



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Dimensioneringsguide

Solcelleanlæg til fællesforbrug



Titel:

Solcelleanlæg til fællesforbrug

Udarbejdet for: VE-NET

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 2
2630 Taastrup
Energi og Klima

I samarbejde med

Green Ways
Lærkevangen 7
3520 Farum

Juni 2015

Forfattere:

Lars Riise, Green Ways
E-mail: lars@green-ways.dk
www.green-ways.dk

Ivan Katic, Seniorkonsulent, Teknologisk Institut
ik@teknologisk.dk
www.solenergi.dk

Indholdsfortegnelse

1. Baggrund	4
2. Forbrugsprofiler	4
3. Egetforbrug ved varierende orientering	5
4. Egetforbrug ved varierende grundlast	7
5. Egetforbrug ved varierende årsproduktion	8
6. Teknisk konklusion	10
7. Prisanalyse	10

1. Baggrund

Etageejendomme har som oftest en separat elmåler for den del af elforbruget, der bruges til elevatorer, trappelys, vaskeri og andre fælles installationer. Ved etablering af solcelleanlæg er det derfor forholdsvis enkelt at tilslutte anlægget bag denne måler, og dermed fortrænge en del af det normale elkøb med el fra solceller.

Efter afskaffelse af årsbaseret nettoafregning er det tidsmæssige sammenfald mellem solcelleproduktion og elbehov imidlertid af afgørende betydning for, hvor meget af strømmen der kan aftages direkte. Det er hermed af afgørende betydning for projektets økonomi.

Der er derfor en voksende interesse for at se på, om batterier kan være med til at mindske den del af produktionen, som må sendes ud på nettet til en relativ dårlig betaling. Med en bevilling fra VE-NET er dette notat blevet udarbejdet med henblik på at tilvejebringe et sæt forenklede retningslinjer for økonomisk dimensionering af solcelleanlæg til ejendomme med fællesforbrug, om end nogle af konklusionerne vil kunne bruges for solcelleanlæg generelt.

Analysen omfatter solcelleanlæg med og uden batterilager og med varierende orientering i forhold til verdenshjørnerne.

2. Forbrugsprofiler

De færreste elforbrugere kender deres eget forbrug i detaljer, selvom der nu er visse muligheder for at hente data fra sit forsyningsselskab ved hjælp af de nye timeaflæste elmålere. Igennem mange år har Dansk Energi bearbejdet repræsentative timedata for en række forskellige typer elforbrugere, og datasættet omfatter også fællesforbruget i etageejendomme [2]. Disse data er brugt som udgangspunkt for de følgende analyser. Resultaterne er derfor kun gældende, hvis det aktuelle forbrugsmønster ikke afviger for meget fra disse generiske datasæt.

Man kan hensigtsmæssigt opdele forbrugsmønsteret i en årstidsvariation og en døgnvariation, se henholdsvis figur 1 og 2.

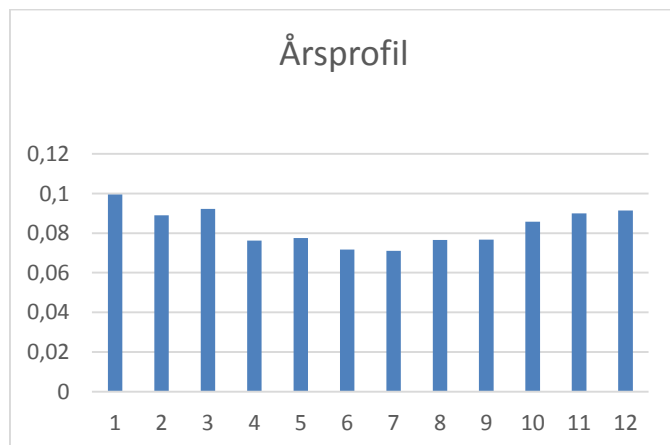


Fig.1 Typisk årsprofil for fællesforbrug (relative månedsværdier).

I Danmark bruges der normalt ikke strøm til komfortkøling om sommeren. Forbruget er derfor mindst i sommermånederne, hvor der er mindre behov for lys, varme til tørreskabe m.v. Umiddelbart passer dette ikke så godt med produktionen fra et solcelleanlæg.

Variationen over døgnet er typisk betinget af, hvornår elforbrugerne kommer hjem fra arbejde og sætter vask over, bruger tørretumbler, kører i elevator osv. Der er desuden en vis grundlast til bl.a. ventilatorer og pumper, men den vil kunne variere meget alt efter bygningstype og de aktuelle installationer. Det er derfor valgt at variere standardkurven til en tænkt ejendom med henholdsvis nul grundlast og dobbelt grundlast. Grundlast er her defineret som det mindste forbrug i løbet af årets timer, typisk en sommernat.

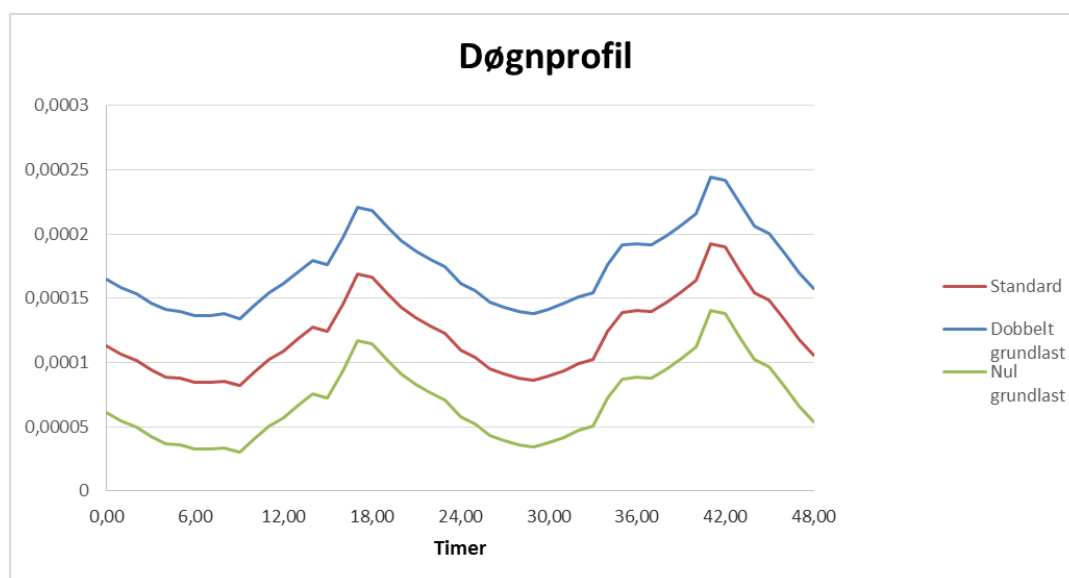


Fig.2 Fællesforbrug døgnprofil. To døgns udsnit med variation i forhold til standardkurven (relative time-værdier). Maksimumforbruget ligger sidst på eftermiddagen. Der er tale om gennemsnits timeværdier, og på den enkelte ejendom kan billedet derfor se meget anderledes ud, alt efter apparatbestand og beboeradfærd [ref. 2].

3. Egetforbrug ved varierende orientering

I dette afsnit er det beregnet, hvordan et typisk tagplaceret og skyggefrit solcelleanlæg vil producere time for time i et dansk referenceår. Anlægsstørrelsen er for sammenligningens skyld tilpasset, så systemerne netop producerer, hvad der svarer til det årlige elbehov.

Beregningen er foretaget med simuleringsprogrammet PVsyst 6.2.5. Der er regnet med 45 graders hældning fra vandret og varierende orientering mod henholdsvis syd, øst, vest og kombineret øst-vest. Øst-Vest orientering vil give en mere udstrakt døgnproduktion, og dermed en potentielt bedre mulighed for at aftage produktionen.

Der er regnet med muligheden for lagring i et batteri med 100% nyttevirkning for at forenkle resultatet. Den effektive batterikapacitet er varieret fra 0 til 0,25% af den årlige produktion fra solcelleanlægget.

Elproduktion og batteriets ladetilstand er dernæst sammenholdt med forbrugsværdier time for time, og heraf er andelen af egetforbrugt el inden for hver time beregnet.

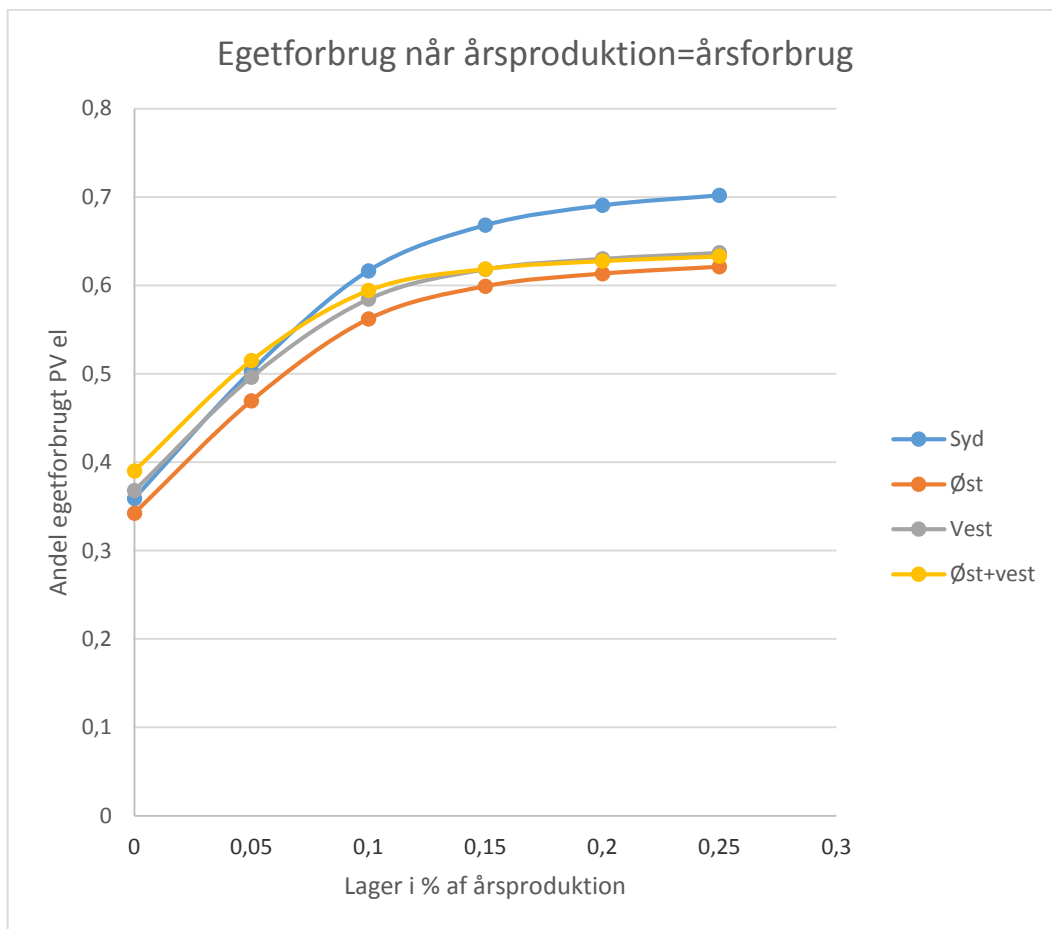


Fig.3 Beregnet andel egetforbrug ved varierende orientering af et solcelleanlæg med 45 graders hældning. Det er forudsat at køb/salg opgøres på timebasis, jf. EnergiNet nettoafregning gruppe 2.

Bemærk, at anlæggene ikke er helt lige store, men at deres årliche elproduktion er identiske og svarer til det årlige elbehov i bygningen (fælles elforbrug). Et batterilager med en effektiv kapacitet på 0,1% af den årlige elproduktion svarer til lagring i 8-9 timer ved gennemsnitlig drift. Hermed kan produktion midt på dagen anvendes, når der er spidslast sidst på dagen.

Et tysk studie [1] anbefaler en brugbar batterikapacitet på 0,1-0,15% af årsbehovet og har følgende generelle regel: *"Therefore, the average load demand between sunset and sunrise is an appropriate benchmark for battery sizing in line with demand"*.

Man kan altså også bruge det gennemsnitlige natforbrug som rettesnor for batteriets effektive størrelse. Man kan vurdere årsproduktionen for en givet anlægsstørrelse med forskellig hældning og orientering ved at se på figur 4.

Hældning [°]	Orientering [°]														
	Øst		SØ			Syd			SV			Vest			
	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90		
0	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
5	85	86	87	88	88	88	89	88	88	87	87	86	84		
10	84	87	89	90	91	92	92	91	91	90	88	86	84		
15	84	87	90	92	93	94	94	94	93	91	89	86	83		
20	83	87	91	93	95	96	97	96	95	93	90	87	82		
25	82	87	91	94	97	98	98	98	96	94	91	86	81		
30	81	87	92	95	97	99	99	99	97	94	91	86	80		
35	80	86	91	95	98	99	100	99	97	94	90	85	79		
40	79	85	91	95	98	99	100	99	97	94	90	84	77		
45	77	84	90	94	97	99	99	99	97	93	89	83	76		
50	76	83	89	93	96	98	99	98	96	92	87	81	74		
55	74	81	87	91	95	96	97	96	94	90	86	79	72		
60	72	79	85	89	93	94	95	94	92	88	83	77	70		
65	69	76	82	87	90	92	92	92	89	86	81	75	67		
65	69	76	82	87	90	92	92	92	89	86	81	75	67		
70	67	74	80	84	87	89	89	88	86	83	78	72	65		
75	64	71	76	81	84	85	86	85	83	80	75	69	62		
80	61	68	73	77	80	81	82	81	79	76	72	66	59		
85	58	64	69	72	75	76	77	76	74	72	68	63	56		
90	55	60	65	68	70	71	72	71	69	67	63	59	53		

Figuren viser solcellernes %-vise årlige energiproduktion ved forskellig hældning og orientering, angivet i forhold til den ideelle placering: stik syd og hældning ca. 37°, som er 100%.
Gælder for skyggefrie anlæg installeret i Danmark.

Fig.4 Denne tabel viser, f.eks. at et øst-vest anlæg med 45 graders hældning kun vil yde ca. 77% af et rent sydvendt anlæg, og dette underskud kan næppe kompensere for at der er lidt større andel egetforbrug på øst-vest anlægget uden batteri. 100% produktion på figuren svarer til cirka 950 kWh pr kW installeret solcelleeffekt.

4. Egetforbrug ved varierende grundlast

Vi har undersøgt, hvor meget det betyder, at døgnprofilen afviger fra standardkurven, idet der er varieret på grundlastens størrelse samt klokkeslettet for elbehov spidsbelastningen.

Grunden til, at der ikke er større følsomhed over for den døgnmæssige variation af forbruget, er formentlig, at døgnvariationens betydning bliver overtruffet af en årsmæssig variation. Med mindre der bliver installeret et enormt (og uøkonomisk) batteri, vil man aldrig kunne dække vinterbehovet, uden at man samtidig får et stort overløb om sommeren pga. overproduktion. Grundlasten ligger desuden om natten, hvor der ikke er nogen produktion. Hvis man i praksis skal opnå højt egetforbrug, skal forbruget derfor øges i dagtimerne i sommerhalvåret.

Eksempel:

Sydvestvendt solcelleanlæg med 30 graders hældning.

Relativ ydelse ifølge figur 4: 94% i forhold til en ideel placering

Elbehovet er målt eller estimeret til 120.000 kWh/år.

Estimeret PV anlægsstørrelse for at modsvare dette behov = $(120.000 \text{ kWh} / 950 \text{ kWh/kWp}) = 126 \text{ kW}$

Korrektion for ikke-ideel placering = $126 / 0,94 = 134 \text{ kWp anlægsstørrelse}$

Anbefalet batteristørrelse: $0,15\% \text{ af årsproduktion} = 0,0015 * 120000 = 180 \text{ kWh effektiv kapacitet}$

Aflæst egetforbrug på figur: cirka 61%. Værdien er tilnærmet, da kurven ikke findes for præcis den aktuelle hældningsvinkel og orientering. Uden batteripakke ville egetforbruget være omtrent 36%.

Der kan derfor flyttes $(0,61-0,36) \cdot 120000 \text{ kWh} = 30000 \text{ kWh}$ fra eksport til egetforbrug ved at tilføje det foreslåede batterilager.

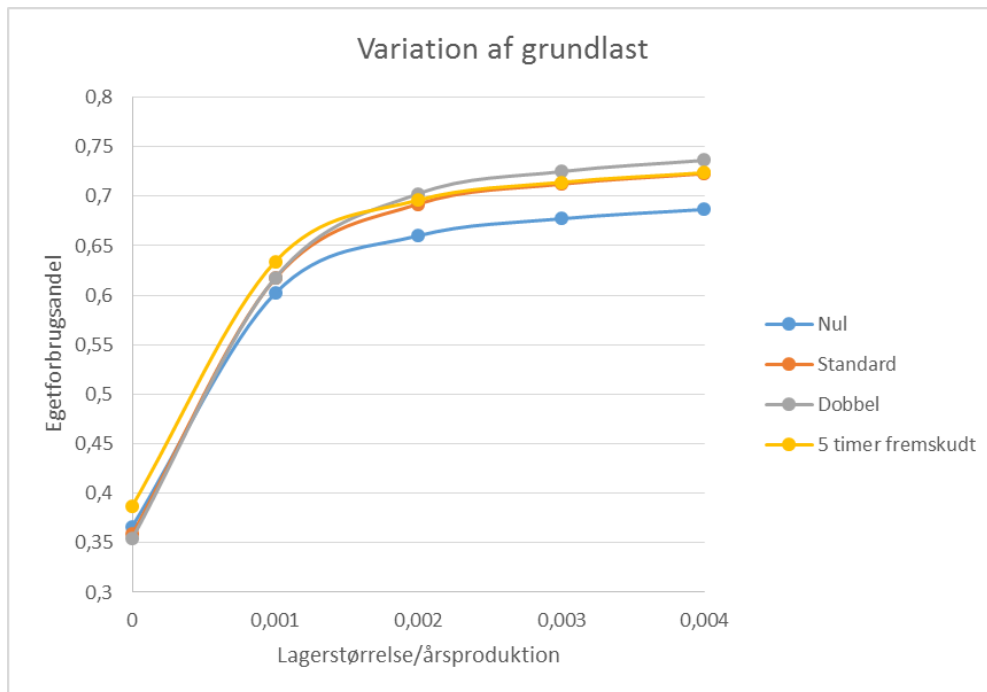


Fig.5 Figuren viser, hvad der sker med egetforbruget, når forbrugsprofilen ændrer sig i forhold til kurven på fig.2. Som forventet vil der være lavest egetforbrug, når der er lav grundlast og dermed større sandsynlighed for overskudsproduktion. Hvis man kan flytte forbrugsmaksimum nogle timer frem, kan man øge egetforbruget af solel, særligt for anlæg med meget lille eller intet batteri.

5. Egetforbrug ved varierende årsproduktion

Vi har desuden undersøgt, hvorledes egetforbruget ændrer sig ved en ændring i solcelleanlæggets størrelse. Som forventet kan man aftage relativt mere fra et lille anlæg end et stort. For store anlæg har det ikke nævneværdig effekt at forøge batteristørrelsen ud over 0,1% af produktionen, eftersom kapaciteten hurtigt bliver fyldt op, når en relativ mindre del af strømmen bruges på stedet.

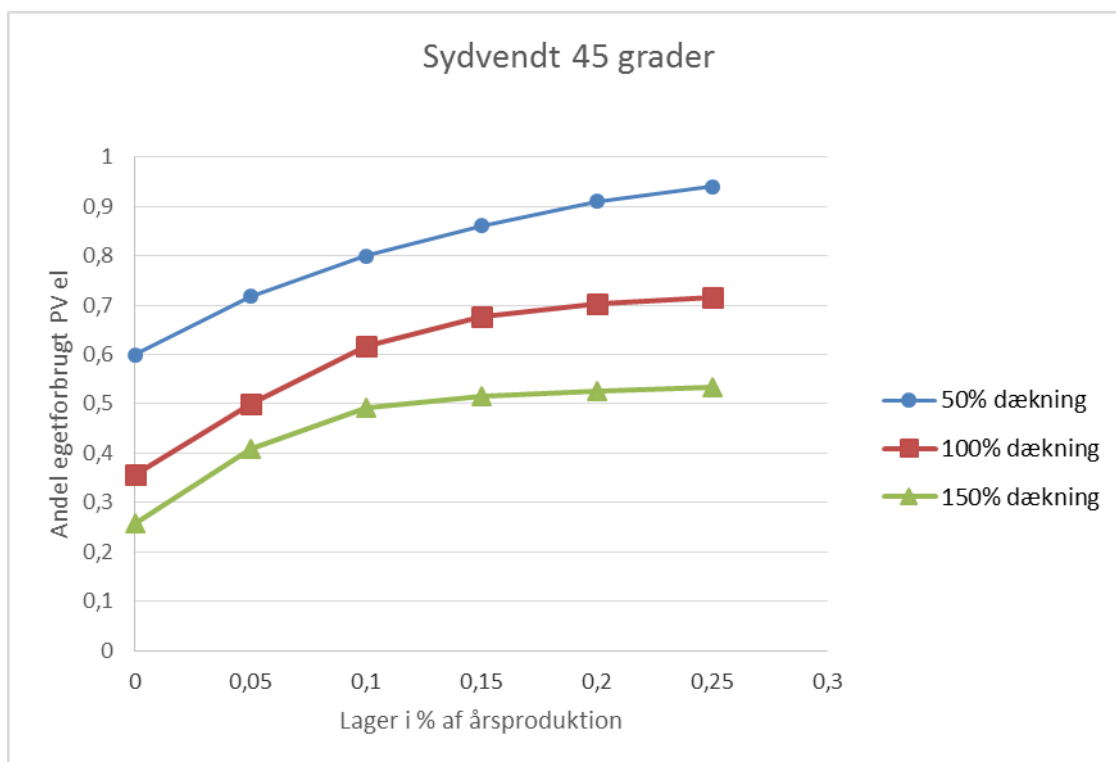


Fig.6 Variation i årsproduktion. Som forventet vokser egetforbrugsdelen med faldende størrelse solcelleanlæg.

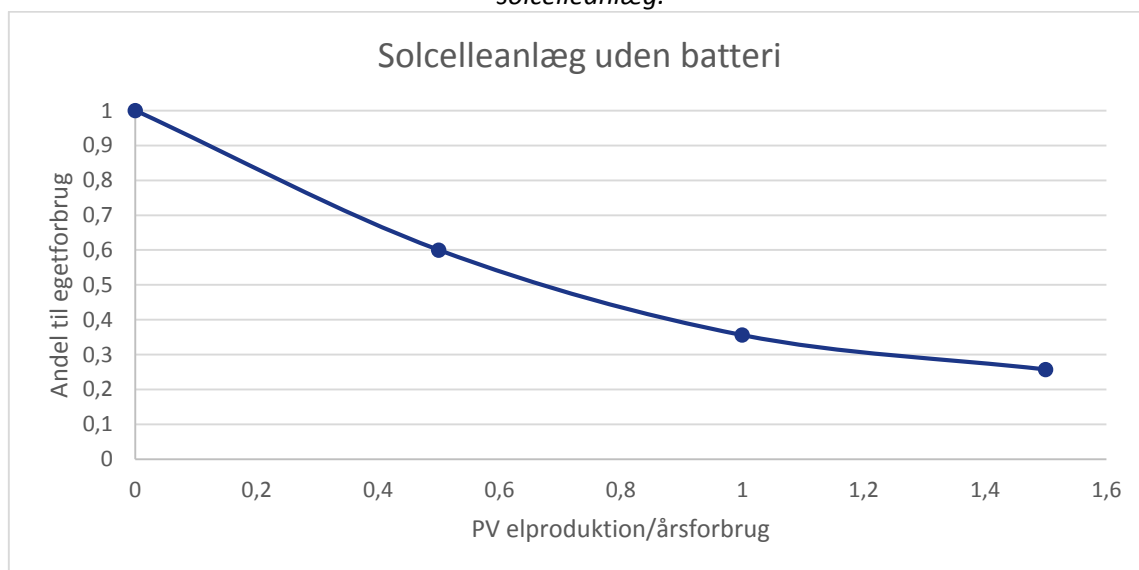


Fig.7 Beregnet andel egetforbrug for sydvendt anlæg uden batterilager.

Ønsket elproduktion kWh	PV effekt kW _p	Omtrentligt PV areal m ²	Egetforbrugsandel ved et forbrug på 1000 kWh
500	0,53	3,51	0,60
1000	1,05	7,02	0,36
1500	1,58	10,53	0,26

Tabel. Egetforbrug og produktion ved forskellige anlægstørrelser.

6. Teknisk konklusion

Analysen viser at:

- Solcelleanlæg uden batteri ikke bør vende mod øst, hvis man ønsker højt egetforbrug. Øst/vest i kombination giver den bedste egen udnyttelse, men den absolutte produktion vil være mindre end for et tilsvarende sydvendt anlæg.
- Nogle timers variation af elforbrugsprofilen kun har begrænset betydning, men kan man flytte spidslasten nogle timer frem, er det en god ide. Det er den årsmæssige variation, der betyder mest.
- Anlæggets årsproduktion ikke bør være for stor, hvis man vil undgå salg til nettet.

En teknisk fornuftig batteristørrelse bør kunne lagre 0,1-0,15% af anlæggets årsproduktion.

Ovenstående konklusioner gælder ikke nødvendigvis for alle ejendomme, da forbrugsmønstre kan svinge utrolig meget. Der er desuden forudsat fri energiudveksling med nettet inden for den enkelte time (netto-afregning efter Energinet gruppe 2).

Dertil kommer, at afladningsmønsteret, temperaturforhold på den fysiske placering, og batteriets teknologi alle har en betydning for batteriets forventede levetid og ladekapacitet, og dermed batteriets effektivitet.

7. Prisanalyse

Prisanalysen er baseret på den samlede prisforskel mellem et PV system med energilager og et tilsvarende system uden lager, det vil sige inklusiv konvertere, styring og ekstra installationsomkostninger. Prisen er angivet pr. effektiv lagerkapacitet i kWh for et nyt batteri. Producenterne anbefaler ofte, at den typiske cyklus ligger i intervallet 20-80% af den nominelle batterikapacitet for ikke at slide batteriet for hurtigt. Det er derfor ofte kun 40-60% af batteriets nominelle kapacitet, som i praksis bringes i anvendelse. Der er desuden et tab forbundet med op-og afladning.

Prisen pr kWh er foruden selve batteriteknologien også afhængig af skala. Man må derfor regne med, at batteripakker til større ejendomme vil være relativt billigere end batteripakker til enfamiliehuse.

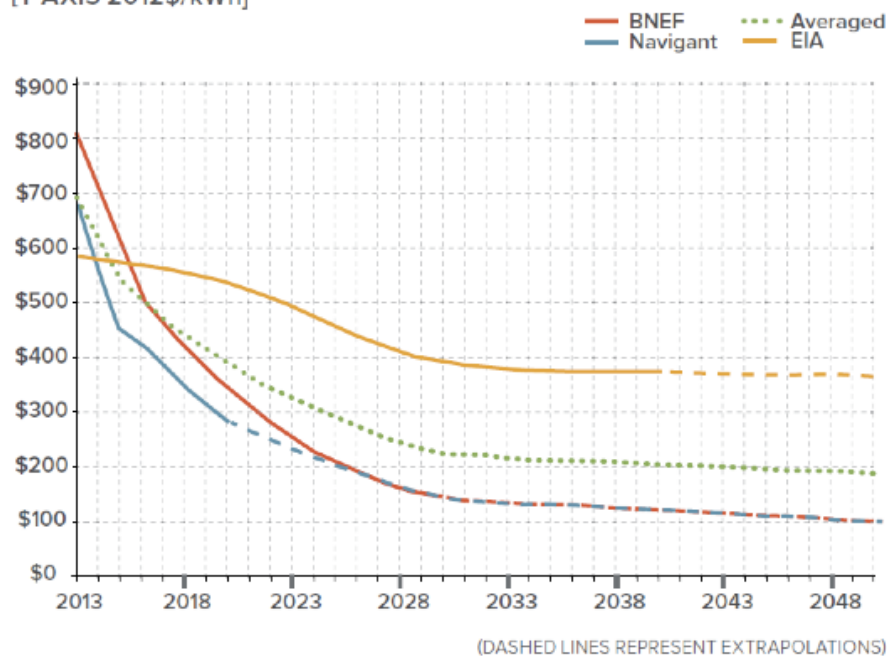
Følgende priser er fundet i en række forskellige kilder:

Teknologi	Anskaffelsespris Eksempel	Omkostning Kr. pr effektiv kWh lager inkl. Moms	Levetid (brugbart antal cykler)	Forudsætninger/kilde
Bly (gelbatteri)	19.300 kr./9,6 kWh nom. System merpris	Ca. 4825	1.500	Estimeret levetid 5-7 år. PV anlæg 5 Kwp og 4 kWh effektiv lagerkapacitet (Viva Energi)
Lithium, billigste	22.800 kr. Batteri alene	Ca. 5700	min. 4.500	Estimeret levetid op til 20 år. PV anlæg 3 Kwp og 4 kWh lagerkapacitet
TESLA Lithium annonceret 30/4 2015	3000USD/7Kwh nom. Batteri alene	Ca. 5200	Gar. 10 år, Min. 3.500	http://www.teslamotors.com/powerwall
Lithium, esti- mat mellem- langt sigt	Batteri alene	Ca. 2500	8000	Lithium Balance m.fl.

Figure 41: Blended Battery Price Projections

BATTERY PRICE PROJECTIONS

[Y-AXIS 2012\$/kWh]



Source: Rocky Mountain Institute

Fig. 8 Forskellige prognoser for batteriprisudvikling[3].

Rentabiliteten af et energilager afhænger af en række faktorer, bl.a. af feed-in tariffer og driftsomkostninger over anlæggets levetid kombineret med en optimal batterikapacitet ift. solcelleanlægget elproduktion.

Prisudviklingen med et forventet markant prisfald på især Li-Ion batterier betyder, at batteripakkens rentabilitet i fremtiden må forventes at stige. Prisfaldet på batterierne i kombination med faldende feed-in tariffer og en forventet stigende elpris, netto for private, er blot en underbygning heraf.

I forbindelse med etableringen af et nyt solcelleanlæg kan det derfor være en overvejelse værd at etablere solcelleanlægget med en inverter, der er forberedt til installation af en batteribank, for efterfølgende inden for nogle år at installere batteriparken, når prisen på batterierne er faldet.

Etablering af en batteribank kan også være en overvejelse værd, f.eks. for andelsboligforeninger, for i kombination med nettomåling gruppe 4&5 at undgå at blive delvis skattepligtige. Etableringen af et solcelleanlæg indeholder nogle komplekse el-tekniske samt moms-, skatte- og afgiftsmæssige overvejelser, og som nævnt kan en batteribank i visse tilfælde være en fordel for at undgå u hensigtsmæssigheder på andre områder.

Det skal bemærkes, at der ikke findes nogen boligforeninger med batteriløsninger på det danske marked i dag. Der er et par forsøgsanlæg, men konklusionerne herfor foreligger endnu ikke. Det har derfor ikke været muligt at finde konkrete priser på store batteriløsninger på det danske marked og slet ikke priser, der er tilgængelige på markedet endnu, hvorfor de konkrete resultater af analyserne er forbundet med stor usikkerhed.

Prisanalyserne er således foretaget på små anlæg, hvorfor der ved batteriløsninger på større fællesanlæg må forventes en prisbesparelsen på etableringsdelen alene på grund af stordrifts besparelsen.

Konklusionen på prisanalysen er desuden i høj grad påvirket af prisen og prisudviklingen på hhv. solanlægget og batterierne. Prisudviklingen for begge dele forventes at være faldende, men et forventet større prisfald på batterierne, hvorfor meget taler for at der i fremtiden vil ses et højere egetforbrug ved solanlæg pga. batterierne, og at el afregningen (p.t. 60 øre de første 10 år) vil betyde mindre sammenholdt med forbrugerens elpris inkl. afgifter (p.t. 2,20 kr./kWh). Alene inflationen vil medvirke til at øge dette spænd.

Der er dog ingen tvivl om, at tendenserne med faldende priser på batterier og den danske prisstruktur inkl. nettoafregning åbner for god økonomi i batteriløsninger og som tingene ser ud nu, så vil solcelleanlæg i kombination med batteriløsningen i fremtiden i mange tilfælde stå stærkere i forhold til en solcelleløsning uden batteribank. Denne konklusion understøttes af såvel en tysk som en amerikansk undersøgelse. Fordele ved batteriløsninger i USA omtaler også sikkerhed for at undgå lokale black outs, hvilket dog ikke anses for et reelt problem i Danmark.

Det kan derfor være en god ide at overveje etableringen af et anlæg i dag, som er forberedt til en batteriløsning, og så vente med at etablere batteriløsningen, indtil batterierne er faldet noget i pris. Alternativt kan man overgå til en batteriløsning, når der skal udskiftes inverter, hvilket typisk sker midt i anlæggets levetid.

I boligforeninger skal der tages højde for at der ofte er et højt egetforbrug allerede inden anvendelse af batterier. Dette skyldes bl.a., at der oftest anvendes tagarealer til opsætning af solcelleanlæg, og at tagenes areal, som er til rådighed for solcelleanlæg, ofte er mindre end behovet for at kunne opsætte et optimalt anlæg, når der skal opnås optimalt samspil mellem forbrugsprofilen (forbrugsmønsteret – over dagen og forbrug i kWh) sammenholdt med produktionsprofilen for det til mulige areal med solceller. Det ses ofte, at der vil være brug for et større areal med solceller end der er tagareal til rådighed.

Forskel på købs- og salgstarif i henhold til gældende og fremskrevne satser. Alle tal i Kr./kWh	Købspris 2,2	Købspris 2,5	Købspris 3,0
Salgspris 1,02+marked (Pristillæg - 2015)	1,18	1,48	1,98
Salgspris 0,88+marked (Pristillæg - 2016)	1,32	1,62	2,12
Salgspris 0,60 (Reglerne fra 2018)	1,60	1,90	2,40

Beregning af forventede prisforskelle på elkøb og -salg til betaling af batteriløsning.

Oversigten viser, at med de pt. gældende regler, så vil forskellen mellem salgspris for el- og købsprisen stige over de næste tre år (pristillægget falder), og dermed vil lovgivningen i sig selv medvirke til at en batteriløsning bliver mere rentabel. Stigende elafgifter for de private i kombination hermed, og dermed en højere købspris, vil blot understøtte dette yderligere.

Maksimal batteripakkepris for break-even	Prisforskel kr./kWh 160	Prisforskel kr./kWh 1,75	Prisforskel kr./kWh 1,90
Ved 10 års levetid	Ca. 3.000 inkl. moms	Ca. 3.400 inkl. moms	Ca. 3.800 inkl. moms
Ved 15 års levetid	Ca. 4.600 inkl. moms	Ca. 5.000 inkl. moms	Ca. 5.400 inkl. moms
Ved 20 års levetid	Ca. 6.000 inkl. moms	Ca. 6.600 inkl. moms	Ca. 7.000 inkl. moms
Ved 25 års levetid	Ca. 7.600 inkl. moms	Ca. 8.400 inkl. moms	Ca. 9.000 inkl. moms

Beregning af, hvad en batteripakke må koste pr kWh effektiv kapacitet for at regnestykket er i balance ved forskellige prisdifferencer på elkøb/salg og varierende levetid. Levetider ud over 15 år er måske mest teoretiske. For blybatterier vil levetiden typisk være under 10 år og er derfor ikke medregnet.

Prisforskellen udgør forskellen mellem købspris og salgspris på el for private, f.eks. i 2015 2,20 kr./kWh i forventet købspris og 0,60 kr./kWh uden pristillæg i salgspris = 1,60 kr./kWh. Pris på batteripakken er inkl. installation og moms, og den angiver break-even prisen. Det vil sige den pris, hvor batteriløsningen netop tjener sig selv hjem.

Foruden prisen for batteri og en dyrere inverter vil der være ekstra udgifter til installation og måske et behov for et egentligt batterirum ved større anlæg. Konklusionen er derfor, at det p.t. i almindelighed er for dyrt at etablere energilagring i forbindelse med solcelleanlæg, men det vil meget snart ændre sig.

Referencer:

- [1] Sizing and grid interaction of residential PV battery systems. Weniger, Tjaden Quaschnig, IRES 2013.
- [2] <http://www.elforbrugspanel.dk/Pages/Forsiden.aspx>
- [3] Deutsche Bank analysis of Solar + Storage: <http://reneweconomy.com.au/2015/energy-storage-to-reach-cost-holy-grail-mass-adoption-in-5-years-18383>
- [4] ENABLING THE EUROPEAN CONSUMER TO GENERATE POWER FOR SELF-CONSUMPTION. Sun Edison, November 2011