

# Astronomiske installationer på Morsø Gymnasium

JENS PETER DIGET, tidligere ansat på Morsø Gymnasium

På Morsø Gymnasium fik vi fremstillet tre astronomiske apparater eller installationer i 2012 – 14 i forbindelse med renovering og udvidelse af naturfagsfløjen. På sydsiden af en cylindrisk bygning, der forbinder gymnasiet med Dueholmskolens naturfagsfløj, er der en *armillarsfære*. Ved siden af armillarsfæren er der et vindue forsynet med en skodde med et lille hul i. Sammen med en linje i gulvet på himsen indenfor danner det en *aperturgnomon* og *meridianlinje*. På den store tomme teatersalsvæg ved siden af indgangen til gymnasiet er der et ca.  $6\text{ m} \times 7\text{ m}$  stort *solur*. I det følgende beskrives historien, konstruktionen og anvendelsen af disse installationer.

## Armillarsfæren

Armillarsfæren består af en cirkel, der er anbragt i nord-sydplanen og en cirkel, der er parallel med Jordens ækvator.

Armillarsfæren til venstre er konstrueret og monteret af smedefirmaet Worm efter mine anvisninger. Den er inspireret af Egnazio Dantis armillarsfære, som sidder på Santa Maria Novella kirken i Firenze. Danti konstruerede den i 1574 som et led i sine studier af Solens bevægelse på himlen. Han blev medlem af pavens kommission til reformering af kalenderet. I 1582 bestemte paven, at den 4. oktober skulle efterfølges af den 15. oktober. Det må have krævet autoritet og pædagogiske evner at få accepteret, at 10 dage skulle fjernes dette år.

Dantis armillarsfære er et astronomisk formidlingsprojekt og en påskeindikator. Når skyggerne en forårsdag danner et kors på muren, så er det blevet forårsjævndøgn og den 21. marts. Påskedag er søndagen efter næste fuldmåne. Billedet af Dantis armillarsfære tog jeg ved lokal middag den 22. marts under en studierejse

til Firenze. Formålet med armillarsfæren på Morsø Gymnasium er at vise Solens placering i forhold til Jordens ækvator og så at give udgangspunkt for en fortælling om kalender og astronomi. Det er og var ikke et instrument for præcise målinger. Til det brug skal vi have en meridianlinje og en plade med et passende lille hul i.

## Meridianlinjen med aperturgnomon

### Breddegrad

Apparatet tillader meget præcise bestemmelser af stedets breddegrad,  $b$ , og bestemmelse af vinklen mellem ekliptika og ækvator,  $\varepsilon$ .

Det gøres ved at markere stedet på meridianlinjen ved solpletens nærmeste og fjerneste krydsning af meridianlinjen, altså punkterne for sommersolhverv og vintersolhverv. Ved sommersolhverv står Solen vinklen  $\varepsilon$  over ækvator.



Figur 1  
Armillarsfære på Morsø Gymnasium. Ved lokal middag er skyggen af den lodrette cirkel en lodret linje. Ved jævndøgn er skyggen af den skrå cirkel en vandret linje.



Figur 2  
Armillarsfære på Santa Maria Novella katedralen i Firenze. Kopi af Egnazio Dantis oprindelige armillarsfære.

Højdevinklerne er:

$$h_{\text{sommer}} = 90^\circ - b + \varepsilon$$

$$h_{\text{vinter}} = 90^\circ - b - \varepsilon$$

$$h_{\text{jævndøgn}} = 90^\circ - b$$

Hvis man ikke kan vente på solhverv eller stole på solskin ved solhverv må man ”snyde” og bruge tabelværdi for Solens deklination (højde over ækvator) eller bestemme bredden med en gps.

Det er forudsat, at Solens deklination ikke ændrer sig i løbet af dagen, men omkring solhverv ændrer den sig mindre end 1 bueminut på en dag.

På Figur 3 aflæses  $\tan(h) = (2 \text{ m}) / (4,2 \text{ m})$ , dvs.  $h = 25,5^\circ$ . På Figur 4 ses, at LunaSolCal angiver  $h = 25,7^\circ$ .

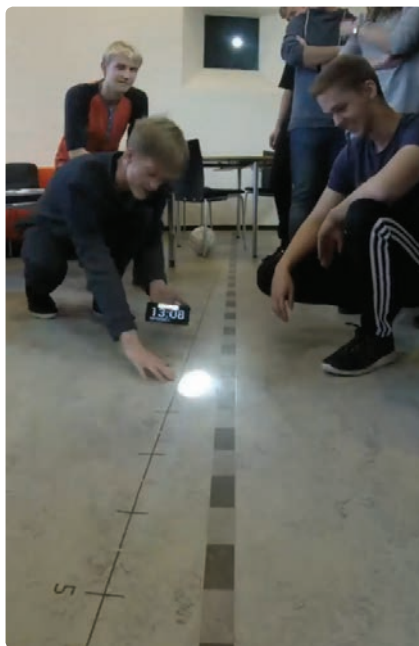
### Solens ujævne bevægelse

Meridianlinjen giver også en direkte og tydelig præsentation af tidsækvationen, som er Solens lokale timevinkel (solurets visning) minus den lokale middelsoltid. Data kan aflæses i LunaSolCal.

I begyndelsen af november er Solen 16,5 min foran ”middelsolen” og midt i februar er Solen 14 min bagefter. Hvis man vil have større præcision, end LunaSolCal giver, kan jeg anbefale den amerikanske atmosfære-administration NOAA, som præsenteres senere i artiklen. En meget fin forklaring på, at tidsækvationen skyldes Jordens elliptiske bane og ekliptikas hældning i forhold til ækvator, kan ses i W. R. Steiger og G. W. Buntons artikel, *Night and Day*, [cso.caltech.edu/outreach/log/NIGHT\\_DAY/index.html](http://cso.caltech.edu/outreach/log/NIGHT_DAY/index.html). En graf over tidsækvationen en vist i Figur 6 efter afsnittet om det store solur.

### Bestemmelse af længdegraden

Når man har en meridianlinje på stedet og et ur, er det meget let at bestemme stedets længdegrad.



Figur 3  
Meridianen. Hullet i skodden er 2 m over gulvet. Cifrene på meridianen angiver den vandrette afstand til hullet. Billedet er taget den 12. oktober kl. 13:08.

Jeg bruger forkortelserne:

- *LMS* – Lokal middelsoltid (geografisk middelsoltid)
- *LS* – Lokal soltid (Solens timevinkel fra nord)
- *TEQ* – Tidsækvationen
- *GMT* – Greenwich Mean Time
- *T* – Tid angivet som normalt i lokal tidszone

Da jorden drejer 360 grader i forhold til Solen på 24 timer, så giver 1 grad 4 minutters forskel i middelsoltid.

$$TEQ = LS - LMS$$

$$LMS = GMT + \text{længdegrad} \cdot 4 \text{ min/grad}$$

### Illustrerende eksempel 24 oktober

Kulminationstidspunkt for Solen er  $T = 12:08$ , dvs.  $GMT = 11:08$  h. Solen kulminerer, så  $LS = 12$  h pr. definition. Ifølge LunaSolCal er  $TEQ = 16,0$  min.



Figur 4  
Del af skærbillede fra LunaSolCal.

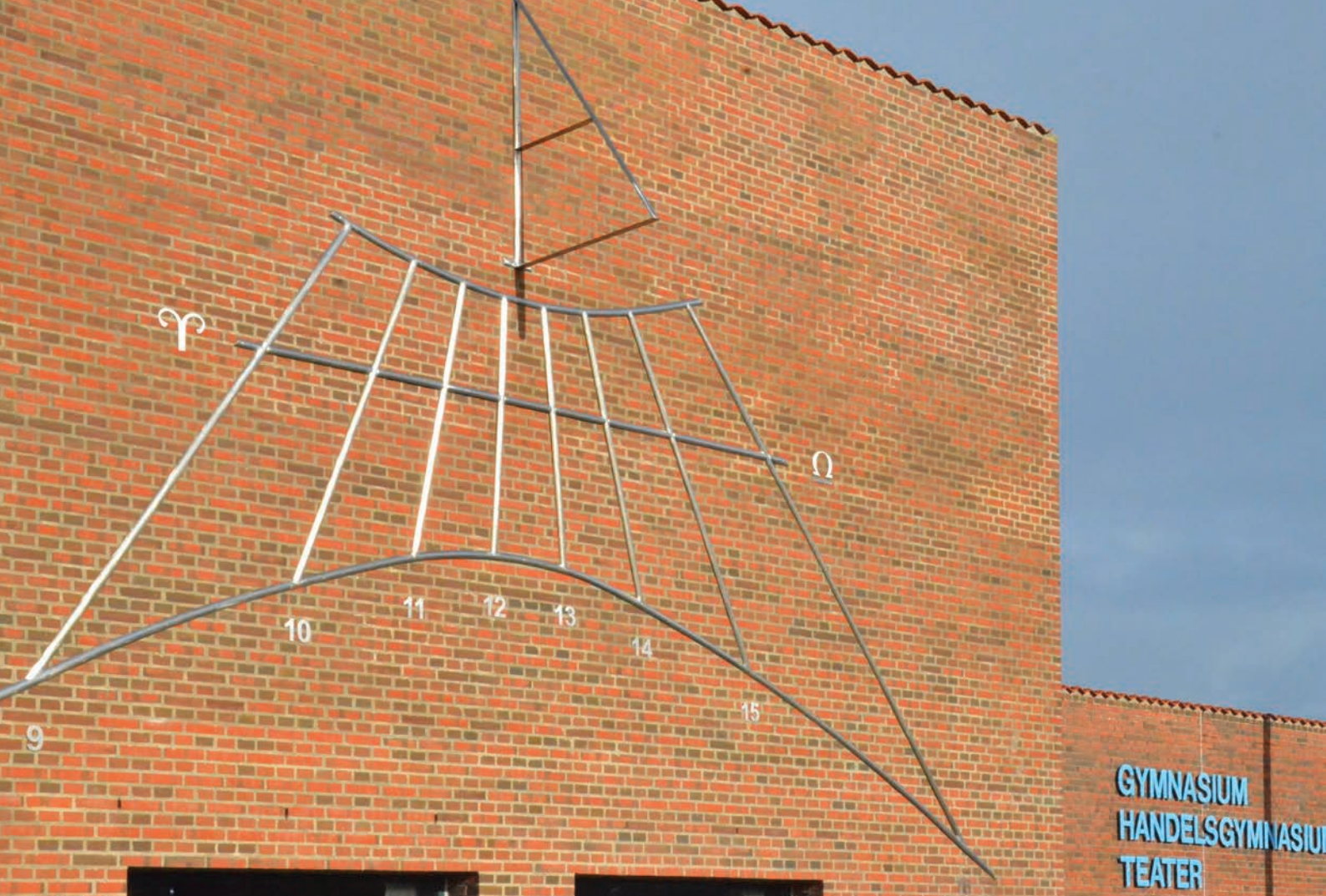
$$LMS = LS - TEQ = 12 \text{ h} - 16 \text{ min} = 11:44 \text{ h. } LMS - GMT = 36 \text{ min.}$$

Da den geografiske middelsoltid er 36 min større end *GMT* ligger stedet på  $36 \text{ min} / (4 \text{ min/grad}) = 9^\circ$  øst.

### Udfordring ved konstruktion af meridianlinjen

På billedet med eleverne, der aflæser meridianpassagen, ses to linjer i gulvet. Den højre, kraftige stiplede linje er tegnet af et arkitektfirma med bistand af en landmåler og udført af håndværkere, som byggede bygningen i sommerferien. Opgaven var, at der skulle lægges en præcist nord-sydgående linje mellem to vinduer, som skulle placeres lodret over linjen. Da jeg kom efter sommerferien kunne jeg se, at passagetidspunkterne ikke passede. Med hjælp fra nogle elever fik jeg markeret passagepunkterne igen gennem nogle måneder. Den nye linje og rigtige meridianlinje er drejet ca.  $2^\circ$  i forhold til den oprindelige.





### Det store solur

Det viser styrken af astronomiske observationer til fastlæggelse af retninger. Det ville være et interessant projekt at fastlægge meridianlinjen alene ved hjælp af videoer af solpletens bevægelse på et gulv med et passende mønster. Med et antal videoer eller manuelle observationer af solpletten ved middagstid er det overkommeligt af finde kulminationspunkterne og fastlægge meridianen.

Det var meningen, at der skulle have været er simpelt nordstjerneinstrument i den anden ende af linjen. Det kræver blot et trådkors i vinduet og et spejl med et trådkors på gulvet. I december og januar måned ville det gøre det let for eleverne at måle Nordstjernens højde, stedets geografiske bredde og fastlægge en meridianlinje ved observationer alene, forudsat at gulvet er helt vandret. Desværre blev vinduet ved en fejl placeret for langt ude mod hemsens kant, så det er ikke muligt at benytte vinduet som nordstjerneinstrument.

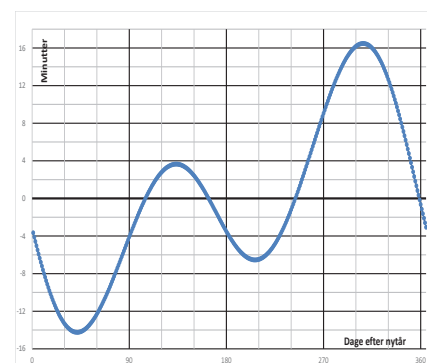
Soluret er 7,5 m bredt og 6 m højt. Øverst er der en næseformet gnomon. "Næseryggen" er parallel med Jordens omdrejningsakse og korresponderer på denne måde med armillarsfæren på tårnet ved naturfagsfløjen. Næsens underkant er 1,2 m lang og står vinkelret på muren. Næsens kant mod muren er ikke helt lodret, da muren kun næsten er rettet mod syd. Det var en udfordring at få fastlagt murens præcise retning. Den åbne næseform giver god stabilitet mod vejr og vind og lægger op til, at beskueren forestiller sig Solens bevægelse omkring jordaksen.

De skrå timelinjer fra kl. 9 til kl. 16 har alle retning mod næsens top. De angiver stedet for den fiktive lokale middelsol. Der er korrigeret for stedets geografiske længde, men man skal trække tidsækvationen fra solurets visning for at få det almindelige klokkeslæt. Det var fristen- de at lave en ottetalsformet analemma, som viser den lokale soltid, langs en eller flere timelinjer, men jeg måtte opgive det for at få et pænt og rent design.

Figur 5

Solur ved indgangen til Morsø Gymnasium. Lavet med inspiration fra Louis Nielsens flotte solur på Herlufsholm Kostskole. Konstrueret af J. P. Diget. Fremstillet i rustfrit stål af smedefirmaet Worm i Nykøbing Mors.

I stedet må beskueren undre sig over, at soluret somme tider går for hurtigt og somme tider går for langsomt, eller også må han eller hun søge oplysning om tidsækvationen på fx LunaSolCal eller i en graf, se Figur 6.



Figur 6

Graf over tidsækvationen. Når kurven er over førsteaksen, er soluret foran klokken.

# AKTUEL *natur*VIDENSKAB

## Tilbud til dit gymnasium

Vi tilbyder nu en særlig abonnementsordning på bladet Aktuel Naturvidenskab til gymnasier og HTX. Du kan vælge imellem fire pakkestørrelser:

**Antal blade i pakken:** 10 20 40 60 eksemplarer (6 numre pr. år.)  
**Pris eksklusiv moms:** 450 475 725 975 kr.

Den lave pris er mulig i en periode i forbindelse med et udviklingsprojekt, som VILLUM FONDEN støtter.

Med Aktuel Naturvidenskab kan du:

- få inspiration og materialer til undervisningen
- finde information om gymnasierettede aktiviteter på universiteterne

## Se mere på [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

Du kan også bestille via [abo@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:abo@aktuelnaturvidenskab.dk) eller på tlf.: 87152094.



### Eksempel på aflæsning af soluret

Billedet i Figur 5 er taget 26. oktober 2017 kl. 13:16 sommertid ifølge kameraets tidsstempel. Soluret viser ca. 12:30 normaltid på billedet. Det går ca. 14 min. for hurtigt, hvis kameraets ur er pålideligt. Ifølge Figur 6 burde soluret gå 16 minutter for hurtigt.

De tværgående kurver på soluret er årstidsangivelserne. Den øverste viser skyggens vandring ved vintersolhverv. Den nederste viser sommersolhverv. Den midterste linje viser skyggens bane ved jævndøgn. Det bliver en ret linje uan-

set murfladens orientering, hvis man ser bort fra den lille variation i Solens deklination i løbet af dagen og ser bort fra brydningen i atmosfæren morgen og aften. Når de medregnes krummer linjen en lille smule opad.

### Datagrundlag for beregningen af soluret

De første skitser baserede jeg på et italiensk program, *Orologi Solari*. Det er ret let at bruge, og det kan beregne solure med vilkårlig orientering. Det er dog ikke dokumenteret, og der var nogle små uregelmæssigheder i resultaterne, så jeg

turde ikke bruge det til gymnasiets solur. For at få sikkerhed for præcision i resultaterne skal man bruge en pålidelig kilde til oplysning om Solens azimuth og højde til et givet tidspunkt og et givet sted. Højden skal være korigeret for brydning i atmosfæren. Jeg valgte førnævnte beregningsskema fra den amerikanske oceanografi- og atmosfæreadministration. Deres regneark på [esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html](http://esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html) er et godt værktøj til beregning af Solens koordinater, se Figur 7.

Koordinaterne er indstillet til Morsø Gymnasium. For at få retningen til Solen på det tidspunkt, hvor skyggen skal markere klokken 10 den 21. dec 2012, noteres, at tidsækvationen er 1,757 min. Derfor skal Solens højde og azimuth beregnes klokken 10 h – 1,757 min. Man kan vælge at få højden korigeret for brydning i atmosfæren under normale atmosfæriske forhold.

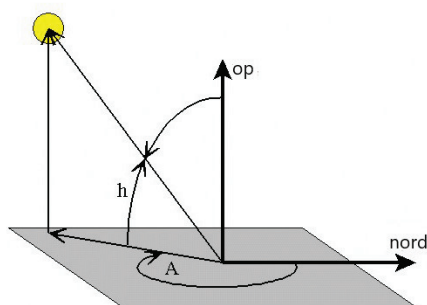
NOAA Solar Calculations - Change any of the highlighted cells to get solar position data for that location and date.				Date	Time (past local midnight) (hours)	Eq of Time (minutes)	Solar Elevation corrected for atm refraction (deg)	Solar Azimuth Angle (deg cw from N)
Latitude (+ to N)	56,78487			21-12-2012	9:00:00	1,77771	-0,43756	134,741
				21-12-2012	8:58:13	1,778322	-0,67922	134,372
Longitude (+ to E)	8,8343703			21-12-2012	10:00:00	1,757053	4,49524	147,502
Time Zone (+ to E)	1			21-12-2012	9:58:15	1,757658	4,36945	147,12
				21-12-2012	11:00:00	1,736394	8,00156	160,859
Date	21-12-2012			21-12-2012	10:58:16	1,736992	7,92383	160,465
				21-12-2012	12:00:00	1,715735	9,72399	174,662

Figur 7  
NOAA's regneark til beregning af solposition.



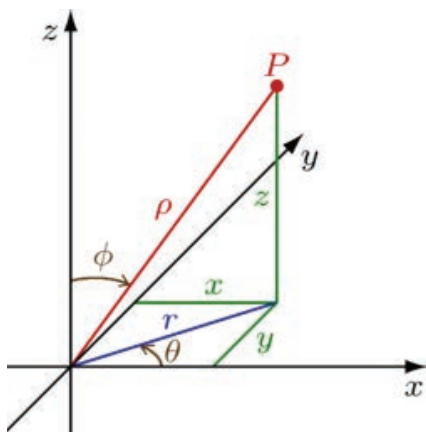
## Beregning af skyggens position på muren

Til beregning af skygges bevægelse på muren benyttes gnomonens system, et sfærisk koordinatsystem, hvor  $x$ -aksen er vinkelret på muren, dvs. parallel med den ortogonale gnomon ("næsens underkant").



Figur 8  
"Solar azimuth" er  $A$  på figuren og "Solar elevation" er  $h$  på figuren.

$x$ -aksens retning i forhold til nord er den, der var vanskelig at bestemme præcist.



Figur 9  
Sfærisk koordinatsystem. Muren er i  $yz$ -planen. Gnomonen er i  $x$ -aksens retning.

Min bedste bestemmelse af normalens retning er:  $az_{\text{gnomon}} = 180^\circ - 1,3^\circ$ . Når Solens azimuth og højde er  $az$  og  $h$ , bliver de

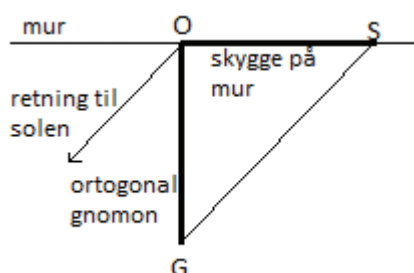
Figur 11  
Regneeksempel, som demonstrerer anvendelse af data fra Figur 7 til beregning af skygges position i et vilkårligt lodret solur.

polære koordinater i gnomonens system:

$$\theta = az_{\text{gnomon}} - az$$

$$\varphi = 90^\circ - h$$

I TI Nspire-notation er enhedsvektoren mod Solen:  $\text{retning}(az, h) := [1 \angle \theta \angle \varphi]$ .



Figur 10  
Tegning af gnomon og skygge i en plan, der er fastlagt af murens normal og retningen til Solen.

Nu er vi næsten færdige. Den ortogonale gnomons længde er  $|OG| = 120$  cm for dette solur. Vektoren  $\overrightarrow{GS}$  fra gnomonspids til skyggen på muren er

$$\overrightarrow{GS} = -k \cdot \text{retning}(az, h)$$

$k$  skal blot vælges så  $\overrightarrow{GS}$  får  $x$ -koordinaten  $-|OG|$ , så er  $y$  og  $z$  koordinaterne

på muren.  $y$ -aksen peger ca. mod øst og  $z$ -aksen peger lodret op.

Før jeg satte uret i produktion fik jeg lavet en prototype i skalaen 1:10. Prototypen skulle dels bruges som sikring mod væsentlige fejl dels bruges som redskab i undervisningen. Ved analyse af prototypen konkluderede jeg, at muren ikke var drejet  $1,9^\circ$  mod øst, som arkitekten havde oplyst, men nærmere  $1,3^\circ$ , og det er det jeg brugte ved den endelige beregning.

## Design og produktion

Per Mikkelsen har medvirket stærkt ved udformningen af solurets design. "Næsen" er fastlagt ud fra hensyn til design, funktionalitet, og smedemester Egon Worms vurdering af, hvad der kan monteres med stor præcision og holde præcisionen. Linjerne i uret er profiler af rustfrit stål, der har en oval yderside, som ikke kaster forstyrrende skygger på muren.

Per Mikkelsen har taget billederne af armillarsfæren og det store solur, billedet af eleverne ved meridianlinjen er fra en video, som Per har taget.

Jesper Nielsen har bidraget med værdifulde kommentarer til artiklen og har lavet fotosession ved meridianlinjen med 3n.

### Beregning af solur på en lodret flade.

Jens Peter Diget, lektor emeritus.

#### Solurets placering og gnomon:

Solurets bredde- og længdegrad  $b$ :  $=56.78487 \rightarrow 56.78$   $l$ :  $=8.83437034 \rightarrow 8.834$

#### Gnomonen (viseren).

Den ortogonale gnomons (OG) længde:  $\text{ortogonalgnomon} := 120 \rightarrow 120$

OG's retningsvinkel fra nord:  $az_{\text{gnomon}} := 180 - 1.3 \rightarrow 178.7$

Lodret  $\text{lodretgnomon} := 120 \cdot \tan(b) \rightarrow 183.3$

Vandret østlig forskydning af gnomontop i forh. til "næsens" bund:

$\text{forskydning} := \text{ortogonalgnomon} \cdot \tan(180 - az_{\text{gnomon}}) \rightarrow 2.723$

#### Viserens projektion på mur:

Skyggepunktet den 21 dec. kl. 10 (middelsoltid), hentet fra NOAA's regneark:

Solens azimuth og højde:  $az := 147.12 \rightarrow 147.1$   $h := 4.36945 \rightarrow 4.369$

Retningsvektoren fra gnomonfod til solen er:

$\text{retning}(az, h) := [1 \angle az_{\text{gnomon}} - az \angle 90 - h] \rightarrow \text{Udført}$

$\text{retning}(az, h) \rightarrow [0.8494 \ 0.5222 \ 0.0762]$

Vektor fra "næsetippen" til dens skygge på muren,  $\overrightarrow{GS} = -k \cdot \text{retning}(az, h)$

$\text{skygge}(az, h) := \frac{-\text{ortogonalgnomon}}{\text{dotP}(\text{retning}(az, h), [1 \ 0 \ 0])} \cdot \text{retning}(az, h) \rightarrow \text{Udført}$

$\text{skygge}(az, h) \rightarrow [-120. \ -73.77 \ -10.76]$

Her aflæses at skyggen er 73,8 cm til venstre for ortogonalgnomonens fod og 10,8 cm under den.