

Solinstrålningens osäkerhet

Arbetsrapport för forskningsprojektet:
Analys av osäkerhet i beräkning av energianvändning
i hus och utveckling av säkerhetsfaktorer

Med stöd från Energimyndigheten 30007-1 och SBUF 11768

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2010
Rapport TVIT--10/7047



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Solinstrålningens osäkerhet

Arbetsrapport för forskningsprojektet:
Analys av osäkerhet i beräkning av energianvändning
i hus och utveckling av säkerhetsfaktorer

Med stöd från Energimyndigheten 30007-1 och SBUF 11768

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2010
ISRN LUTVDG/TVIT--10/7047--SE(23)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Innehållsförteckning

1 Inledning och problemställning	5
2 Osäkerhet för solinstrålning	6
3 Korrelation mellan temperatur och solinstrålning	11
4 Utetemperaturberoende solinstrålning	15
5 Sammanfattning och slutsatser	23

1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport är främst att undersöka solinstrålningens variation över tiden. Detta påverkar direkt osäkerheten för energiberäkningar. Ett andra syfte är att undersöka samvariationen mellan utetemperatur och solinstrålning. Det är viktigt att känna till om det finns en samvariation mellan temperatur och solinstrålning. En positiv samvariation kan öka spridning eller osäkerheten för uppvärmningsbehovet och omvänt. Utetemperaturens osäkerhet har undersökts och dokumenterats i arbetsrapporten TVIT--10/7044.

Solinstrålningsdata från SMHI har använts omfattande fyra orter nämligen Borlänge, Luleå, Lund och Stockholm och de nio åren 1990 till och med 1998. De mätdata som har bearbetats i denna arbetsrapport är utetemperaturen $^{\circ}\text{C}$ och solinstrålning global mot en horisontell yta W/m^2 , diffus mot en horisontell yta W/m^2 och totalt mot en vinkelrät yta W/m^2 .

Totala antalet timvärden var 78888 för nio år varav två skottår. Antalet data som saknas sammanställs i Tabell 1.1 nedan. Totalantalet fel är 2209 för de fyra aktuella variablerna. Det relativa felet är mindre än 1 på 100 (0.007000). Korrigering för bortfallet har gjorts genom att summor har räknats upp för det relativa bortfallet. Bortfallet har inte varit helt försumbart.

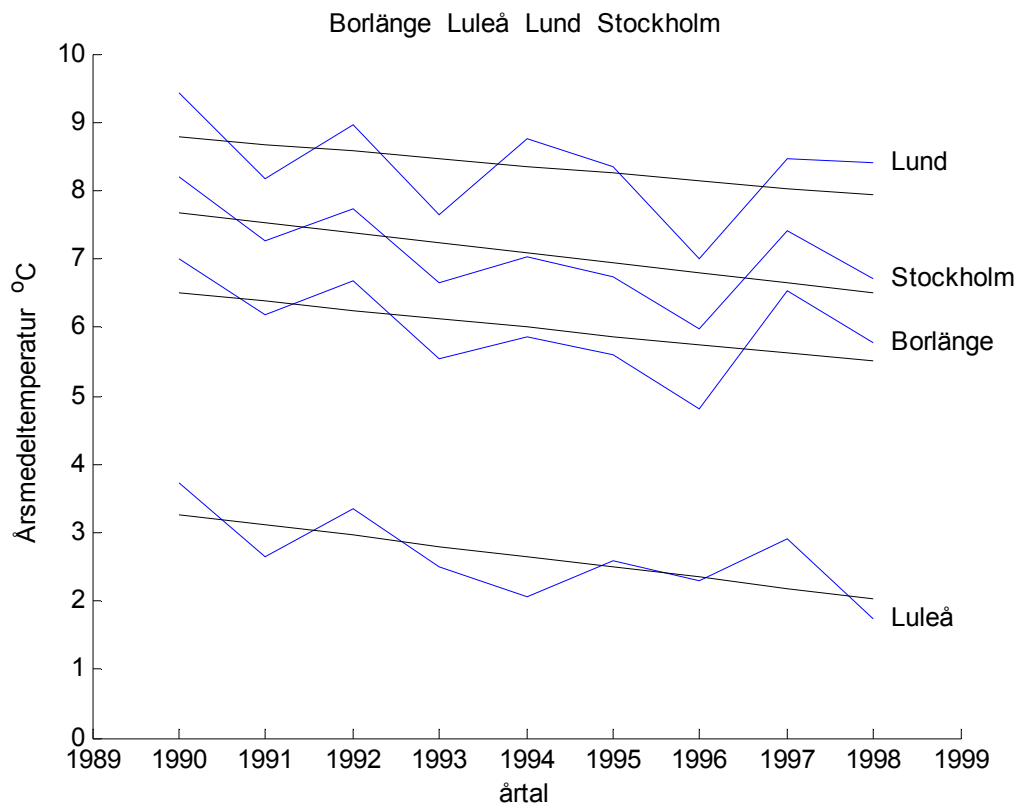
Tabell 1.1 Antal saknade mätdata för temperatur och instrålning för 1990-1998

ort	temperatur	global	diffus	normal	summa
Borlänge	158	462	347	394	1361
Luleå	24	0	5	5	34
Lund	0	0	1	0	1
Stockholm	9	491	313	0	813
summa	191	953	666	399	2209

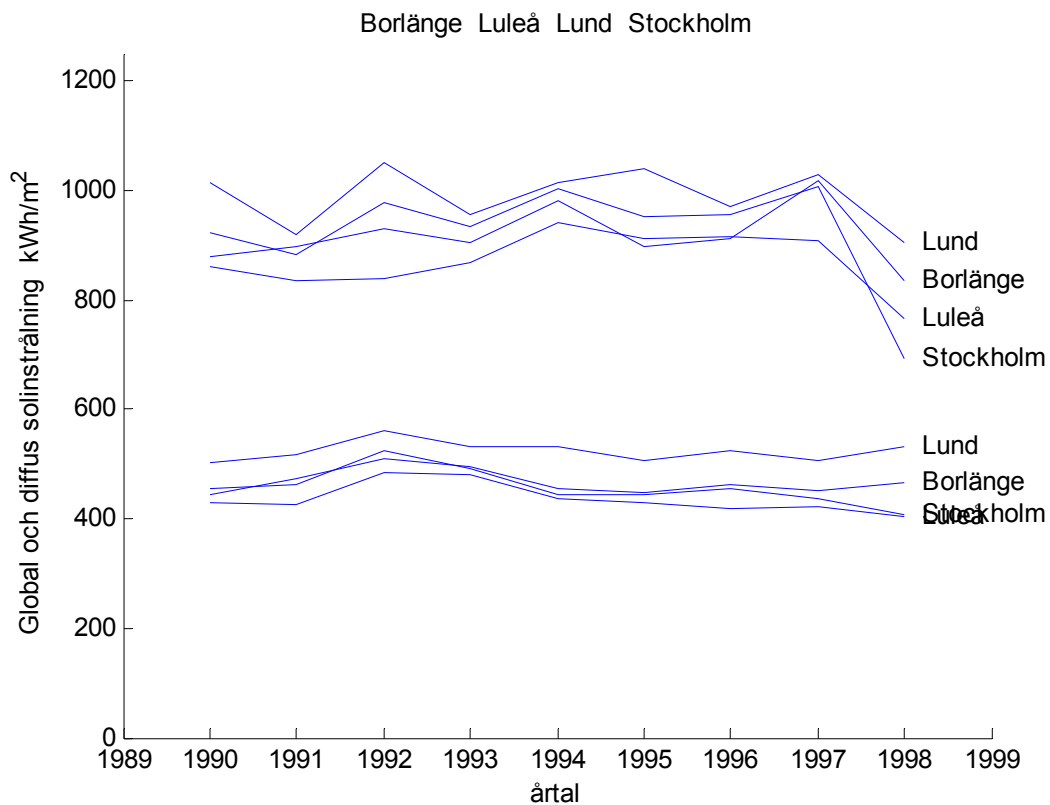
En översikt för årsmedelvärde för utetemperatur och årssummor för global och diffus solinstrålning mot en horisontell yta redovisas för de fyra orterna i Figur 1.1 respektive Figur 1.2.

En linjär regression med en konstant ökande eller avtagande funktion har gjorts för den aktuella perioden. De bestämda regressionslinjerna visar alla på en fallande utetemperatur över den aktuella perioden 1990-1998 med -0.10 till -0.15 $^{\circ}\text{C}/\text{år}$. Detta kan jämföras med tidigare resultat redovisade i arbetsrapporten TVIT--10/7044 för en längre och omslutande tidsperiod 1960-2008. Utetemperaturens långsiktiga ändring som bestämdes till en ökning om 0.04 $^{\circ}\text{C}/\text{år}$.

Arbetsrapportens disposition är att utetemperaturens och solinstrålningens osäkerhet, korrelation mellan utetemperatur och solinstrålning och sammanfattning och slutsatser ges i avsnitten 2, 3 respektive 4.



Figur 1.1 Årsmedeltemperatur för Borlänge, Luleå, Lund och Stockholm.



Figur 1.2 Global och diffus solinstrålning för Borlänge, Luleå, Lund och Stockholm.

2 Osäkerhet för temperatur och solinstrålning

Årsvärden för de fyra orterna redovisas i Tabell 2.1-4 för de fyra variablerna utetemperatur °C, global solinstrålning mot en horisontell yta W/m², diffus solinstrålning mot en horisontell yta W/m² och solinstrålning mot en vinkelrät yta W/m².

Lägsta årsvärde, medelvärde, högsta årsvärde och standardavvikelse har beräknats och återfinns nederst i Tabell 2.1.

Utetemperatur och global solinstrålning redovisas med månadsvärde för de fyra orterna i Figur 2.1-4. Den globala instrålningen redovisas månadsmedeleffekt med sorten W/m². Omräkning till global solinstrålning över hela året innebär att ett medelvärde skall multipliceras med en faktor 12·8760/1000 för att resultatet skall bli kWh/m².

Utetemperaturens standardavvikelse för årsmedelvärdet är 0.68, 0.61, 0.71 och 0.66 °C för de fyra orterna i medeltal 0.665 °C. Standardavvikelsen har beräknats för en längre tidsperiod i arbetsrapporten TVIT—01/7044 med det avrundade resultatet 1 °C. Skillnaden i standardavvikelse kan till en del förklaras med att det finns en långsam ökning för de längre tidsserierna omfattande åren 1961 till och med 1998. Detta går att analysera med en enkel modell för en variabel med linjär ändring med lutningen k °C/år och en oberoende spridning med standardavvikelsen σ °C. Standardavvikelse σ_n för en mätperiod om n år kan skrivas som följer:

$$\sigma_n = (\sigma^2 + (nk)^2 / 12)^{0.5} \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.1)$$

Den slumpmässiga variationen eller standardavvikelsen σ kan beräknas med (2.1) och efter insättning av $\sigma_n = 0.665$ °C, $n = 9$ år och en medellutning på $k = 0.125$ °C/år fås $\sigma = 0.580$ °C. Korrelationen mellan utetemperatur och tid är inte hög i medeltal 0.55 för de fyra orterna.

Samma omräkning av standardavvikelsen för perioden 1960-2008 något avrundad till $\sigma_n = 1.0$ °C, $n = 48$ år och en medellutning på $k = 0.040$ °C/år ger $\sigma = 0.832$ °C, vilket är något högre än den för tidsperioden 1990-1998. Korrelationen mellan utetemperatur och tid för tidsperioden 1960-2008 är heller inte hög 0.56 för ett medelvärde för samtliga stationer. Kortare tidsperioder har testats med start år 1960(5)1995 och korrelationen är i medeltal 0.57.

Den globala solinstrålningens standardavvikelse är 55, 53, 53 och 95 kWh/m² för de fyra orterna. Det finns ett längre bortfall av data för Stockholm under 1998, vilket ökar standardavvikelsen betydligt. Om året 1998 utesluts, fås för alla fyra stationer enligt Tabell 2.2 49, 39, 45 respektive 42 kWh/m². Motsvarande medelvärden för samma tidsperiod är enligt Tabell 2.2 933, 884, 998 och 954 kWh/m², vilket ger relativa standardavvikelser på 0.053, 0.044, 0.045 respektive 0.044. En slutsats kan vara att den relativa variationen eller osäkerheten hos solinstrålningen är förhållandevis liten men den kan inte försummas.

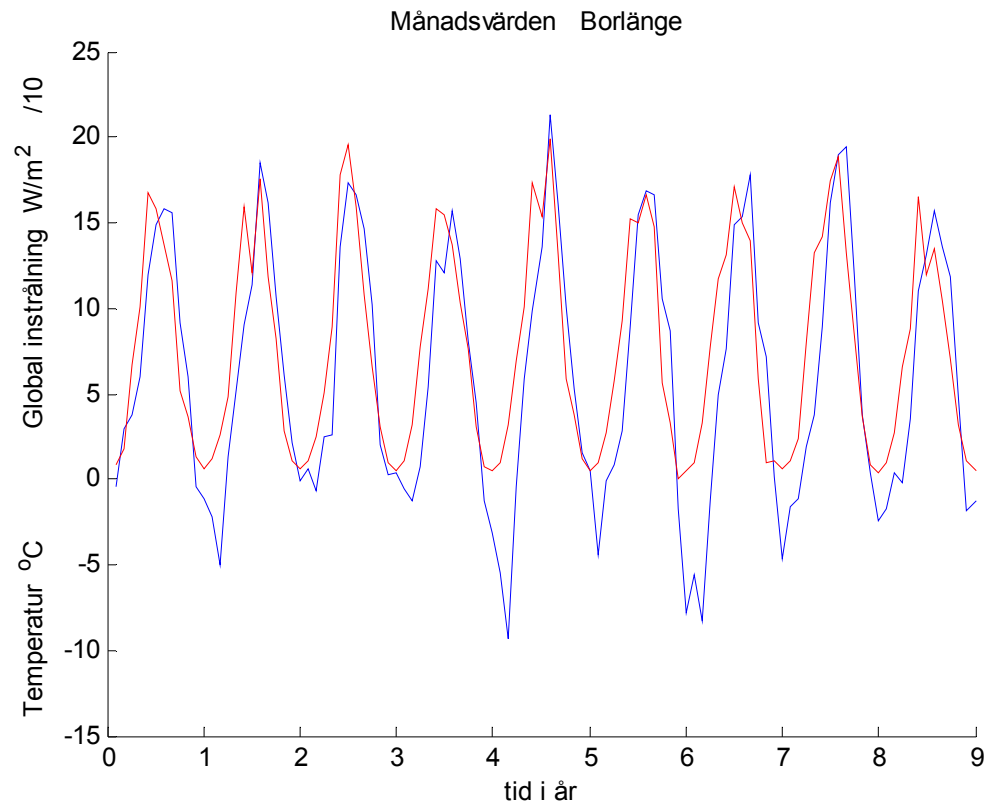
Variationen eller osäkerheten är ganska liten om årssummor undersöks. Årssummor kan vara missvisande, eftersom störst bidrag fås under sommartid samtidigt som det inte finns något uppvärmningsbehov. Det kan därför vara av intresse att undersöka vinterhalvårssummor.

Tabell 2.1 Årsvärden för utetemperatur och global solinstrålning för fyra orter 1990-1998

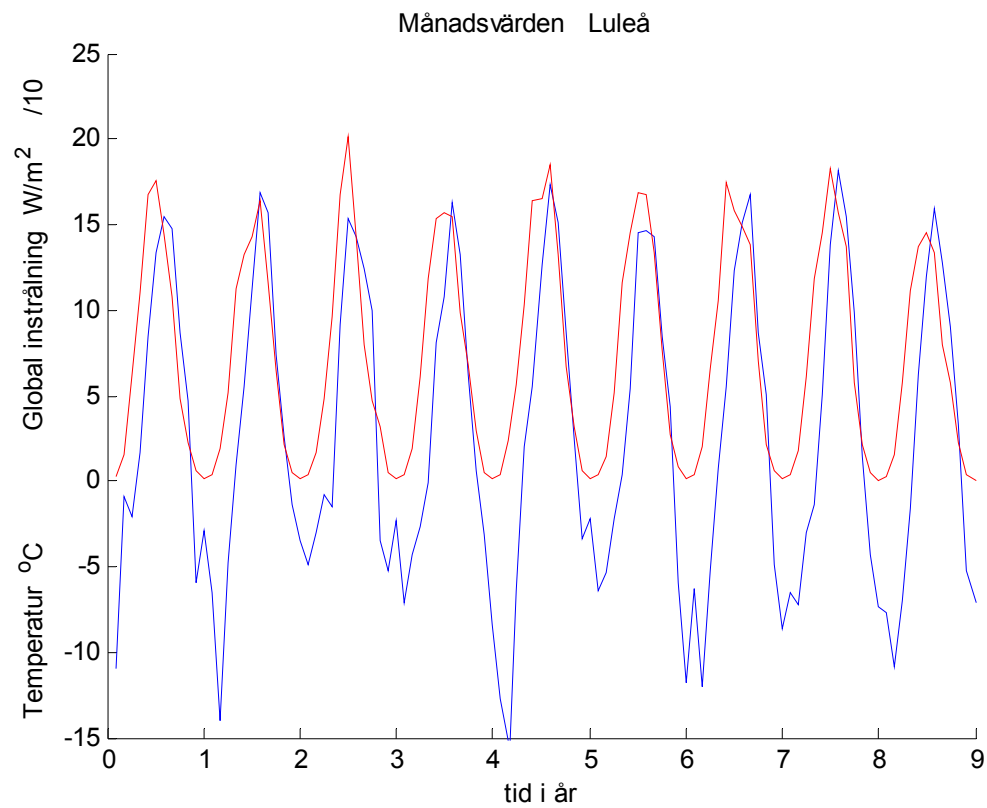
ort	Borlänge		Luleå		Lund		Stockholm	
	ute °C	global kWh/m ²	ute °C	global kWh/m ²	ute °C	global kWh/m ²	ute °C	global kWh/m ²
1990	7.01	879	3.72	862	9.43	1014	8.22	924
1991	6.18	897	2.65	834	8.17	920	7.26	881
1992	6.69	930	3.35	841	8.97	1049	7.75	978
1993	5.54	904	2.51	869	7.66	955	6.64	934
1994	5.85	982	2.07	939	8.76	1012	7.04	1003
1995	5.61	898	2.60	913	8.36	1038	6.74	953
1996	4.81	912	2.30	914	6.99	972	5.99	957
1997	6.54	1020	2.91	907	8.48	1029	7.42	1006
1998	5.78	834	1.74	767	8.40	905	6.72	694
min	4.81	834	1.74	767	6.99	905	5.99	694
medel	6.00	917	2.65	872	8.36	988	7.09	926
max	7.01	1020	3.72	939	9.43	1049	8.22	1006
std	0.68	55	0.61	53	0.71	53	0.66	95

Tabell 2.1 Årsvärden för utetemperatur och global solinstrålning för fyra orter 1990-1997

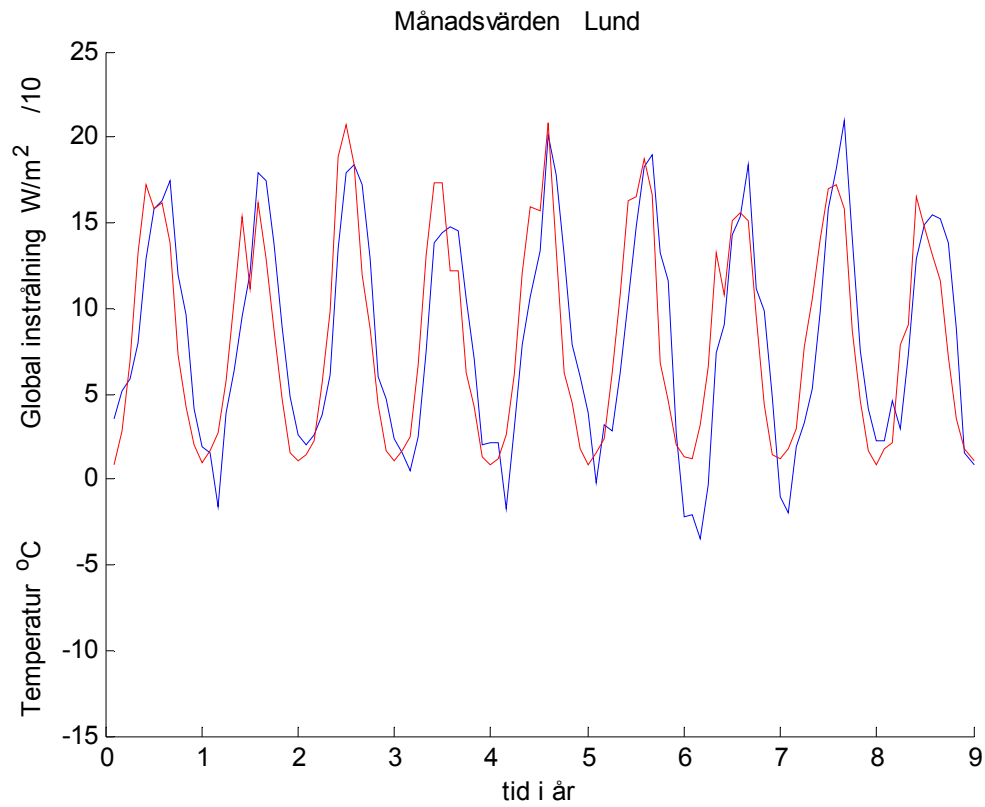
ort	Borlänge		Luleå		Lund		Stockholm	
	ute °C	global kWh/m ²	ute °C	global kWh/m ²	ute °C	global kWh/m ²	ute °C	global kWh/m ²
1990	7.01	879	3.72	862	9.43	1014	8.22	924
1991	6.18	897	2.65	834	8.17	920	7.26	881
1992	6.69	927	3.35	838	8.97	1047	7.75	976
1993	5.54	904	2.51	869	7.66	955	6.64	934
1994	5.85	982	2.07	939	8.76	1012	7.04	1003
1995	5.61	898	2.60	913	8.36	1038	6.74	953
1996	4.81	960	2.30	911	6.99	969	5.99	955
1997	6.54	1020	2.91	907	8.48	1029	7.42	1006
min	4.81	879	2.07	834	6.99	920	5.99	881
medel	6.03	933	2.76	884	8.35	998	7.13	954
max	7.01	1020	3.72	939	9.43	1047	8.22	1006
std	0.72	49	0.55	39	0.76	45	0.69	42



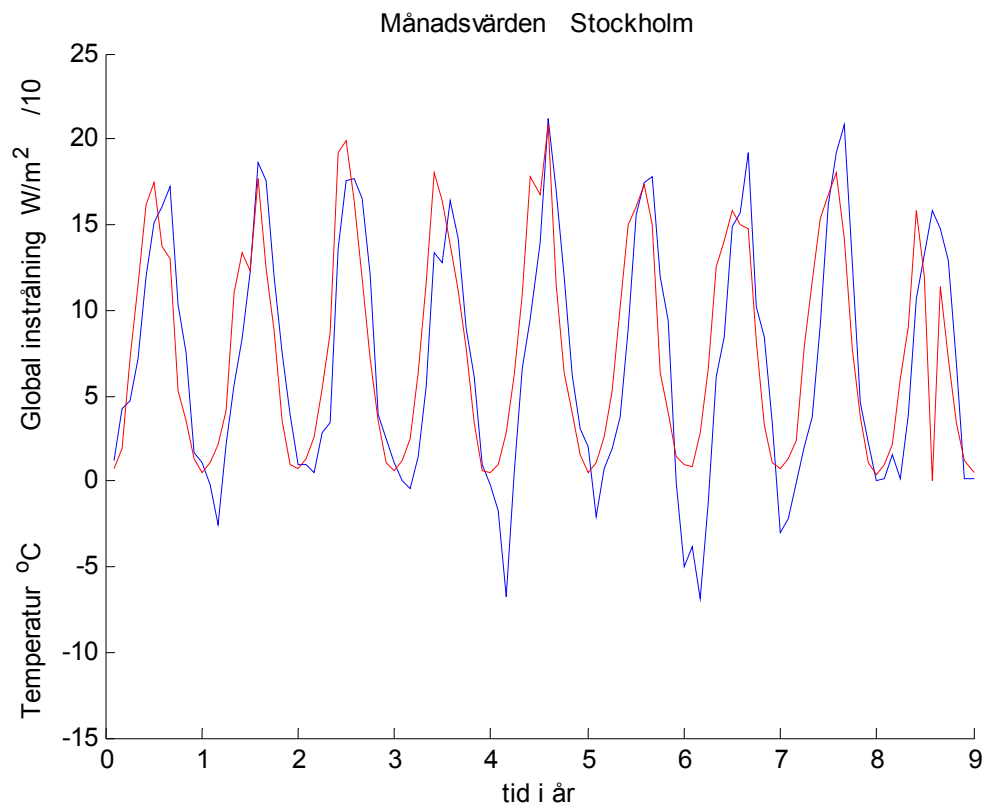
Figur 2.1 Utetemperatur och global solinstrålning som månadsmedelvärden för Borlänge.



Figur 2.2 Utetemperatur och global solinstrålning som månadsmedelvärden för Luleå.



Figur 2.3 Utetemperatur och global solinstråining som månadsmedelvärden för Lund.



Figur 2.4 Utetemperatur och global solinstråining som månadsmedelvärden för Stockholm.

3 Korrelation temperatur och solinstrålning

Det är viktigt att känna till om det finns en samvariation mellan temperatur och solinstrålning. En positiv samvariation kan öka spridningen för uppvärmningsbehovet och omvänt. Den globala solinstrålningen under helår, vinterhalvår och sommarhalvår redovisas för de fyra orterna i Figur 3.1-4 som funktion av motsvarande medelvärde för utetemperaturen. Sommarvärdena verkar ha en positiv korrelation och vintervärdena en svagt negativ korrelation. Korrelationen har beräknats ortsvis mellan utetemperatur och global solinstrålning och redovisas i Tabell 3.1 för olika tidsurval.

Siffrorna i Tabell 3.1 visar att korrelationen mellan temperatur och global solinstrålning är vad som delvis förväntas. Korrelationen är liten för årsvärden bortsett från Lund med siffervärdet 0.457, vilket ändå inte är en stark korrelation. Alla de fyra vintervärdena är negativa, vilket styrker tesen att kall vinter är klar och därmed också solig. Sommarvärden anger en stark korrelation, vilket även här är förklarligt eftersom utetemperaturen påverkas av solinstrålning. Högst korrelation fås för månadsvärden nästan alla över 0.80 och något lägre för dygnsvärden med nästan alla över 0.65. Timvärden ger ännu lägre korrelation i huvudsak beroende på att solinstrålning är noll nattetid.

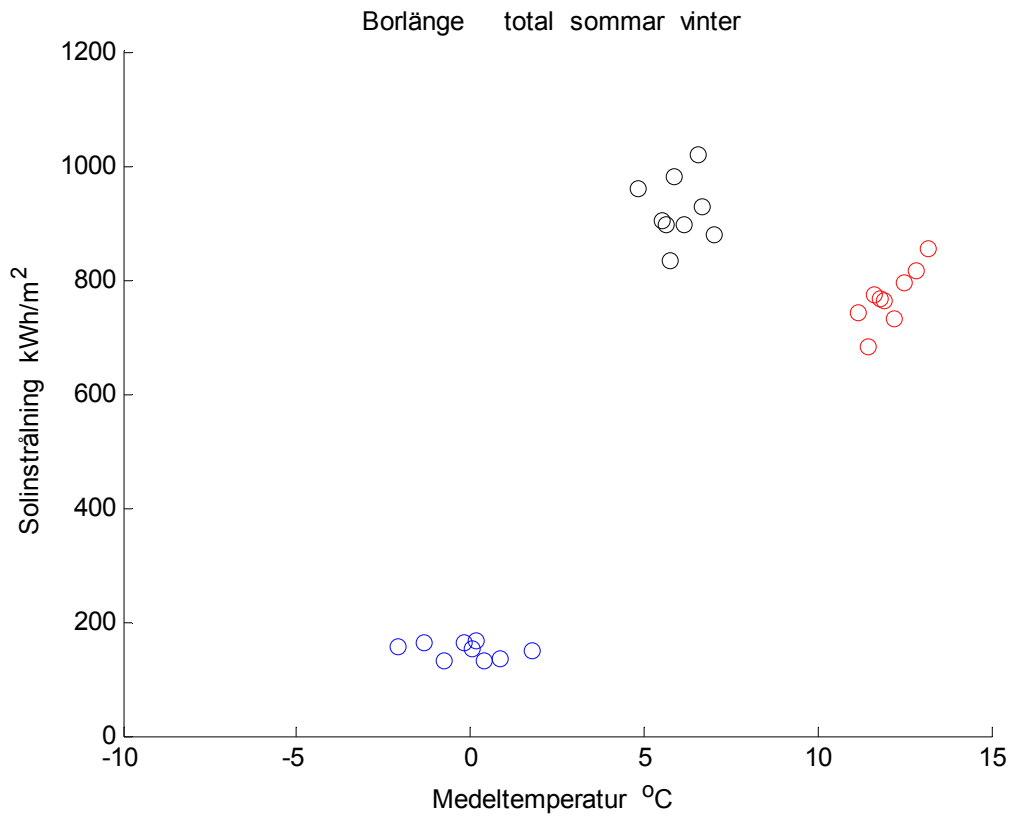
Tabell 3.1 Korrelation mellan temperatur och global solinstrålning för olika tidsperioder

ort	helår	vinterhalvår	sommarhalvår	månader	dygn	timmar
Borlänge	0.029	-0.364	0.813	0.843	0.688	0.493
Luleå	0.059	-0.335	0.579	0.797	0.648	0.472
Lund	0.457	-0.164	0.749	0.834	0.683	0.504
Stockholm	0.164	-0.353	0.656	0.801	0.678	0.529

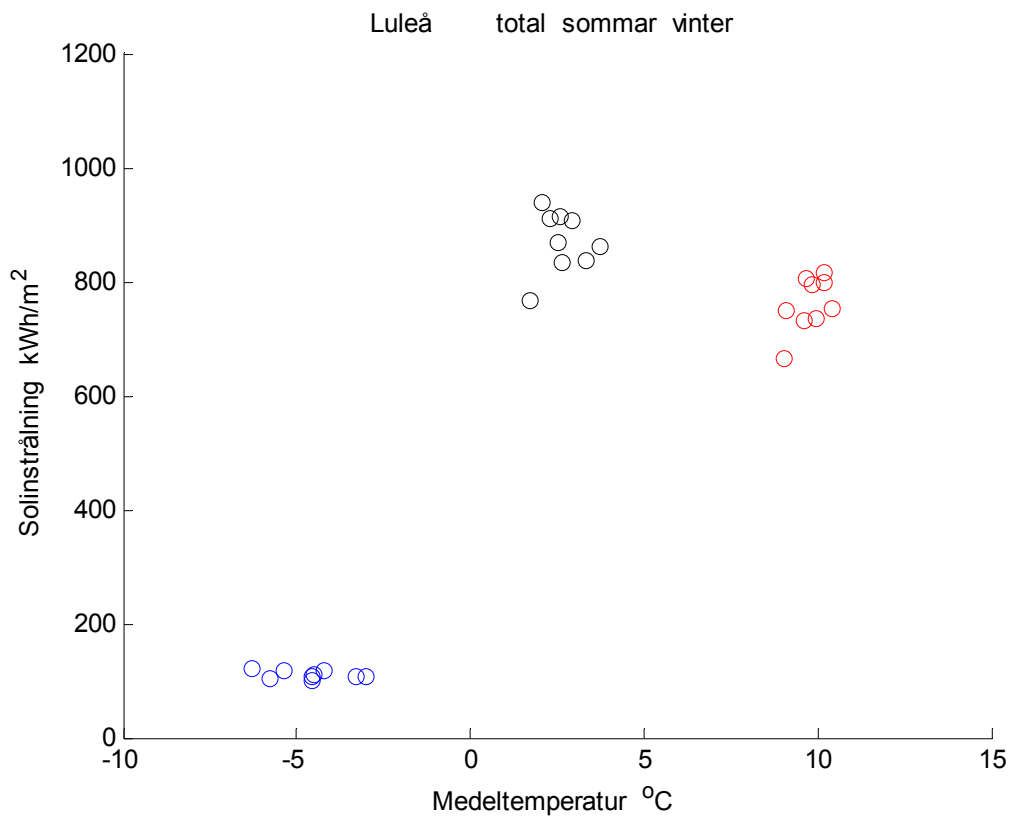
Hur solinstrålning sammanfaller med utetemperaturen kan undersökas genom att beräkna korrelationen för olika tidsperioder av året. Tidsperioderna väljs för att motsvara en följd av de 4, 6, 8 och 10 kallaste månaderna och korrelationerna redovisas i Tabell 3.2. Perioden oktober-mars återfinns även som vinterhalvåret i Tabell 3.1. Korrelationen är inte hög och genomgående negativ utom i ett fall. Korrelationen är absolut större än 0.4 i 6 fall och större än 0.5 i 2 fall. Den negativa korrelationen kan som tidigare förklaras med att klara vinterdagar innebär kalla och soliga vinterdagar.

Tabell 3.2 Korrelation mellan temperatur och global solinstrålning för olika tidsperioder

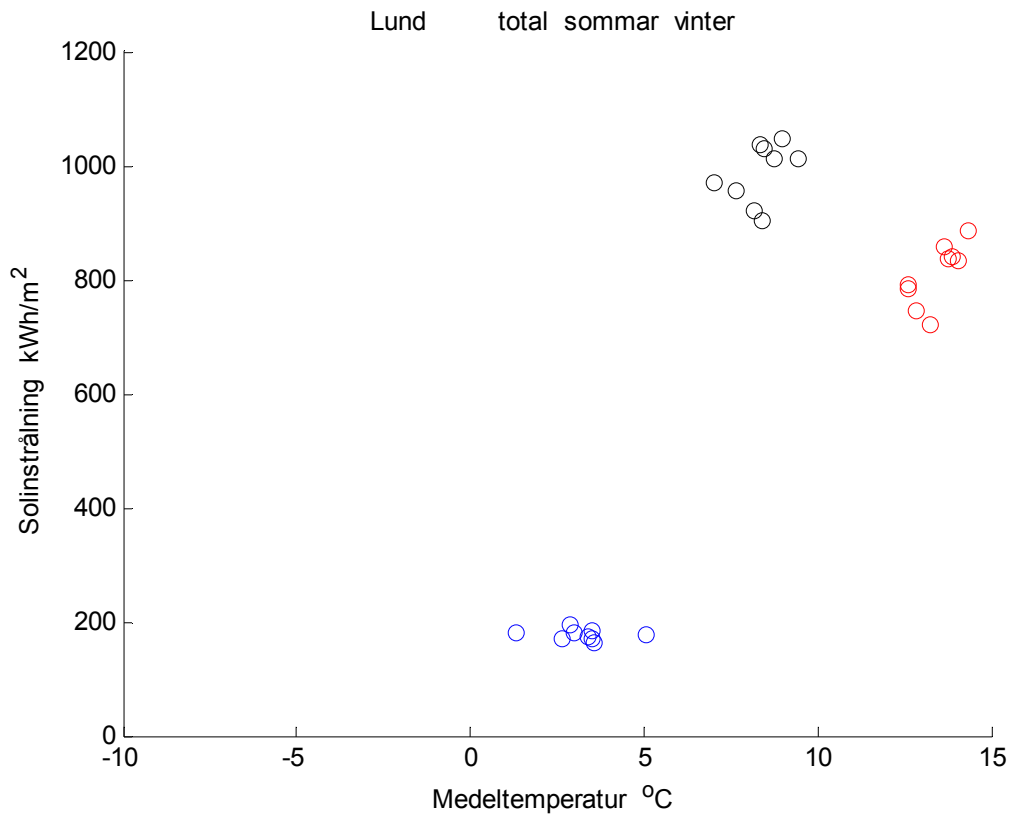
ort	augusti-maj	september-april	oktober-mars	november-februari
Borlänge	-0.188	-0.178	-0.364	-0.299
Luleå	-0.175	-0.493	-0.335	-0.473
Lund	0.172	-0.437	-0.164	-0.459
Stockholm	-0.351	-0.551	-0.353	-0.621



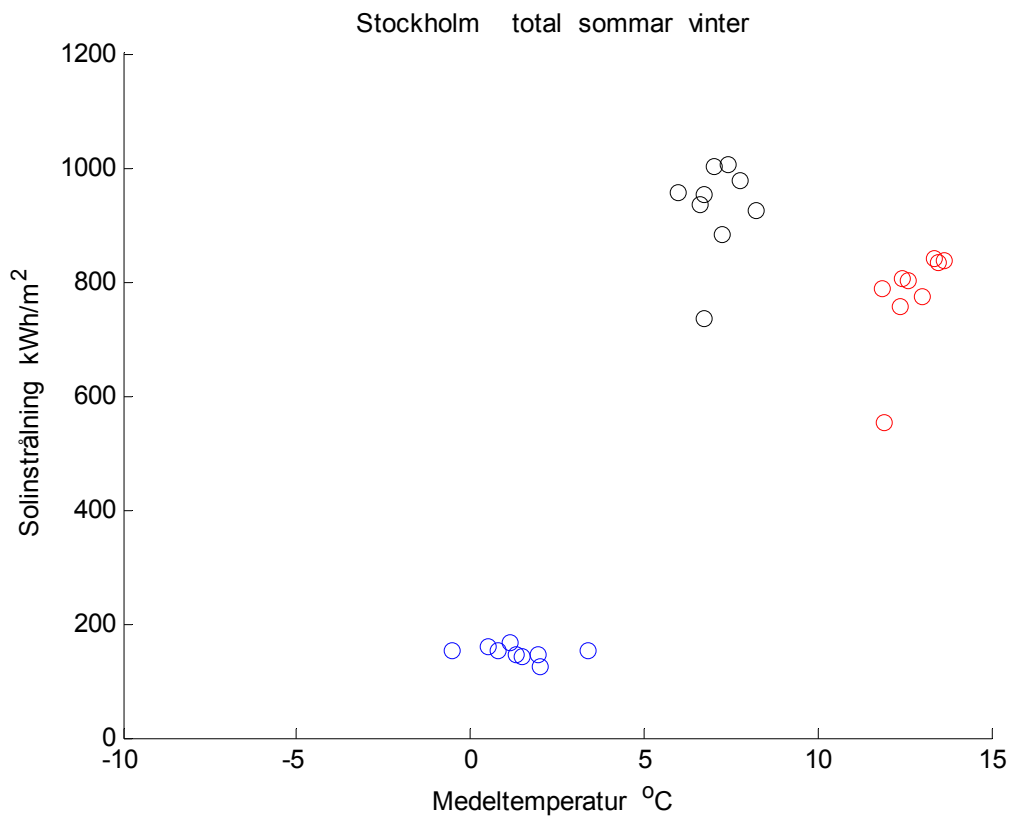
Figur 3.1 Solinstrålning och medeltemperatur för helår, sommar och vinter för Borlänge.



Figur 3.2 Solinstrålning och medeltemperatur för helår, sommar och vinter för Luleå.



Figur 3.3 Solinstrålning och medeltemperatur för helår, sommar och vinter för Lund.



Figur 3.4 Solinstrålning och medeltemperatur för helår, sommar och vinter för Stockholm.

Det finns ett udda och okorrigerat sommarvärde för Stockholm för året 1998 beroende på databortfall.

De i detta avsnitt redovisade korrelationerna och helårs-, vinterhalvårs- och sommarhalvårsvärden visar att det finns både positiv och negativ korrelation mellan global solinstrålning och utetemperatur. En mera direkt metod är att undersöka den globala solinstrålningen under en given utetemperatur, vilket passar bättre för analys av osäkerhet vid beräkning av energibehov för uppvärmning och ventilation. Detta görs i nästa avsnitt.

4 Utetemperaturberoende solinstrålning

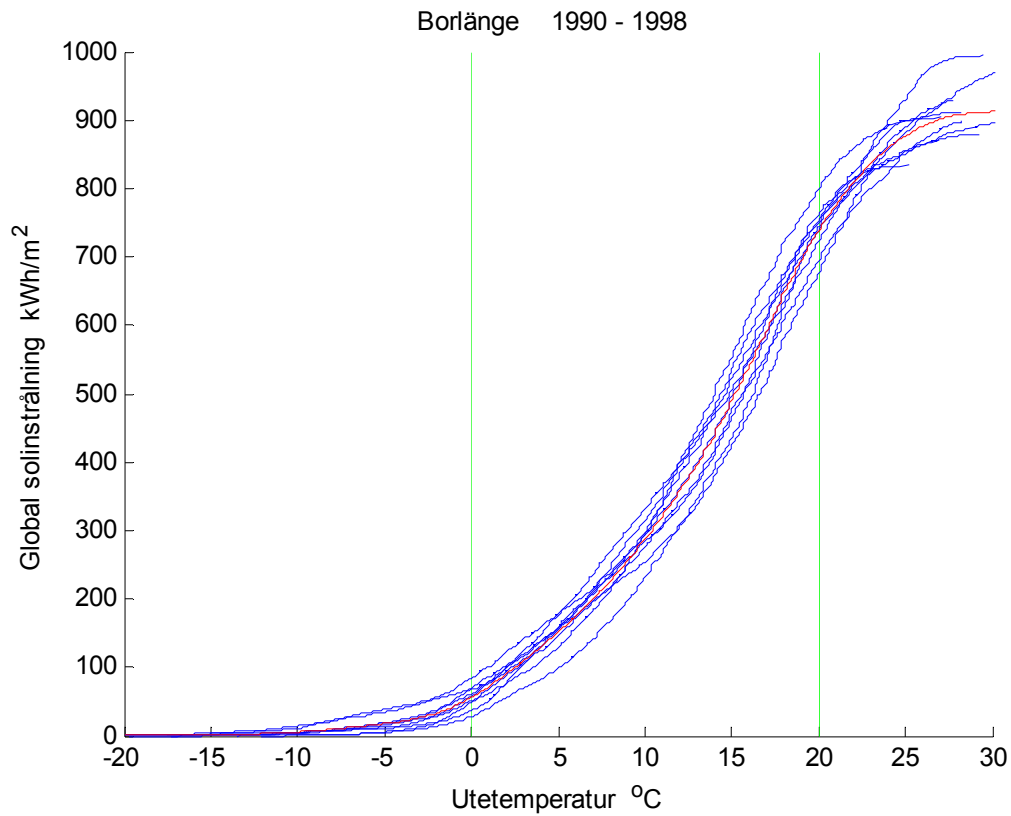
Avsikten med detta avsnitt är att undersöka hur solinstrålningen över året fördelas som en funktion av utetemperaturen. Mängden solinstrålning under sommarhalvåret har stor betydelse för solvärmesystem för tappvarmvatten, men klart mindre betydelse för värmebehov för uppvärmning och ventilation.

Den ackumulerade solinstrålningen under en given utetemperatur beräknas för de fyra orterna och de nio åren 1990-1998. Resultatet redovisas på tre sätt för varje ort med nio år och ett medelår i figur 4.1-4, medelår plus minus standardfel i Figur 4.5-8 och kvoten mellan standardfel och medelår i Figur 4.9-12.

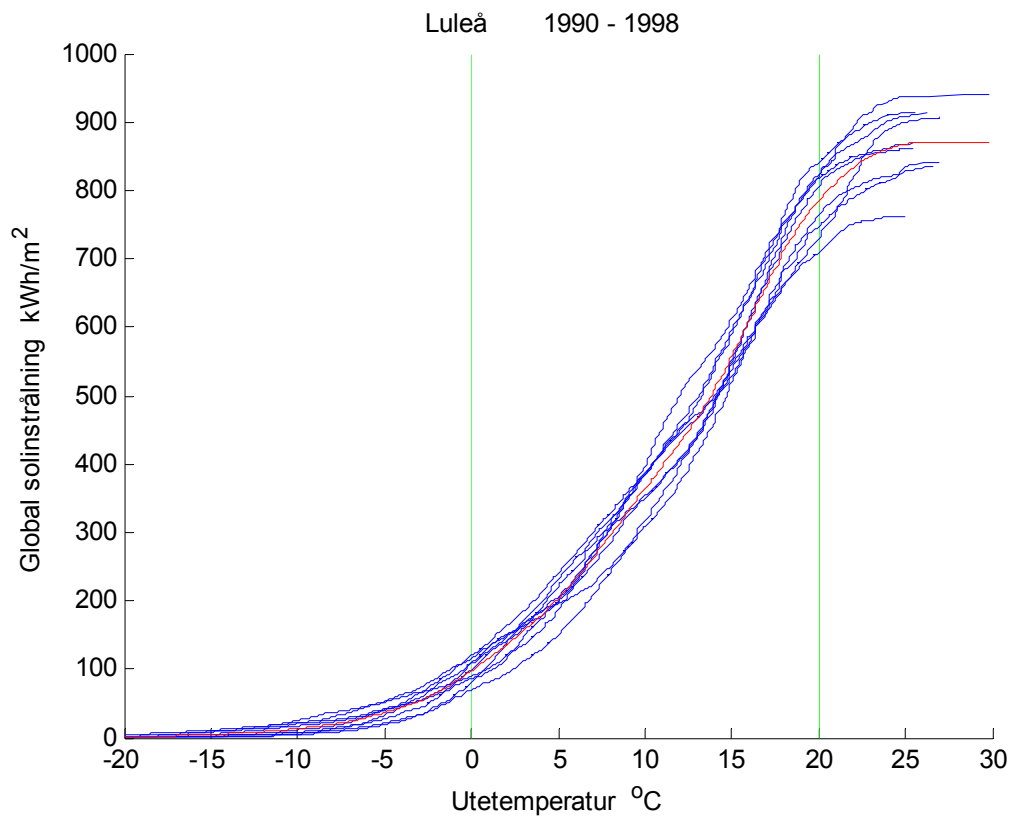
Årskurvorna i Figur 4.1-4 visar att det finns en viss spridning från år till år för de fyra orterna. Spridningern ökar något med utetemperaturen. Spridningen för den totala globala solinstrålningen framgår också av slutvärdet för den ackumulerade solinstrålningen.

Kurvorna för minsta, medel och största ackumulerande globala solinstrålning samt standardavvikelse i Figur 4.5-8 visar på samma sak. Notera att kurvorna för minsta och största ackumulerande globala solinstrålning inte tillhör var sitt år utan olika delar tillhör olika år.

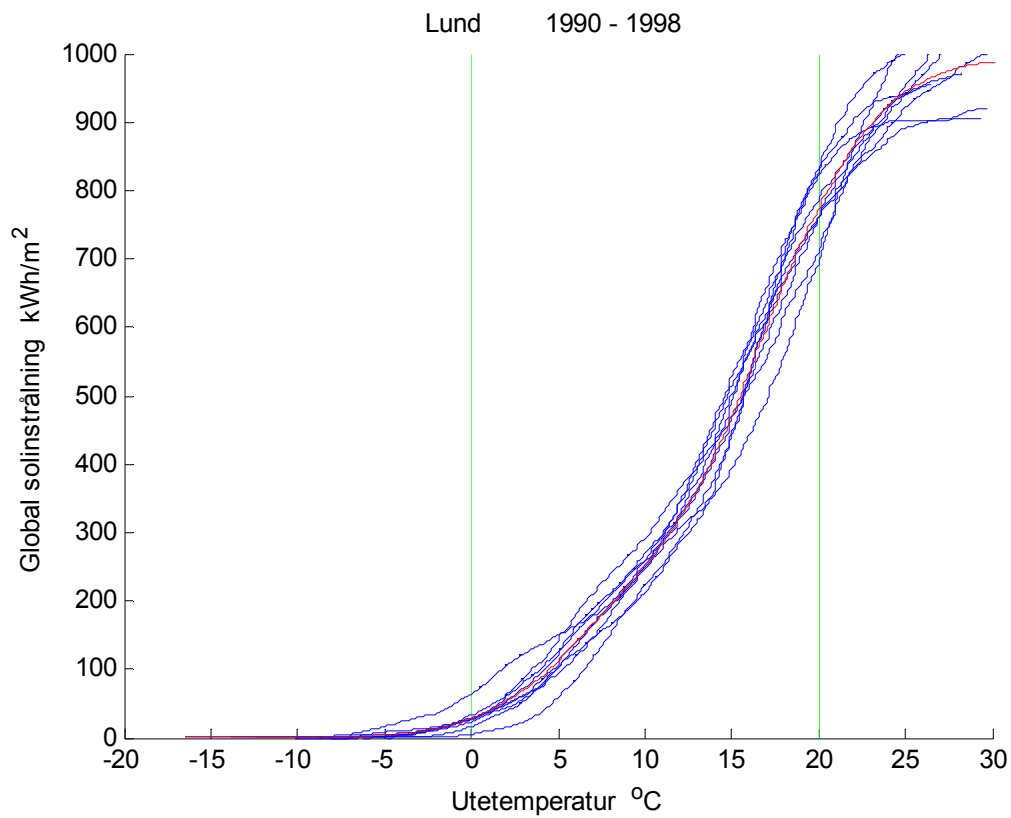
Kvoten mellan standardavvikelse och medelvärde som redovisas i Figur 4.9-12 är ett mått på den relativa osäkerheten och den avtar med stigande utetemperatur. En hjälplinje med värdet 0.1 har ritats in i Figur 4.9-12 som jämförelse, Den relativa osäkerheten är förenklat mindre än 0.1 för utetemperaturen större än 10 °C och omvänt.



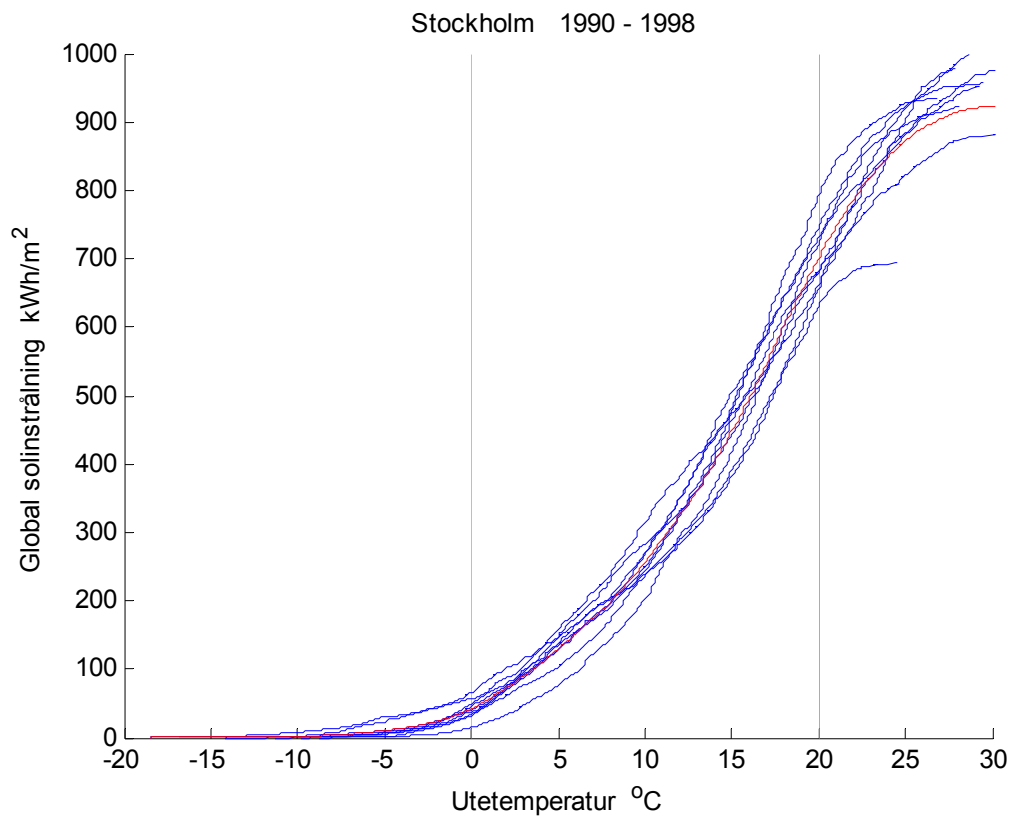
Figur 4.1 Summerad solinstrålning som funktion av utetemperatur.



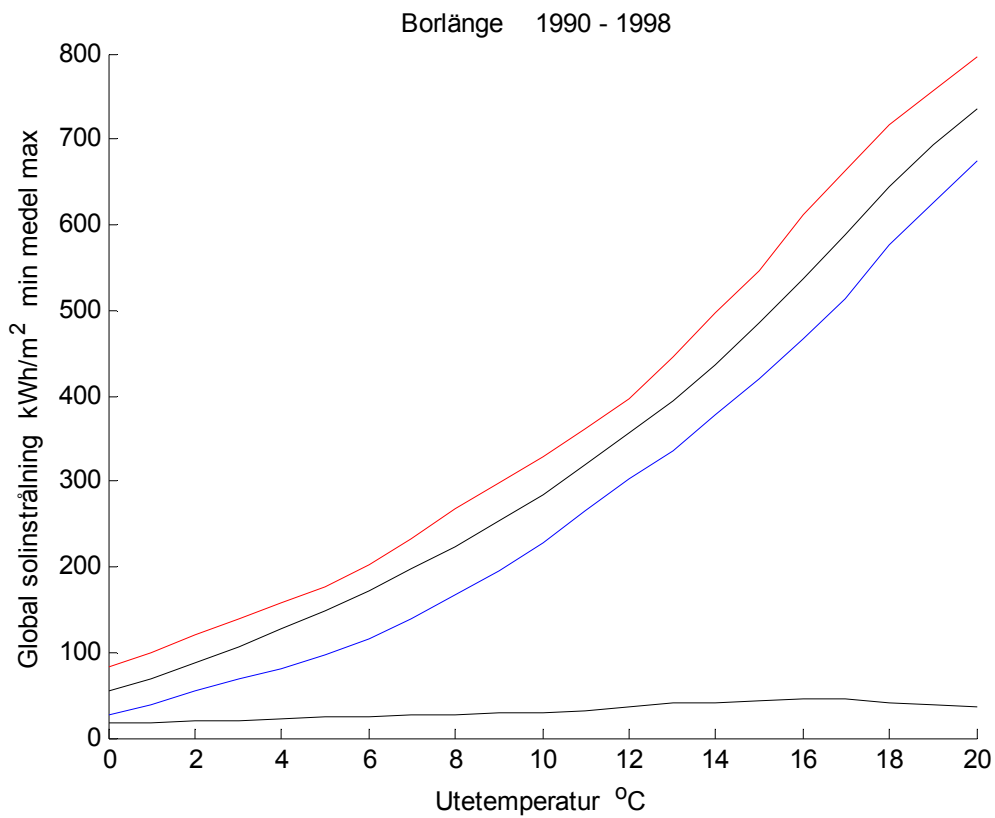
Figur 4.2 Summerad solinstrålning som funktion av utetemperatur.



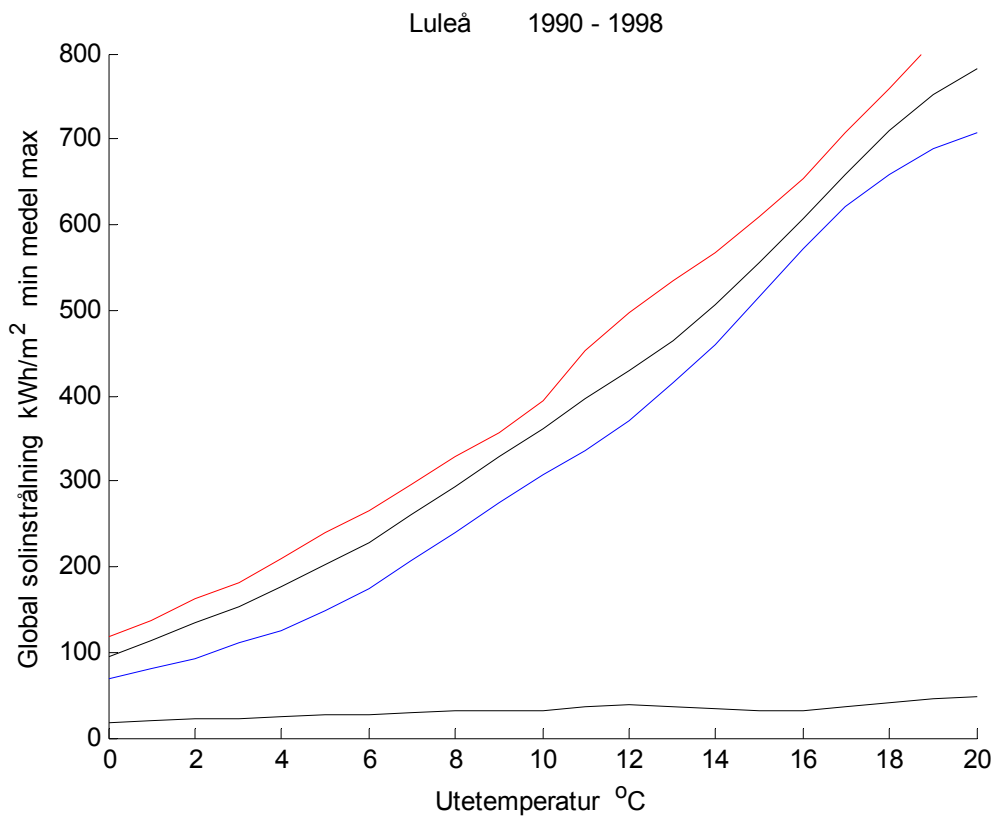
Figur 4.3 Summerad solinstrålning som funktion av utetemperatur.



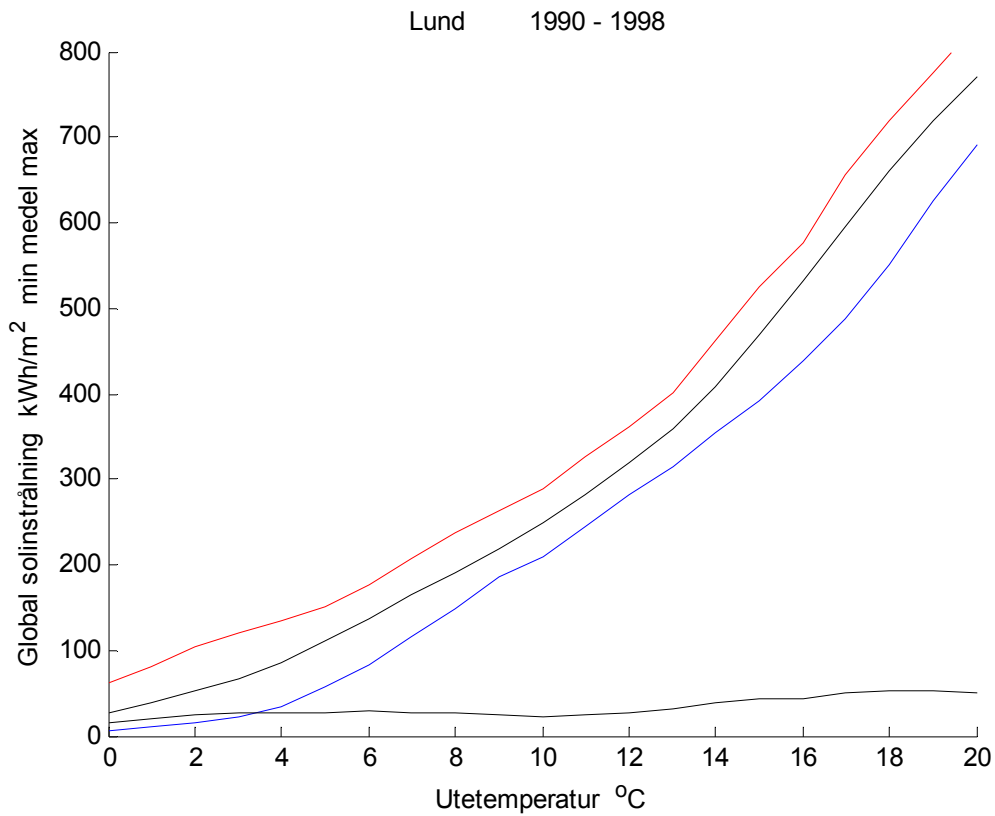
Figur 4.4 Summerad solinstrålning som funktion av utetemperatur.



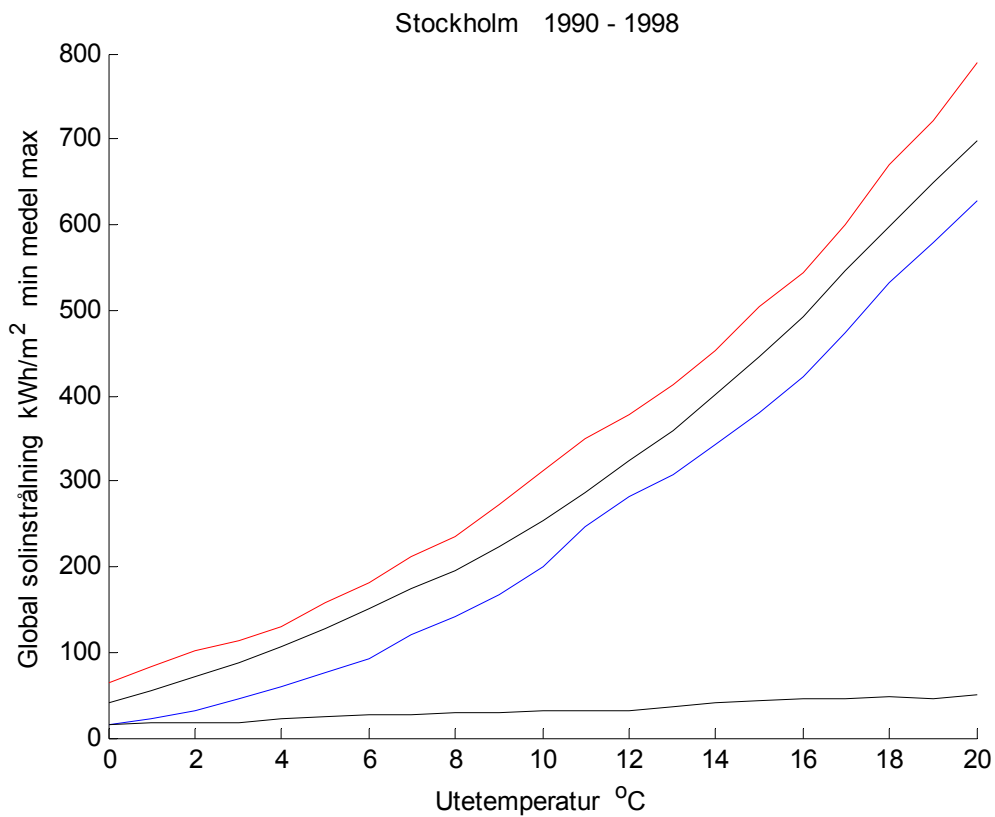
Figur 4.5 Min, medel, max och std för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



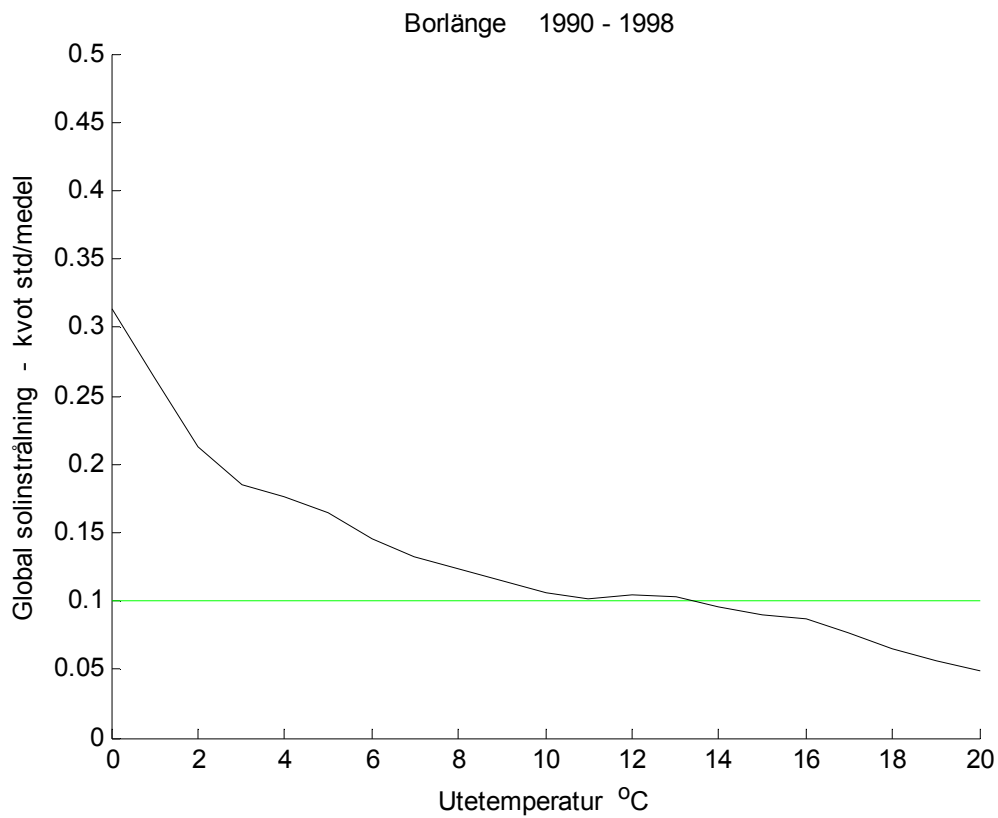
Figur 4.6 Min, medel, max och std för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



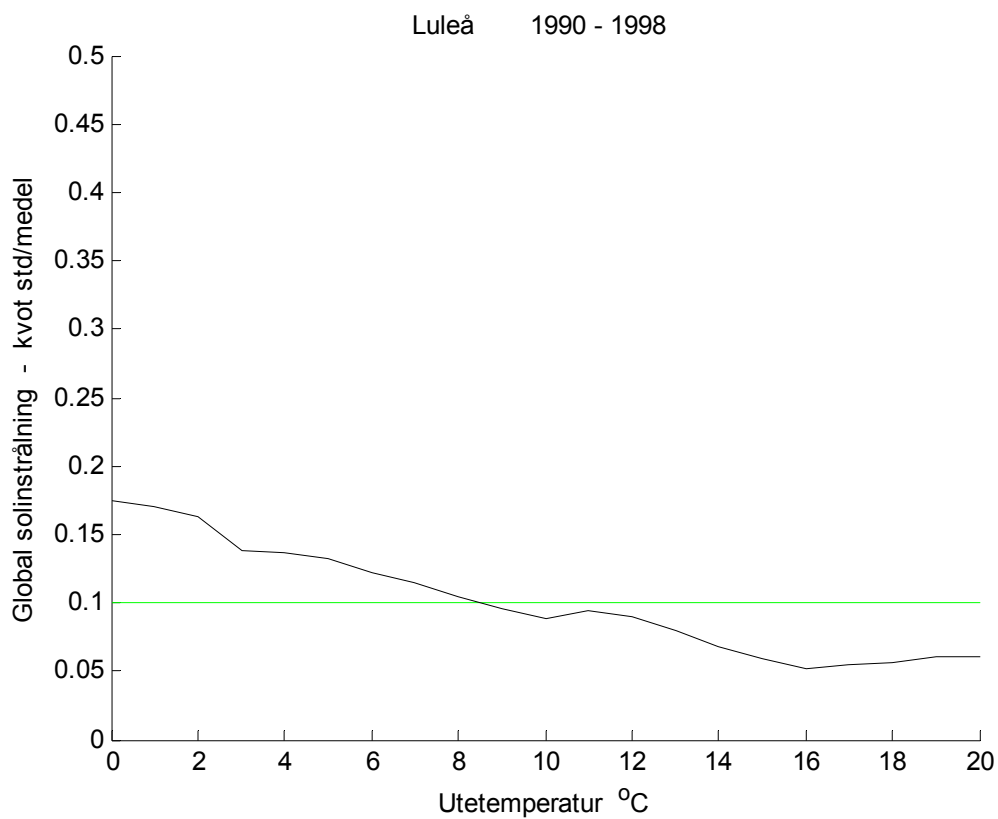
Figur 4.7 Min, medel, max och std för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



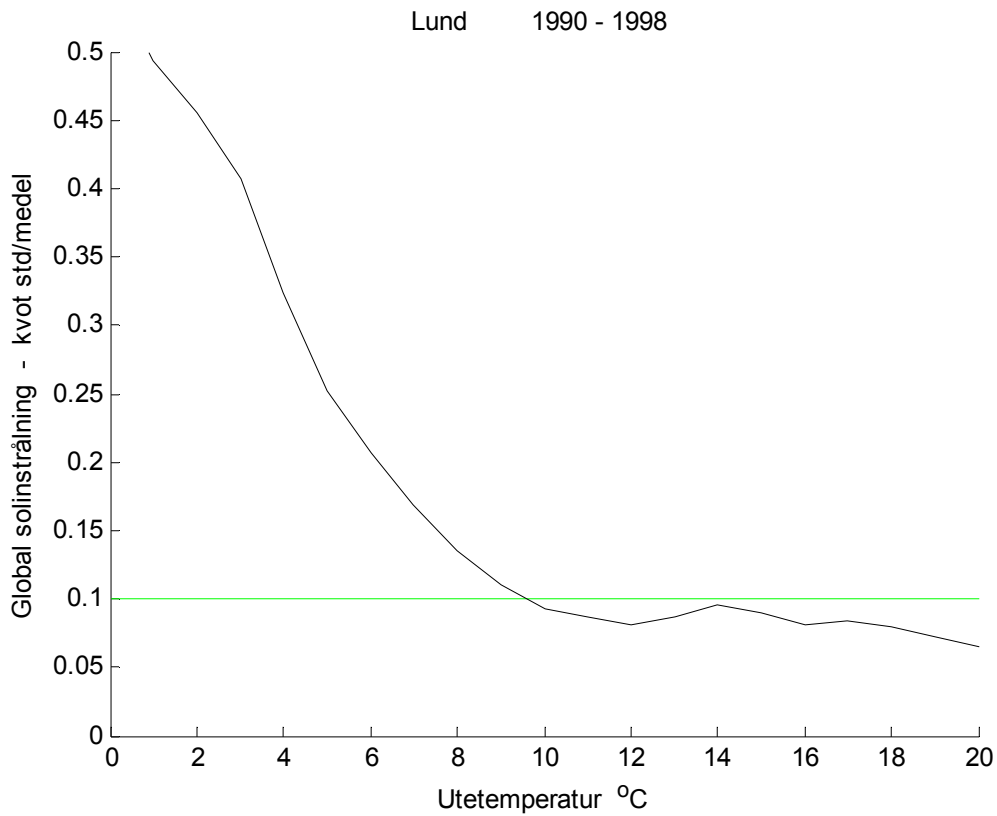
Figur 4.8 Min, medel, max och std för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



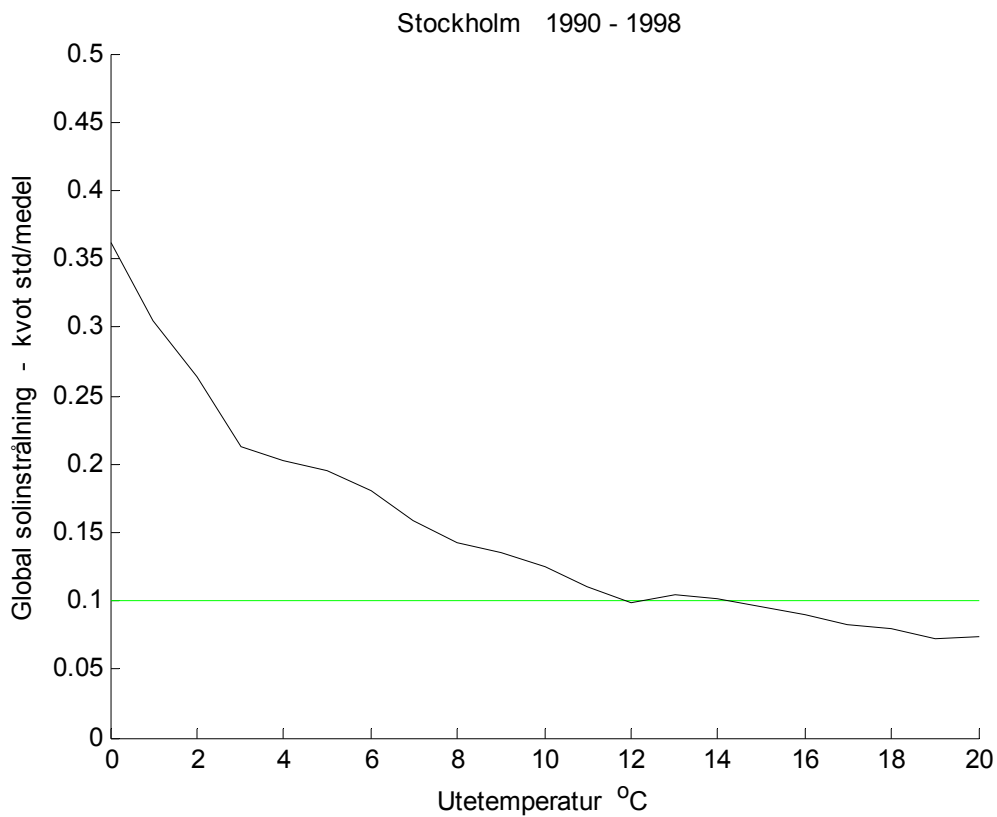
Figur 4.9 Kvoten std/medel för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



Figur 4.10 Kvoten std/medel för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



Figur 4.11 Kvoten std/medel för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.



Figur 4.12 Kvoten std/medel för summerad solinstrålning som funktion av temperatur.

5 Sammanfattning och slutsatser

Solinstrålningens osäkerhet över tiden är ganska måttlig. Medelvärde och standardavvikelse för global solinstrålning för en horisontell yta för åren 1990-1997 för de fyra orterna är enligt Tabell 2.2 933, 884, 998 och 954 kWh/m² respektive 49, 39, 45 och 42 kWh/m². Kvoten mellan standardavvikelse och medelvärde är genomgående mindre än 0.05.

Någon osäkerhet för solinstrålning för orter utan mätvärden har inte skattats. Skillnaden mellan de fyra orterna spridda över Sverige är måttlig. Detta kan tolkas som om solinstrålningen kan interpoleras fram för mellanliggande orter. Detta går inte att göra med utetemperaturen. Skillnaderna i °Ch för Lund och Luleå och gränstemperaturerna 0, 10 och 20 °C är stora. Siffervärdena för åren 1990-1997 är för Lund 2719, 34509 och 103479 °Ch och för Luleå 24647, 75235 och 151406 °Ch. Motsvarande kvoter (Lund/Luleå) blir för de tre gränstemperaturerna 0, 10 och 20 °C 0.11, 0.48 respektive 0.68. Kvoten mellan den globala solinstrålningen blir för de två orterna 0.89.

Solinstrålningens osäkerhet sett för ett helt år är av mindre intresse, eftersom den stora solinstrålningen sommartid endast kan utnyttjas för solvärmesystem för tappvarmvatten. Den intressanta delen är solinstrålning för utetemperaturer under en given gränstemperatur när en byggnad måste värmas aktivt på något sätt. Detta har undersökts i avsnitt 4. Resultatet blev att den relativa osäkerheten för global solinstrålning var mindre än 0.1 för gränstemperaturer högre 10 °C och omvänt enligt Figur 4.9-12. Det skall också tilläggas att den globala solinstrålningen under 10 °C är mindre än en tredjedel av den globala solinstrålningen över ett helt år.

Ett sammanfattande överslag för solinstrålningens osäkerhet är att den relativa osäkerheten är mindre än 0.1 för gränstemperaturer över 10 °C samt mindre än 0.2 för gränstemperaturer över 5 °C. Den uppskattade relativa osäkerheten för solinstrålning kan tillämpas som följer vid en energiberäkning. Solinstrålningen ökas eller minskas med osäkerheten genom att ändra soltransmissionen för alla fönster uppåt eller neråt med ett värde som motsvarande den relativa osäkerheten, vilken bestäms för gränstemperaturen för aktiv uppvärmning för solinstrålning utan någon osäkerhet.

Det finns en mindre negativ korrelation mellan utetemperatur och global solinstrålning vintertid. Detta kan förklaras med att soliga dagar vintertid är kalla dagar beroende på en större utstrålning. Korrelationen för vinterhalvåret oktober-mars något avrundat omkring -0.33, vilket är ganska liten korrelation som försummas.