	September	67.9	58.6	60,1	63,2	54,1
	Oktober	90.3	61.5	64,3	67,8	64,8
	November	42.6	36.1	41,8	43,1	33,3
	December	40.7	32.3	41,0	38,4	34,7
	Total 1998	1099.1	823.5	863,7	890,1	834,1

Tabel 1



Figur 3



Figur 4

Det ses, at den største absolutte forskel indtræder i forårs- og sommermånederne. Men det er også i disse måneder der har været flest solskinstimer. Hvis man betragter tabel 2, hvor der er vist den procentvise afvigelse af de forskellige instrumenter i forhold til Casella ses, at den procentvise afvigelse ikke er markant større i forårs- og sommermånederne end resten af året. Afvigelserne ligger

i intervallet -2% til 38%. I 1997 er der størst afvigelse i december, det er dog samtidig også her der er målt færrest solskinstimer, så den absolutte forskel er ikke så stor. Mens i 1998 er den største afvigelse i sommermånederne juli og august. Der ses altså ikke nogen tydelig årstidsvariation i den procentvise afvigelse mellem de automatiske instrumenter og Casella i hele måleperioden.

Nederst i tabel 2 er angivet den totale forskel over hele testperioden. Års- og totalsummer for procentvise afvigelser er i denne og de følgende tabeller udregnet som  $\frac{1}{n} \sum_1^n |x|$ .

Afvigelserne ligger her på mellem 14.1 og 21.1, med Star som den af de automatiske instrumenter, der måler det største antal solskinstimer, og dermed ligger tættest op ad Casella, og CM21 der har målt færrest solskinstimer.

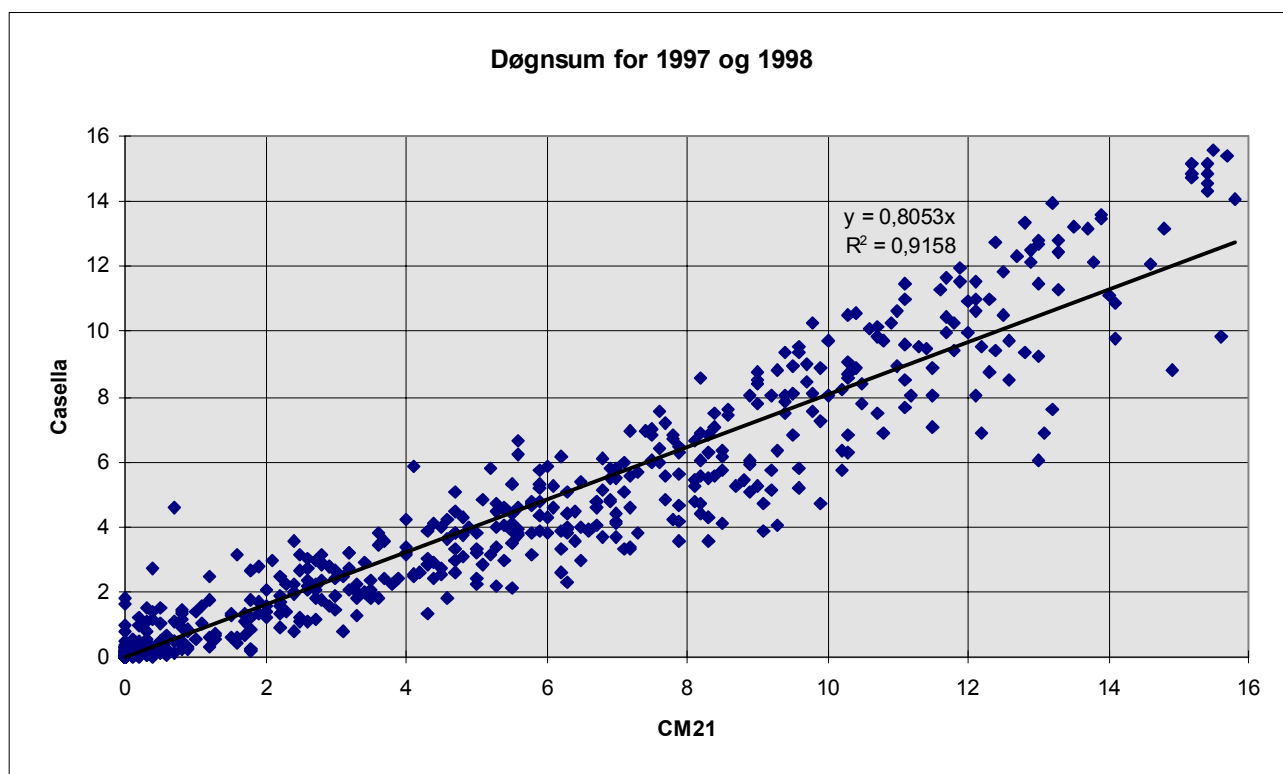
Procentvis afvigelse fra Casella						
		CM21	CM11	Star	Haenni	
1997	Januar	16.6	-2.1	8.1	7.4	
	Februar	12.5	8.9	6.2	15.3	
	Marts	16.6	15.2	11.6	13.7	
	April	17.4	15.9	13.2	13.9	
	Maj	13.2	11.7	9.5	11.5	
	Juni	13.6	13.2	10.6	12.8	
	Juli	20.5	22.5	18.1	14.5	
	August	13.1	12.7	8.8	6.8	
	September	26.4	25.3	22.8	20.8	
	Oktober	21.0	17.9	16.1	22.3	
	November	27.8	14.7	15.6	14.4	
	December	37.6	17.8	19.8	28.8	
	Sum 1997	19.7	14.8	13.4	15.2	
1998	Januar	23.3	5.6	17.7	13.2	
	Februar	18.1	14.6	7.2	21.2	
	Marts	11.0	9.6	5.9	8.5	
	Juni	21.9	21.3	17.9	25.1	
	Juli	35.4	34.5	31.4	35.9	
	August	36.3	34.8	31.1	31.1	
	September	13.7	11.5	6.9	20.3	
	Oktober	31.9	28.8	24.9	28.2	
	November	15.3	1.8	-1.2	21.9	
	December	20.6	-0.6	5.7	14.8	
		Sum 1998	22.7	16.3	15.0	22.0
		Totalsum	21.1	15.5	14.1	18.3

Tabel 2.

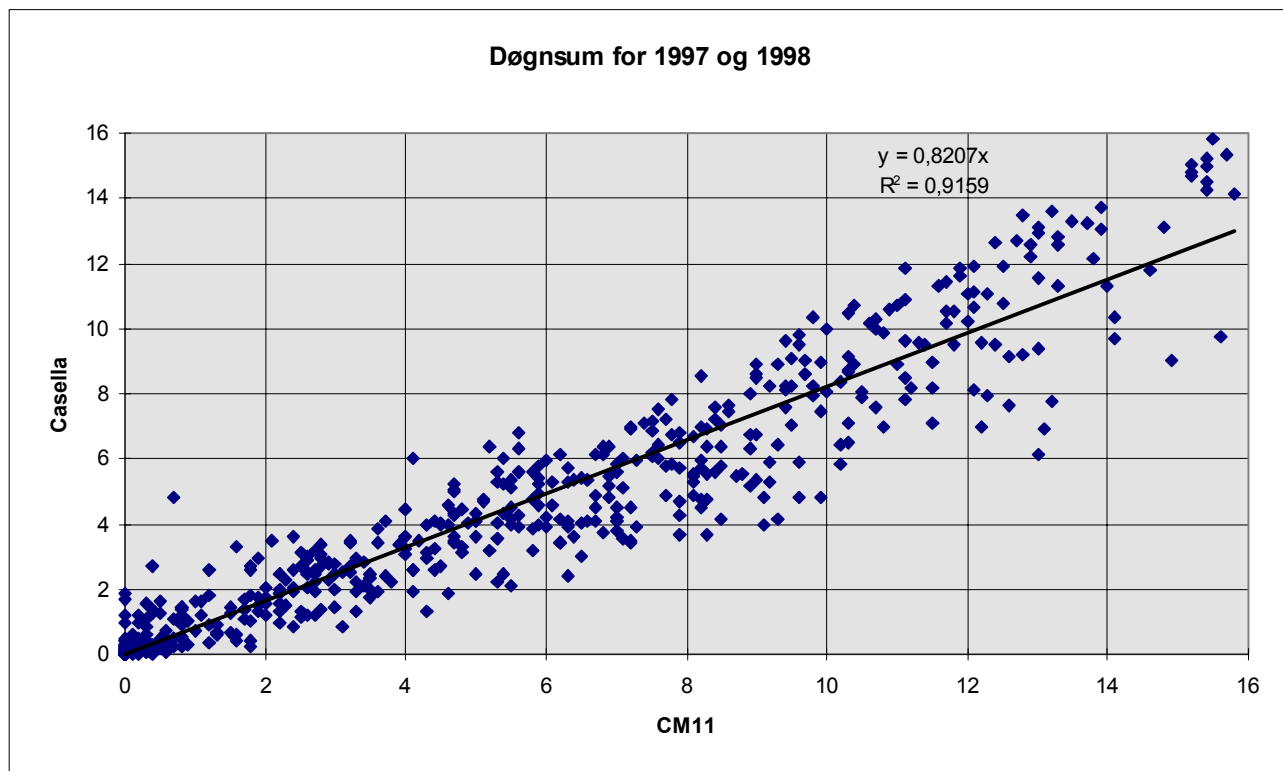
## 4.2 Døgnsom

Graferne figur 5 til 8 viser døgnsommer, hvor hver af de 4 instrumenter er sammenlignet med Casella. På graferne ses også den tilnærmede rette linie gennem punkterne samt  $R^2$ . De rette linier er tvunget igennem (0,0).

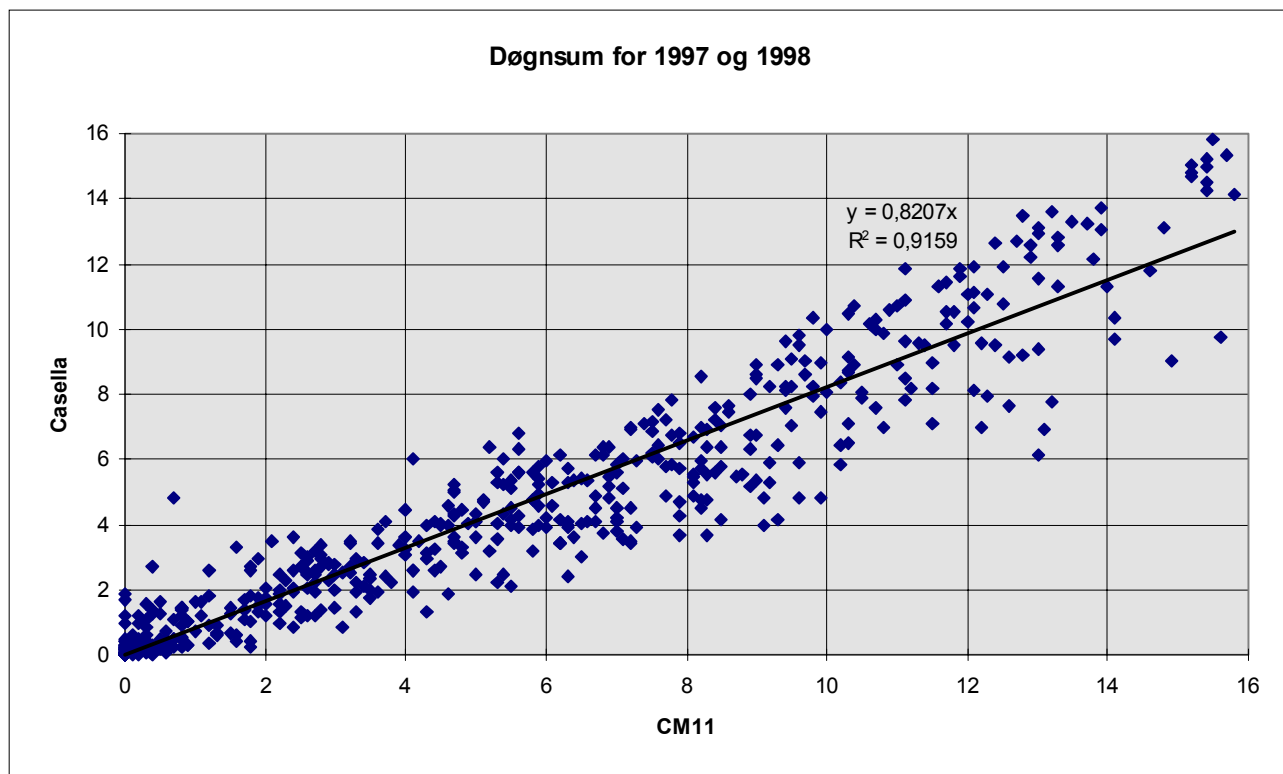
De rette linier gennem punkterne på graferne viser hvad der også sås i de tidligere tabeller og diagrammer, at de automatiske instrumenter generelt måler mindre antal solskinstimer end Casella (ca. 15 – 20%).



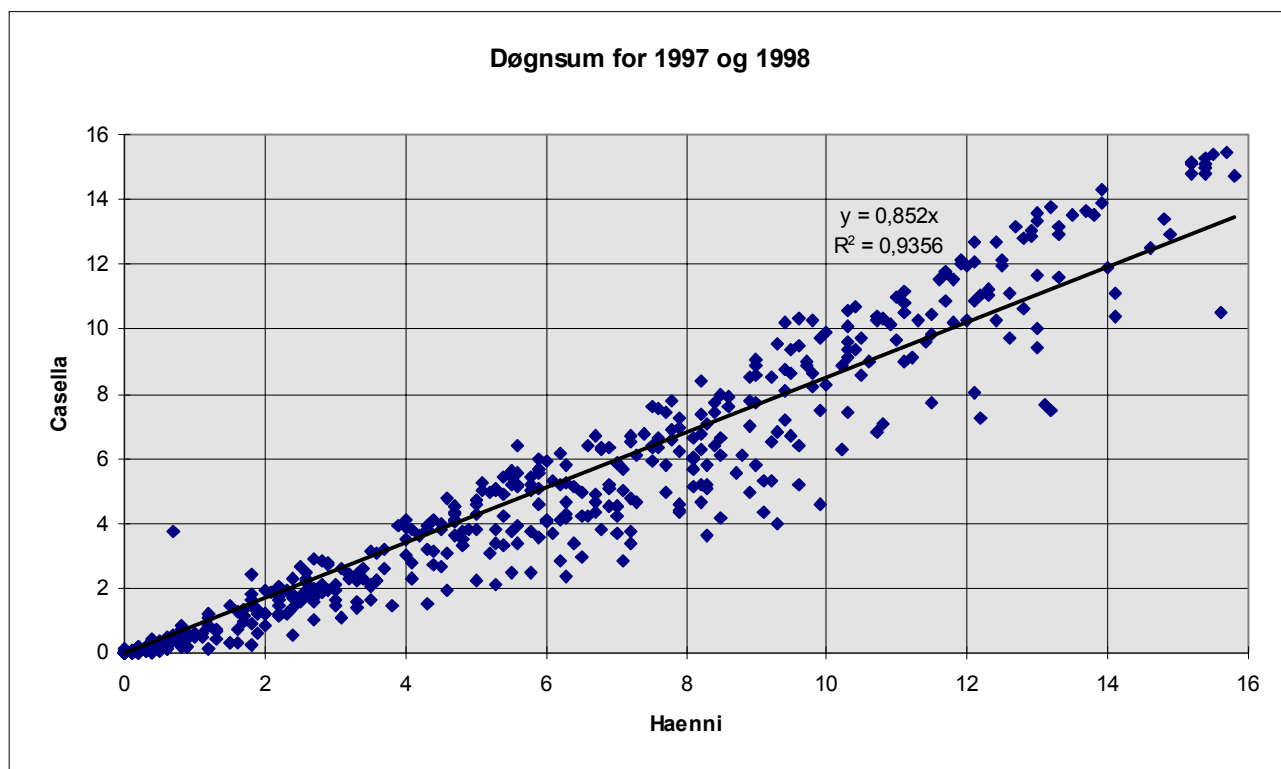
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8

Der er ikke nogle af instrumenterne der skiller sig markant ud fra de andre. Haenni er dog det instrument, hvis målinger ligger tættest opad hvad Casella har målt. Idet hældningen på den rette linie er nærmest 1, og  $R^2$  antager værdien 0.94, mens  $R^2$  for pyranometrene ligger på 0.92.

### 4.3 Timesummer

For at få en ide om årsagen til forskellen i måleresultater er der optegnet akkumulerede værdier for hver time hen over døgnet i hver måned. Disse ses i bilag 5. Bilag 5 første side viser således en opsummering for hver time i døgnet over de 30 dage i januar 1997.

Generelt for alle månederne gælder, at Casella måler flere solskinstimer midt på dagen, dvs. fra et par timer efter solopgang til et par timer før solnedgang. Dette gælder især i sommermånederne.

At Casella registrerer mere sol i løbet af dagen kan skyldes dennes manglende evne til at registrere et skiftende skydække. Hvis der f.eks. går en lille sky for solen et kort tidsrum, vil dette på grund af en tidsopløsning på 6 min., blive registreret af de automatiske instrumenter, fordi de måler 4 gange i minuttet, men muligvis ikke hos Casella.

Det bekræfter hvad der blev fundet af [Dobesh & Mohnl, 1992], at Haenni med større tidsopløsning registrerer mindre sol end Casella under forhold med skiftende skydække.

I timerne lige efter solopgang og lige inden solnedgang bliver det mere kompliceret. Det er forskelligt om Casella starter tidligere eller senere om morgenen med at registrere sol i forhold til de andre instrumenter. Mens det ser ud til, at der er en tendens til, at den stopper tidligere om aftenen.

Haenni har en tendens til at starte senere om morgenen med at registrere solskin, end både Casella og pyranometrene, og den måler generelt mindre solskinstid de første par timer. Der ses også en lille



tendens til, at den stopper tidligere om aftenen med solskinsregistrering. Dette skyldes sandsynligvis forskellige følsomhedsniveauer. Som beskrevet tidligere kan der optræde forskelle mens der er lav direkte indstråling.

Dette står i modsætning til [Dobesh & Mohnl, 1992], der fandt, at Haenni har en større følsomhed, hvilket resulterer i mere registreret sol ved lav solhøjde i forhold til Casella.

Om Haenni har en større eller mindre følsomhed i forhold til Casella vil afhænge af Casella-målepapirets kvalitet og fugtighed. Derfor må det Casella-målepapiret, der er blevet brugt i Jægersborg være anderledes end det, der blev benyttet i undersøgelsen i Østrig, og Casella derfor er mere følsom i Jægersborg.

Da Haenni er sat til at registrere solskin ved direkte indstråling på over  $120 \text{ W/m}^2$  må det betyde, at Casella har for stor følsomhed og både Casella og pyranometrene i virkeligheden måler for meget solskin ved lav solhøjde.

Der har været varme på både Casella og Haenni i hele testperioden og ikke på pyranometrene. Man kunne derfor forvente, at pyranometrene sommetider ville starte senere om morgenen med solskinsregistrering end Casella og Haenni, men denne tendens ses ikke.

Ud fra en samlet vurdering af bilag 5 ser det ud til, at den største difference mellem Casella og de andre instrumenter hidrører fra timerne midt på dagen, og ikke så meget lige efter solopgang og lige inden solnedgang.

Hvis man igen betragter eksemplet på figur 1 og 2 fra den 2. juni, ses den samme tendens; at i perioder med hurtige skift mellem solskin og ikke solskin er registreret mere solskin med Casella end med de automatiske instrumenter.

Ud over, at Casella generelt måler flere solskinstimer ser det ud til, at de alle automatiske instrumenter generelt kommer ud med resultater, der ligger nærmere hinanden end Casella. Man kunne måske forvente, at Haenni målte noget der lignede Casella mere fordi den måler om solen skinner direkte ligesom Casella.

#### **4.4 Sammenligning af Haenni og Pyranometre**

For at undersøge om de automatiske instrumenter generelt ligger tættere på hinanden end Casella er der foretaget en sammenligning af måneds- og årsummer af Haenni og pyranometrene, resultatet er vist i tabel 3.

Det ses, at den samlede difference er helt nede på 0.3% - 3.4%, og dermed meget mindre end forskellen mellem Casella og de øvrige automatiske instrumenter.

		Procentvis afvigelse fra Haenni		
		CM21	CM11	Star
1997	Januar	9.8	-10.3	0.7
	Februar	-3.2	-7.6	-10.7
	Marts	3.4	1.8	-2.4
	April	4.0	2.4	-0.7
	Maj	2.0	0.3	-2.2
	Juni	0.9	0.4	-2.6
	Juli	7.1	9.4	4.3
	August	6.7	6.3	2.0
	September	7.1	5.7	2.5
	Oktober	-1.6	-5.7	-8.1
	November	15.6	0.3	1.3
	December	12.3	-15.4	-12.5
	Sum 1997	6.2	5.5	4.2
1998	Januar	11.6	-8.8	5.1
	Februar	-3.9	-8.3	-17.7
	Marts	2.7	1.2	-2.9
	Juni	-4.3	-5.2	-9.6
	Juli	-0.7	-2.2	-7.0
	August	7.6	5.4	0.1
	September	-8.3	-11.0	-16.9
	Oktober	5.1	0.8	-4.6
	November	-8.6	-25.8	-29.7
	December	6.8	-18.1	-10.6
	Sum 1998	6.0	8.7	10.4
	Totalsum	6.1	6.9	7.0

Tabel 2.

#### 4.5 Ændret tidsopløsning

I de forrige afsnit blev det vist, at Casella registrerer flere solskinstimer end de automatiske instrumenter. Det blev sandsynliggjort, at det hovedsageligt skyldes, at Casella registrerer mere sol midt på dagen under skiftende skydække.

Når man over går fra et instrument til et andet er det godt at kende årsagen til ændringen i tidsserierne. Der må derfor ledes efter en metode til få de automatiske instrumenter til at registrere på samme måde som Casella.

På denne baggrund er der foretaget en ny undersøgelse af de samme data, hvor det er søgt at efterligne Casella, mht. tidsopløsningen og den måde målepapiret aflæses.

Der er lavet to ændringer i opsummeringen af antal solskinstimer for de automatiske instrumenter, der begge gør, at hver timesum enten vil forblive den samme eller forøges:

1. Hvis "skyggetiden" imellem to "solskinsregistreringer" er mindre end 6 min. tæller den som "solskinstid".

2. Hvis "solskinstiden" er mindre end 6 min. i træk, tælles den som 6 min.

Ændringerne betyder, at timesummen sommetider vil nå op over 60 min. I de tilfælde sættes den lig 60 min.

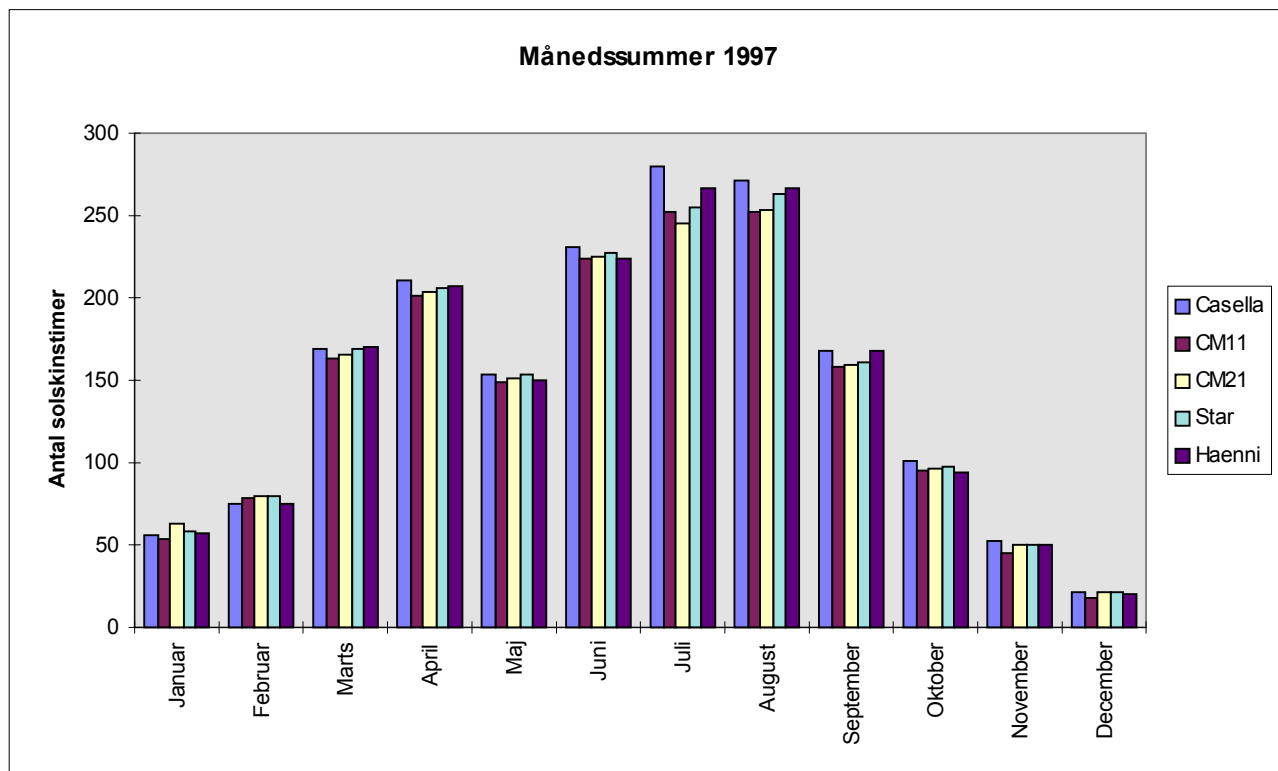
Nr. 1 betyder, at hvis der går en sky for solen i mindre end 6 min. registreres det ikke som skyggetid. Ændringen er rimelig fordi, en så kort "pause" i brændemærket på Casella-målepapiret sandsynligvis ikke vil blive registreret.

Nr. 2 betyder, at selv et lille solglimt vil blive registreret som 6 min. solskin. Denne ændring er også rimelig fordi, at selv den mindste sorte prik på Casella målepapiret registreres som 6 min. solskin.

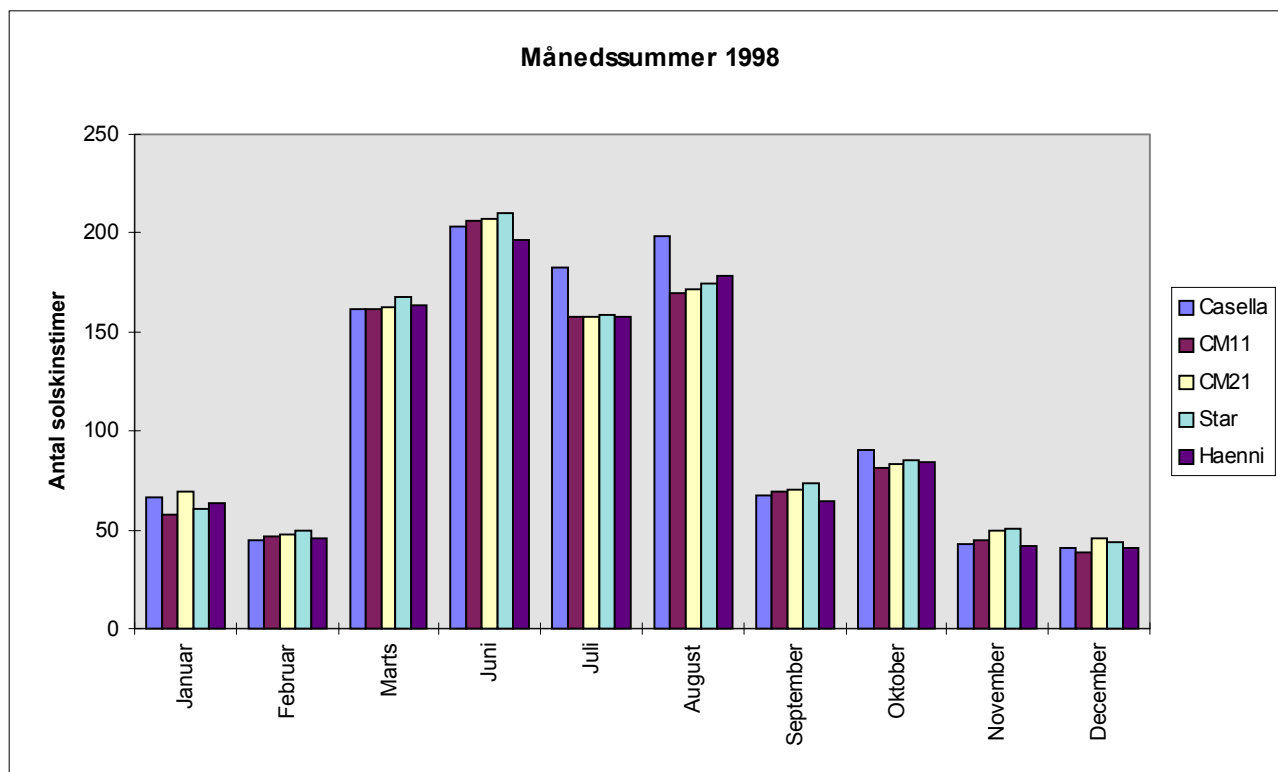
I det følgende er vist resultaterne for den nye måde at opsummere antal solskinstimer på for de automatiske instrumenter.

Månedssum ver. 2						
		Casella	CM21	CM11	Star	Haenni
1997	Januar	56.2	54.0	62.6	58.0	57.7
	Februar	75.5	78.5	79.6	80.1	75.0
	Marts	168.8	163.6	165.5	169.0	169.9
	April	210.6	200.8	203.1	206.5	207.2
	Maj	153.1	149.0	151.4	153.5	149.7
	Juni	230.6	224.4	224.5	228.0	224.2
	Juli	280.3	252.0	245.1	255.3	266.1
	August	271.2	252.2	253.0	262.9	267.0
	September	167.6	158.3	159.6	161.2	168.3
	Oktober	101.6	95.1	96.8	97.7	94.1
	November	52.6	45.0	49.7	50.5	50.3
	December	21.6	18.0	21.9	21.9	20.2
	Total 1997	1789.7	1690.8	1712.9	1744.4	1749.9
1998	Januar	66.9	58.0	69.3	60.4	63.1
	Februar	44.4	46.7	47.9	49.1	45.2
	Marts	162.0	161.6	162.9	167.2	164.1
	Juni	203.7	206.8	207.0	210.4	196.0
	Juli	182.4	157.3	158.1	158.6	157.7
	August	198.2	169.7	171.2	174.4	178.5
	September	67.9	69.7	70.8	73.3	64.0
	Oktober	90.3	81.7	83.7	85.6	84.5
	November	42.6	45.0	49.5	50.7	41.2
	December	40.7	38.5	45.8	43.7	40.7
	Total 1998	1099.1	1035.0	1066.2	1073.4	1035.0

Tabel 4



Figur 9



Figur 10

Procentvis afvigelse fra Casella ver. 2					
		CM21	CM11	Star	Haenni
1997	Januar	3.8	-11.5	-3.2	-2.7
	Februar	-4.0	-5.5	-6.1	0.6
	Marts	3.1	1.9	-0.1	-0.6
	April	4.6	3.6	2.0	1.6
	Maj	2.7	1.1	-0.2	2.2
	Juni	2.7	2.6	1.1	2.8
	Juli	10.1	12.5	8.9	5.1
	August	7.0	6.7	3.1	1.5
	September	5.6	4.8	3.8	-0.4
	Oktober	6.4	4.8	3.9	7.4
	November	14.4	5.6	4.0	4.4
	December	16.8	-1.5	-1.4	6.3
	Sum 1997	6.8	5.2	3.2	3.0
1998	Januar	13.3	-3.5	9.8	5.6
	Februar	-5.2	-8.0	-10.6	-1.8
	Marts	0.3	-0.6	-3.2	-1.3
	Juni	-1.5	-1.6	-3.3	3.8
	Juli	13.8	13.3	13.0	13.5
	August	14.4	13.6	12.0	9.9
	September	-2.7	-4.3	-8.0	5.8
	Oktober	9.5	7.3	5.2	6.5
	November	-5.7	-16.3	-19.0	3.3
	December	5.5	-12.4	-7.3	0.0
	Sum 1998	7.2	8.1	9.1	5.1
	Totalsum	7.0	6.5	5.9	4.0

Tabel 5

I tabel 4 er angivet månedssummerne, som også kan ses i søjlediagrammer på figur 9 og 10. Det ses, at antallet af solskinstimer for de automatiske instrumenter er forøget betydeligt sammenlignet med figur 3 og 4, især i sommermånederne.

I tabel 5 er vist den procentvise afvigelse i forholdet til Casella.

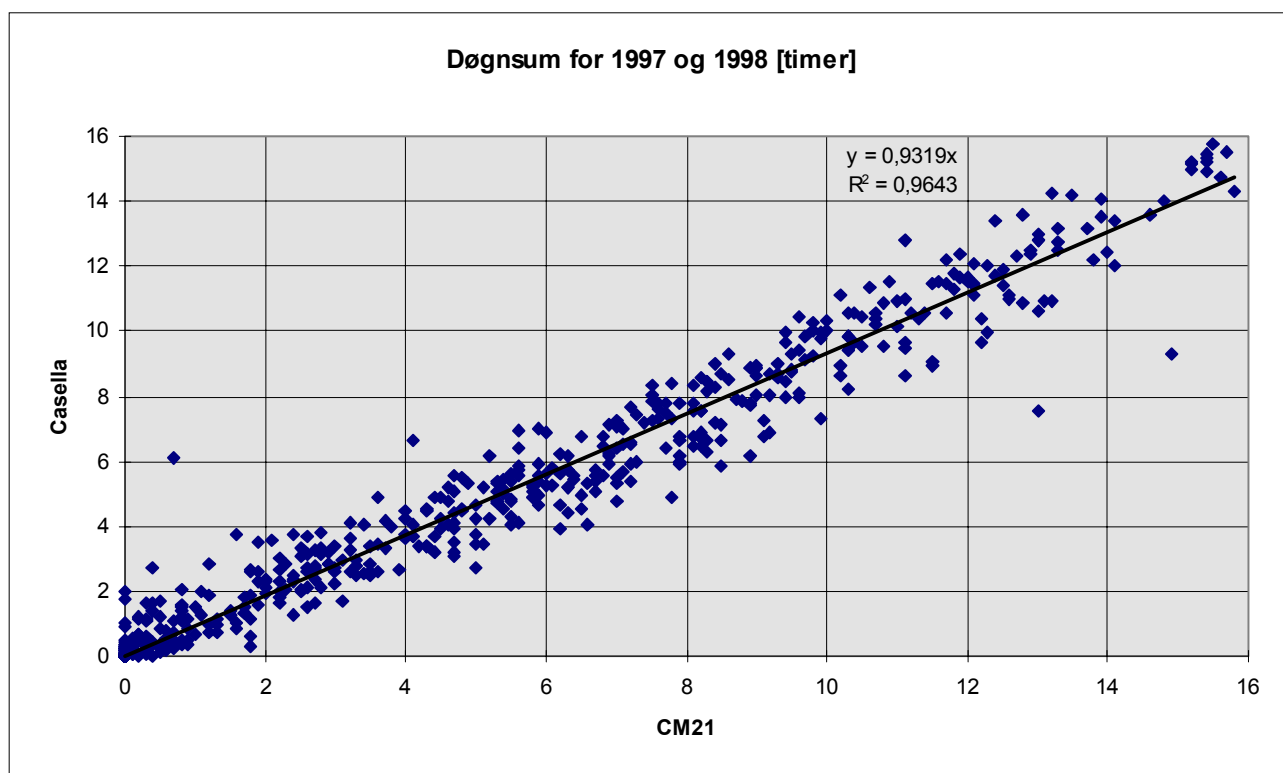
Hvis man sammenligner tabel 5 med tabel 2 ses, at den procentvise afvigelse på månedsbasis er blevet betydeligt reduceret. Afvigelsen er nu mere jævnt fordelt over året og varierer mellem -19.0% og 16.8%. Der er altså også måneder hvor antallet af solskinstimer på de automatiske instrumenter overstiger den, der er målt med Casella.

Den samlede forskel over hele testperioden varierer mellem 4.0% og 7.0%. Det er nu Haenni, der ligger tættest opad Casella både når man betragter den totale sum og hver måned for sig.

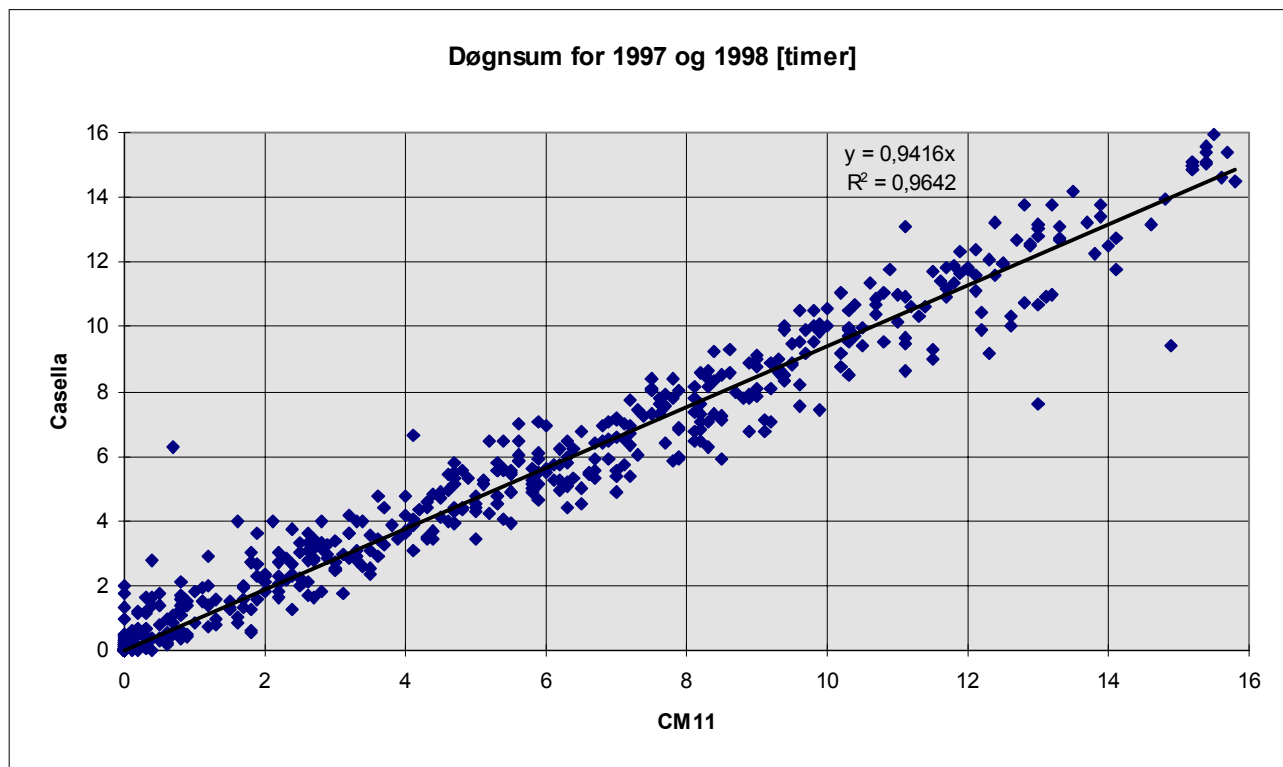
Nu er det så spørgsmålet om den ændrede opsummeringsmetode i virkeligheden er udtryk for en opmåling af antal solskinstimer, der ligger tættere opad Casella. Det er klart, at månedssummerne ville blive forøget med den nye metode, Men vil de i virkelig heden også ligge tættere på Casella når man kommer helt ned på døgn- og timesumsbasis? Dette vil blive undersøgt i det følgende.

På figurerne 11 til 14 er døgnsummerne for hele testperioden optegnet, med målinger fra hvert af de automatiske instrumenter mod Casella.

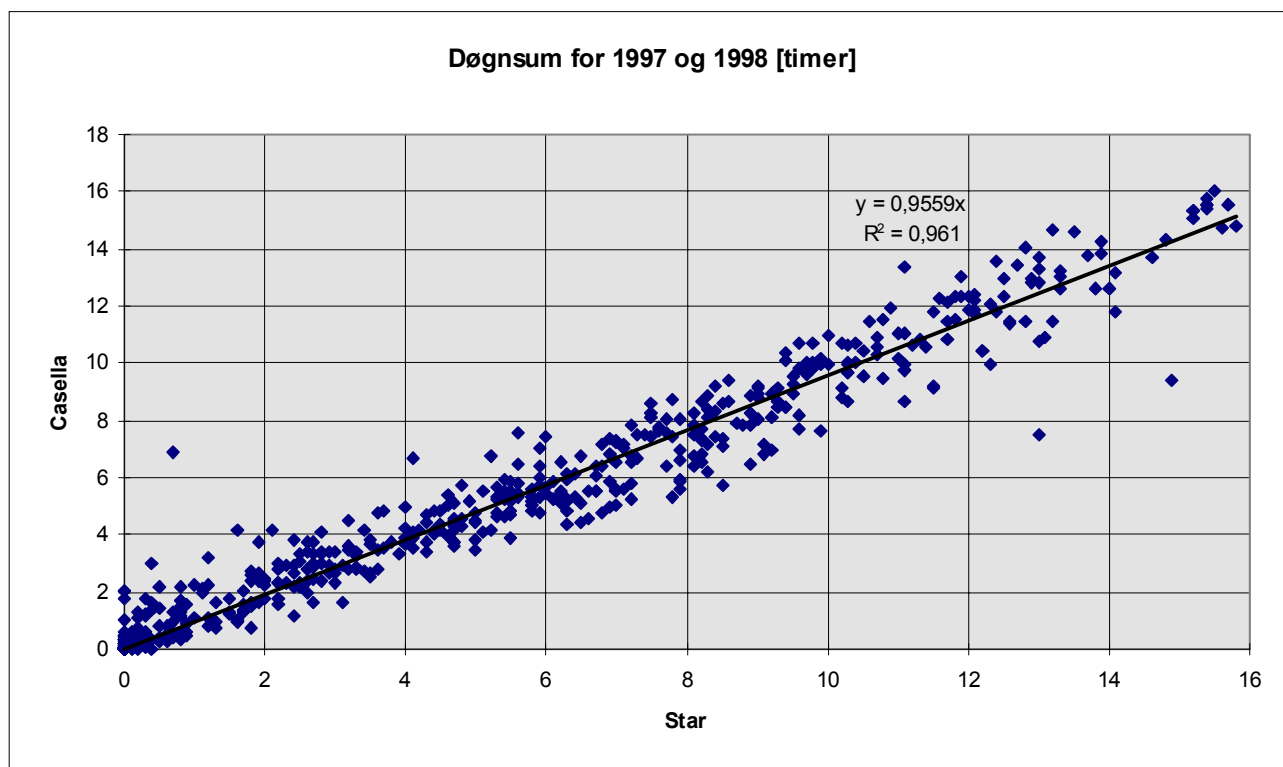
Det ses, at hældningen på de rette linier er nærmere 1 end de var på figurerne 5 til 8. Derudover ligger punkterne tættere på den rette linie,  $R^2$  kommet nærmere 1, 0.96-0.97 for pyranometrene og 0.99 for Haenni.



Figur 11

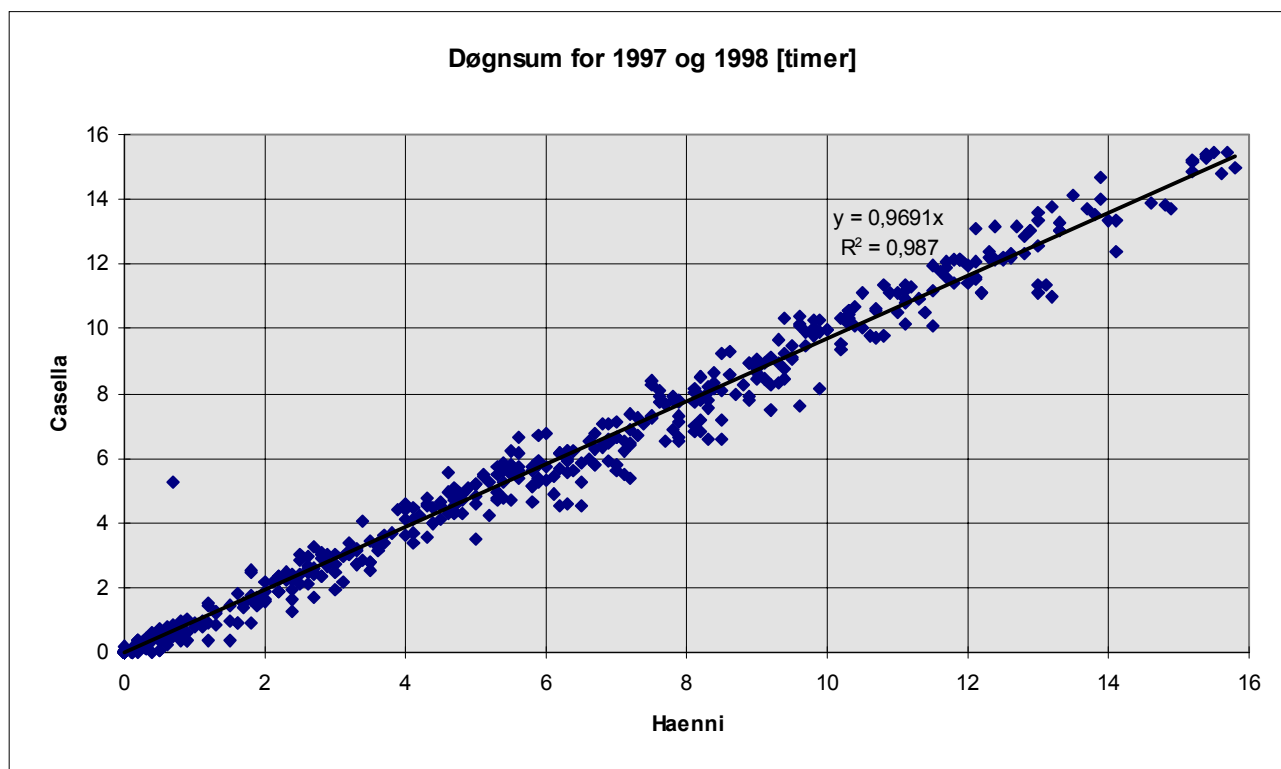


Figur 12



Figur 13





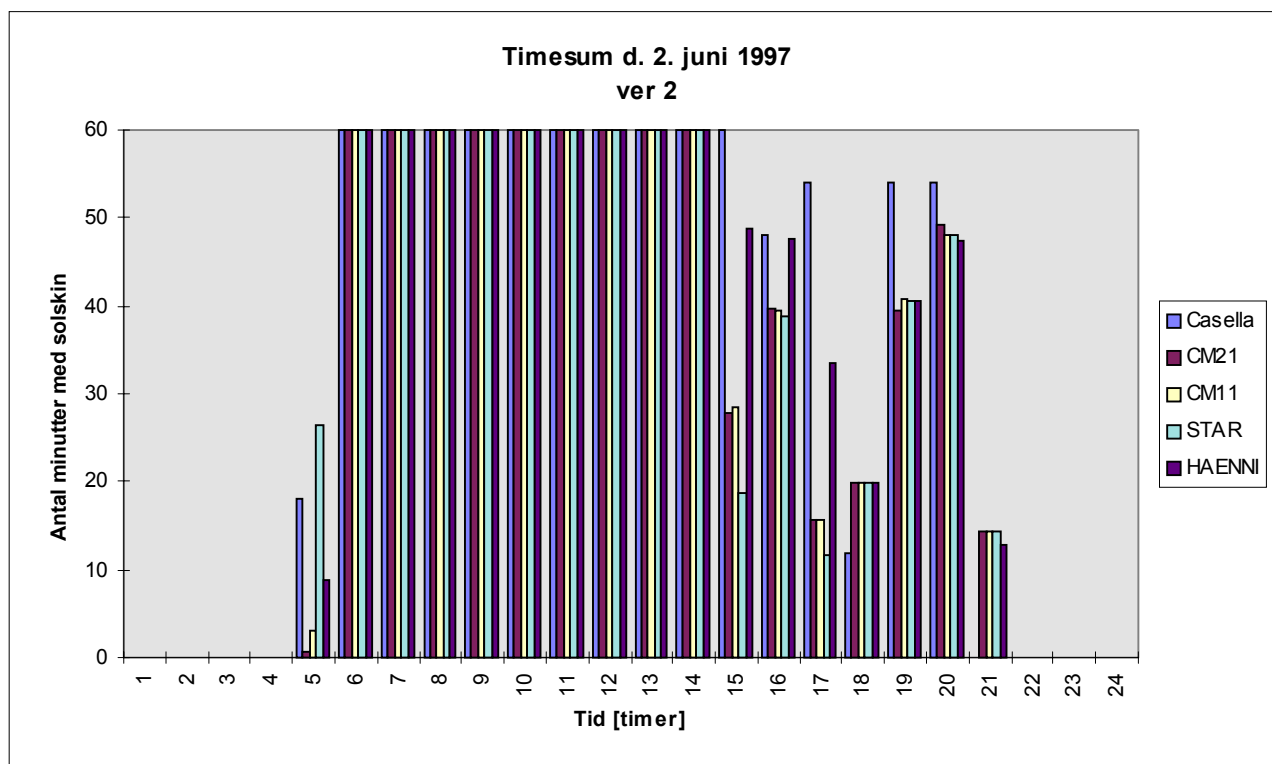
Figur 14

På bilag 6 ses de akkumulerede værdier for hver time hen over døgnet i hver måned.

Her kan man tydelig se hvordan den nye beregningsmetode har haft betydning: nemlig, at de automatiske instrumenter registrerer flere solskinstimer midt på dagen. Det er nu kun i enkelte måneder, at Casella generelt måler flere solskinstimer midt på dagen.

Lige efter solopgang og lige inden solnedgang ses ikke den store forskel fra tidligere. Casella har stadig en tendens til at stoppe tidligere med at registrere solskin end de automatiske instrumenter om aftenen, og Haenni starter senere om morgenen med solskinsregistrering end de øvrige instrumenter.

For at illustrere forskellen i forhold til tidligere kan eksemplet fra d. 2. juni 1997 igen betragtes. På figur 15 ses timesummen med den nye beregningsmetode. Denne figur skal sammenlignes med figur 1 og 2, hvor man kan se timesummen, som den så ud med den gamle beregningsmetode. De "spikes" der er mellem kl. 9 og 12 uden solskin tælles ikke med som "skyggetid" fordi de hver især har en varighed på under 6 min. Så tiden mellem kl. 6 og 14 regnes nu som konstant solskinstid for alle instrumenter.



Figur 15

Lige efter solopgang er der blevet lagt ekstra solskinstid til Star-pyranometret, hvilket resulterer i, at den registrerer solskin tidligere end alle de andre instrumenter.

Der lægges også ekstra solskin til efter kl. 14 især i timerne 15, 16, 17 19 og 20, hvor der hurtigt skiftende skydække. Mens der ikke er tillagt så meget mellem kl. 17 og 18 og mellem 20 og 21.

Det ser altså ud til, at årsagen til, at der ikke blev registreret så meget sol med de automatiske instrumenter midt på dagen hovedsageligt er forskellen i tidsopløsning og den måde Casella-målepapiret afregistreres på.

Afvigelserne for pyranometrene er dog stadig noget større end dem der blev fundet i Carpentras [Olivieri, 1998]. Det kan der være flere årsager til:

Selvom man opsummerer antallet af solskinstimer med den nye metode ikke helt kan måle præcist som målepapiret aflæses.

Resultaterne for pyranometrene er fremkommet ved sammenligning med en empirisk formel, hvori der indgår nogle empiriske konstanter, se kapitel 2. Det vides ikke hvor præcist disse er fastlagt i forhold til Jægersborg-lokaliteten. Der er i denne rapport ikke lavet en følsomhedsanalyse over disse konstanter.

Mht. Haenni er afvigelserne i forhold til Casella også større end dem der blev fundet ved undersøgelsen i Østrig [Dobesh & Mohn, 1992]. Det skyldes at Haenni ikke som i Østrig har en større følsomhed end Casella, og på den måde kan kompensere for mindre antal solskinstimer midt på dagen ved at måle mere lige efter solopgang og lige inden solnedgang.

## 5. Konklusion

Der er foretaget sammenligninger af antallet af registrerede solskinstimer med solautografen Casella og 4 automatiske instrumenter: Haenni Solar 111 samt 3 forskellige pyranometre: CM21 og CM11 fra Kipp & Zonen samt Star Type 8106 fra Ph. Schenk. I det følgende blive benævnes instrumenterne hhv. Casella, Haenni, CM21, CM11 og Star.

Resultaterne bekræfter, at det kan lade sig gøre at registrere antallet af solskinstimer ud fra målinger af den direkte indstråling med et pyranometer.

Det har vist sig, at Casella generelt registrerer flere solskinstimer end de automatiske instrumenter. I gennemsnit ligger forskellen på mellem 14.1% og 21.1% med Star-pyranometret som det instrument, der ligger tættest opad Casella.

Afvigelserne på månedssummerne ligger på mellem -2% og 38%.

Forskellen mellem resultaterne skyldes hovedsageligt, at de automatiske instrumenter registrerer mindre sol i timerne midt på dagen, pga. en finere tidsopløsning samt afregistreringsmetoden for Casella-målepapiret.

Der ses ingen systematik i forskellen mellem Casella og pyranometrene når der er lav solhøjde. Haenni har en tendens til at starte senere om morgenen og stoppe tidligere om aftenen end alle de andre instrumenter. Dette står i modsætning til [Dobesh & Mohnl, 1992], der fandt, at Haenni har en større følsomhed end Casella. Årsagen til de forskellige resultater er sandsynligvis at Casellaens følsomhedsniveau i høj grad afhænger af målepapiret. Casella-målepapiret, der benyttes i Jægersborg må have lavere følsomhedsniveau, end det der blev benyttet i [Dobesh & Mohnl, 1992].

At forskellen mellem det målte antal solskinstimer hovedsageligt skyldes forskelle i tidsopløsning og afregistreringsmetoden for Casella-målepapiret blev vist ved, at ændre i opsummeringen af solskinstiden for de automatiske instrumenter, således at metoden til at optælle solskinstid har lignet den måde Casella-målepapiret aflæses på med 6 min. tidsopløsning.

Hermed er opnået, at forskellen mellem Casella og de automatiske instrumenter i gennemsnit er kommet ned på mellem 4.0% og 7.0%. Afvigelserne for månedssummerne er nu kommet ned på mellem -19% og 16.8% i forhold til Casella.

Det er Haenni, der ligger tættest op ad Casella i antal målte solskinstimer, både når man betragter den totale sum over de to 2 år testperioden strækker sig over og på hver månedssum og hver døgnsum for sig.

Det skal dog bemærkes, at der er ikke nogle af de automatiske instrumenterne der skiller sig markant ud fra de andre mht. antallet af registrerede solskinstimer.

## 6. Litteratur

1. Olivieri, J. C.: Sunshine Duration Measurement Using a Pyranometer, World Meteorological Organisation, Instruments and Observing Methods report No. 70, WMO/TD – No. 877, 1998.
2. World Meteorological Organisation: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8, 6. Edition, Geneva, Switzerland, 1996.
3. Dobesh, H. and Mohnl, H.: Comparison of Time Series of Sunshine Duration Measured by the Campbell-Stokes Recorder and the Haenni Solar System. World Meteorological Organisation: Instruments and Observing Methods report No. 49, Papers presented at the WMO technical conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-92), Vienna, Austria, 11-15 May 1992, WMO/TD - No.462, 1992.
4. World Meteorological Organisation: Commission for Instruments and Methods of Observation. Abridged final Report of the Eighth Session, Mexico City, 19-30 October 1981, WMO-No. 590, 1981.

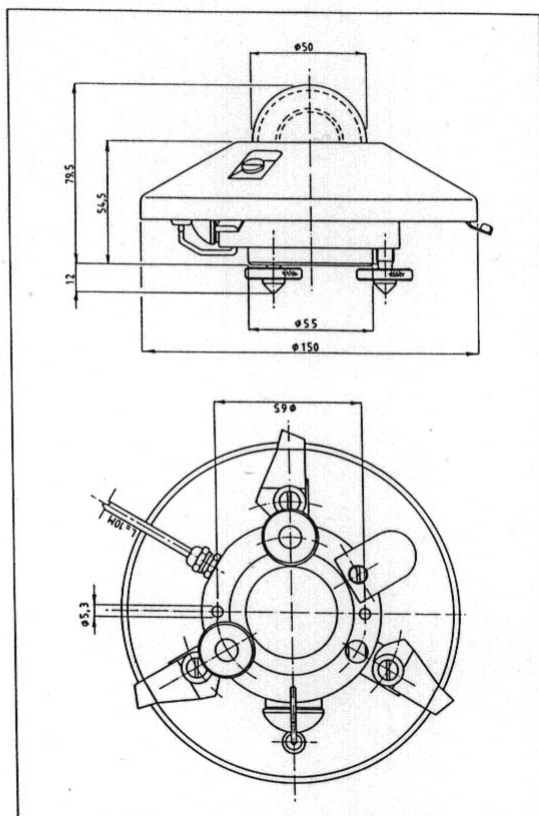
## PYRANOMETER CM 21

Suitable for the measurement of solar irradiance on a plane surface ( $W/m^2$ ).

- improved specifications in comparison with CM 11
- also available with quartz domes (CM 31) yielding a broader spectral range and reduced offsets.

Essentially the pyranometer CM 21 has the same characteristics as the CM 11. Some of these specifications have however been improved.

- sensitivity
- impedance
- temperature response
- non-linearity
- response time



### SPECIFICATIONS:

spectral range	305-2800 nm (50% points)
sensitivity	14-17 $\mu V/Wm^{-2}$
impedance	50-60 Ohm
response time	1/e 2s, 99% 12s
non linearity	$\pm 0.2\%$ ( $< 1000 W/m^2$ )
tilt error	none
operating temperature	-40 to 90°C
temperature dependence of sensitivity	$\pm 1\%$ (-20 to +50°C)
maximum irradiance	4000 $W/m^2$
directional error	$< \pm 10 W/m^2$ at 1000 $W/m^2$
weight	0.85 kg
cable length	10 m

For more information please contact:

Kipp & Zonen Delft BV  
 Mercuriusweg 1  
 P.O. Box 507  
 NL2600 AM Delft  
 The Netherlands  
 Phone 015 - 561000, Fax 015 - 620351  
 Also offices in Gagny-France, Solingen-Germany, Edgware-United Kingdom and Bohemia/N.Y.-U.S.A.

**KIPP & ZONEN DELFT BV**



Agent:

## PYRANOMETER CM 11

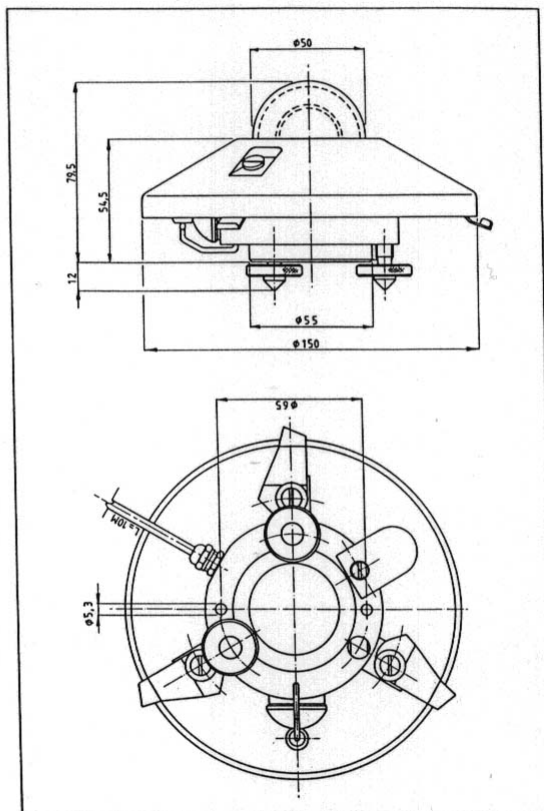
Suitable for the measurement of solar irradiance on a plane surface ( $W/m^2$ ).

- WMO secondary standard
- standard equipment in most European meteorological networks
- recommended by the IEA for solar collector testing
- also available as albedometer

The CM 11 incorporates a 100-thermocouple sensor, imprinted on a thick-film substrate, housed under K5 glass domes. The sensor is rotationally symmetrical.

A white screen prevents the body of the pyranometer from heating up. The pyranometer is supplied with a spirit level and screws for accurate levelling.

A drying cartridge keeps the interior free from humidity. All pyranometers are supplied with a calibration certificate which also shows the level of directional error.



### SPECIFICATIONS:

spectral range	305-2800 nm (50% points)
sensitivity	4-6 $\mu V/Wm^{-2}$
impedance	700-1500 Ohm
response time	1/e 4s, 99% 24 s
non linearity	$\pm 0.6\%$ ( $< 1000 W/m^2$ )
tilt error	none
operating temperature	-40 to 90°C
temperature dependence of sensitivity	$\pm 1\%$ (-10 to +40°C)
maximum irradiance	4000 $W/m^2$
directional error	$< \pm 10 W/m^2$ at 1000 $W/m^2$
weight	0.85 kg
cable length	10 m

For more information please contact:

Kipp & Zonen Delft BV  
 Mercuriusweg 1  
 P.O. Box 507  
 NL2600 AM Delft  
 The Netherlands  
 Phone 015 - 561000, Fax 015 - 620351  
 Also offices in Gagny-France, Solingen-Germany, Edgware-United Kingdom and Bohemia/N.Y.-U.S.A.

Agent:

**KIPP & ZONEN DELFT BV**

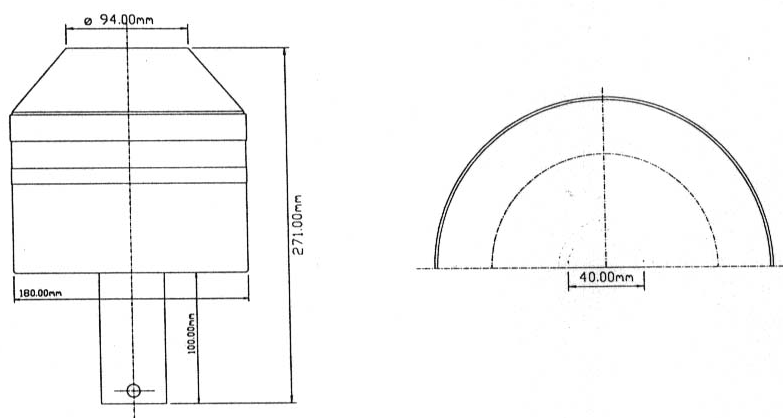


## PROTECTIVE HOUSING

By means of the protective housing you can use the Starpyranometer type 8101/8102 for measurement the whole year through.

- \* absolutely no influence on the measuring system
- \* all-season measurement
- \* world-wide continuous working

Its two functions are ventilation with the help of a robust industrial ventilator and electric heating for supporting of the ventilation during condensation of dew, rain and snow. Supplementary installation of the Starpyranometer can easily be done.



### Technical data:

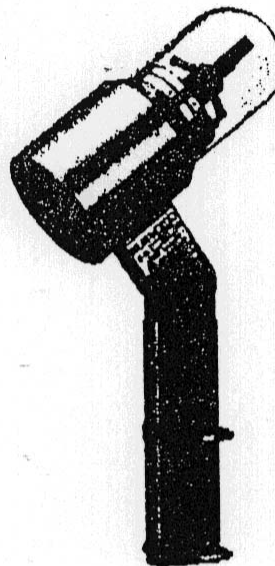
Housing:	RAL 7001 painted white
Cable:	2 x 2 - polar shielded, length 3 m
Power supply:	24V AC, 80VA
Installation:	on a supporting pipe 33 mm diam. with 6 ea. hollow screw M6 Material, stainless steel, staggered 120°
Switch point heating:	appr. +10°C
Weight:	2.5 kg net weight, 2.75 kg gross weight
Order-code:	8106: (B1810600)
Option:	external power supply (DIN - rail mounting) (B1810610) Prim: 220VAC, sec.: 24VDC, 5A

**Installation directions:** To remove the support bar for the upmost dome please spread the clip very carefully. To remove the upmost dome please lift it cautiously. Shorten the cable of the Starpyranometer to a length of appr. 20cm. The Starpyranometer is mounted on the mounting plate by means of 3 levelling screws. Screw the cable of the Starpyranometer against the connecting block. Please mind, that you connect the same cable colours. The upmost dome and the support bar have to be mounted in the contrary succession.

# Sunshine Detector SOLAR 111

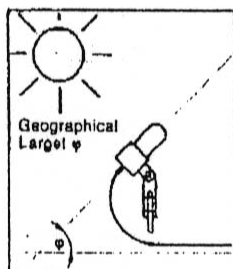
S1.101

Application	Detector for connection to a central data processing installation
Sensitivity	Adjustable between 70 and 280 W/m <sup>2</sup>
Spectrum	0.4...1.1 μm
Output signal	Without sky -5V With sky +5V
Impedance	600 Ω
Resolution	1 s
Temperature range	-27...50°C
Scope of supply	1 detector, 1 cable with plug per selection table
Accessory	Power pack ZES 111



### Mounting instructions

Using pipe clips, fasten detector to a vertical pipe no larger than 34 mm in diameter. Set the detector angle according to the geographical latitude as shown. Line up the detector so that its cylindrical axis is parallel with the polar axis. (Northern hemisphere: cable outlet pointing due south. Southern hemisphere: cable outlet pointing due north.)



### Technical data

	Unit	Specification
Sensitivity variation during course of the day	%	±2
Stability in 5 years	%	2
Output signal U <sub>A</sub>	with sun	V +5
	without sun	V -5
Output impedance	Ω	600
Spectrum	μm	0.4...1.1
Resolution	s	1
Motor speed	s <sup>-1</sup>	12
Admissible elevation above sea level	m	≤ 10 000
Service temperature range	°C	-27... + 50
Supply voltages	U <sub>B</sub>	V DC 10...15
	U <sub>V</sub>	V DC 5...7.5
	U <sub>A</sub>	V DC -5...+7.5
	U <sub>H</sub>	V AC/DC 40...65
Current input to detector	mA	12
Heater power	continuous	W 1
	internal temp. < 5°C	W < 30
Thermostat, interior temperature	°C	< 5
Lightning arrester		yes
Adjustable detector inclination φ	°	0...90
Case		Al anodized
Protection class (DiN 40050)		IP 65
Weight	kg	2.1

### Selection Chart

Ordering example:		SOLAR 111 / 9 9 9 . 2 2 1	
Threshold level	200 W/m <sup>2</sup> per WMO up to 1982	2	1
	120 W/m <sup>2</sup> per WMO after 1982	3	
Power supply	+ 5 V DC/-5 V DC or 12 V DC 55 V AC/DC; 30 W ~ / 00 J	2	1
Cable	5 m	1	1
	10 m	2	
	25 m	3	
	50 m	4	
	without cable, with plug	5	

**HAENI**



