Presentasjon av Enger Havn

Alexander Finn, Ole Marius Christiansen

1. Sammendrag

Smart Energy Systems tilbyr grønne og fremtidsrettede energiløsninger, hvor vi spesialiserer oss på solcelleanlegg, batteriløsninger og lynladere som komplette installasjoner for våre kunder. Denne rapporten medfølger et simulert anlegg som potensielt gjenspeiler en reell installasjon, basert på første skisse presentert av *Fjell og Fjordtid AS*. I simuleringen er solceller installert på alle hyttene i området, samt eksisterende skolebygg. Samlet installert effekt er 769,16kWp, med en total produksjon på 609.000 kWh/år. For simuleringen av Enger Havn er det inkludert ladestasjoner for elbiler og elbåter, samt et batteri på 2MW/2,4MWh installert i kjelleren på eksisterende skolebygg. Basert på de verdier og parametere gjennomgått i denne rapporten, er det presentert et økonomisk overblikk for installasjon av et funksjonelt energissystem. Denne er vist i tabellen under.

Investeringskostnad	19 millioner kr
Besparelse på strømforbruk	1,3 millioner kr/år
Deltakelse på frekvensmarked	1,5 millioner kr/år

2. Introduksjon

Enger Havn er lokalisert på østsiden av Randsfjorden i Søndre Land kommune. Adressesen kan lokaliseres til Randsfjorden 1561, 2866 Enger, hvor Grimebakken er tiltenkt areal for utbygget hytteområde og båthavn. Produksjon av solenergi og muligheten for å lagre energi vil være med på å redusere innkjøpt elektrisitet fra strømnettet, samt utnytte prisvariasjonene på markedsprisen smartere.

Generert energi fra solcellepaneler vil hovedsaklig installeres på hyttetak og eksisterende hovedbygg, illustrert i Figur 1. Illustrasjonen er hentet fra skisse tidligere presentert av *Fjell og Fjordtid AS*, hvor Grimebakken

Figure 1: **Illustrasjon av arealplanlegging**

peker fra øst til vest ned mot vannet. Det største bygget er et gammelt skolebygg, med et estimert takareal på $1400m^2$, hvor kjelleren kan konverteres til et batterirom. Et batteri med relativ stor energikapasitet kan brukes til mange formål for Enger Havn, med muligheter for energilagring av lokal energiproduksjon, reduksjon av effektopper og pris arbitrasje. Disse 3 kategoriene kan betegnes som kategorien implisitt fleksibilitet. Implisitt fleksibilitet er når fleksibiliteten av

batteriet brukes lokalt mot sluttbrukeren. Den andre kategorien, eksplisitt fleksibilitet, er betegnelsen som brukes når batteriets fleksibilitet selges til kraftnettet for kompensasjon, hvor nettselskapene betaler nettkundene for å ha tilgjengelig kapasitet. Eksplisitt fleksibilitet nevnes ofte sammen med fleksibilitetsmarkedet, rettere bestemt frekvensmarkedet, hvor sluttbruker kan bidra med frekvensstøtte for frekvensregulering av kraftnettet.

En spennende installasjon for Enger Havn vil være en lokalt installert batteristasjon i eksisterende skolebygg, som da kan supplere skoghyttene med lokal lagret energi, eller billigere innkjøpt strøm. Et større batteri vil ha muligheten til å automatisk styre behovet til Enger Havn som en samlet enhet, hvor det er tilkoblet PV-anlegg, elektrisk ladestasjon og andre forbruksenheter for alle hyttene og andre bygg. Her vil batteriet kunne utlades ved behov for å redusere høye effekttopper, og lades opp fra overproduksjon av PV-anlegg eller fra strømnettet når strømprisene er lavere enn tidspunktet for effektbehovet. En batteriinstallasjon vil være en viktig faktor for å utnytte overproduksjon av fotovoltaisk energi, men også fungere som en regulator ved å redusere periodevise høye effektuttak fra strømnettet. Prisvariasjonene på markedet er vanskelig å predikere, men ved fluktuerende verdier kan man også forskyve forbruket ved å opplade batteriet under perioder ved lavere spottpris. Det er mulig å kombinere funksjonen til batteriet med både implisitt og eksplisitt fleksibilitet, hvor batteri vil være en viktig faktor for å stabilisere strømnettet i årene som kommer. Et batterisystem kan levere flere tjenester, hvor samspillet mellom det overordnede styresystemet til batterisystemet og batteristyringssystemet vil bestemme hvilke tjenester som kan leveres. Styringssystemet henger med andre ord tett sammen med hvilke tjenester batteriet kan levere. Ulike batteriparameter vil også kunne avgjøre hvilke av frekvensreguleringsmarkeder batteriet er best egnet til. Dersom batteriet skal levere flere tjenester, må det overordnede styringssystemet kunne håndtere hvilken tjeneste som skal ha prioritet dersom de ulike tjenestene sammenfaller i tid. Hvis ønsket for Enger Havn er at batteriet skal kunne delta på reservemarkeder, og samtidig være tilgjengelig for felles forbruk, må dette optimaliseres for best økonomisk utnyttelse.

For Enger Havn er det gode muligheter for solproduksjon i 2. og 3. kvartal innenfor norske omstendigheter. Det er et tydelig ønske om å ha en grønn vegetasjon sammen med en arkitektur som bærer naturlige trekk. For at energiproduksjonen skal være optimal, kan det bli nødvendig å foreta visse korreksjoner på hyttene og området. 1. April har solen en asimut vinkel på 90-270° , med

Figure 2: **Illustrasjon av PV-installasjon på tak i natur**

maksimal høyde på 30° . 21. Juni har solen en asimut vinkel på 40-320° med maksimal høyde på 50°. Hyttene ved Enger Havn vil være hyppig brukt i sommerstider, hvor det er et stort potensial for solproduksjon. Norge har mange soltimer om sommeren, hvor lange tidsperioder med produksjon kan bidra jevnt med å redusere forbruket for hyttene i løpet av dagen. For å best kunne utnytte potensiell solproduksjon, ville det vært gunstig å tilrettelegge takflatene for solcellepaneler, så lenge det ikke overstyrer ønsket arkitektur. Jevnlig skyggelegging av paneler fra trær og annet vegetasjon har en negativ innvirkning på produksjon, noe som også må vurderes. Det finnes flere ulike installasjonsmetoder for solceller, hvor den største prioriteten er maksimal produksjonsmuligheter på tilgjengelig areal, samt høy effektivitet.

3. Spesifikasjoner

Med denne rapporten følger et potensielt solcelleanlegg med andre energiløsninger, fremlagt for leseren. De simuleringer og beregninger som blir presentert i denne rapporten dokumenterer potensialet ved solcelleproduksjon og batteri, med økonomiske muligheter for lagring av solkraft og bedre utnyttelse av strømnettet. Målet med rapporten er å gi et overordnet bilde av hvilke muligheter som kan utnyttes ved å installere et grønnere og energieffektivt system bestående av installerte solceller på hyttetak, DC-ladere for biler og båter, og et integrert batterisystem som kan utnytte fleksibilitet i energisystemet.

Beregningene foretatt av Smart Energy Systems er basert på generelt forbruk og produksjon for antatt arealutnyttelse av hyttetak fra arkitektegningene, hentet fra skisse tidligere presentert av *Fjell og Fjordtid AS*. Utfra

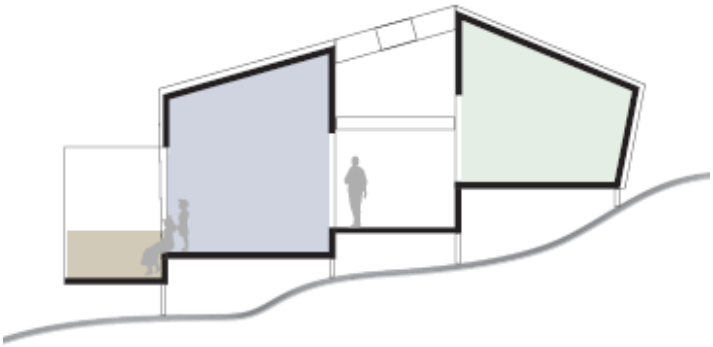


Figure 3: **Utsnitt av Hytte 1 fra sør.**

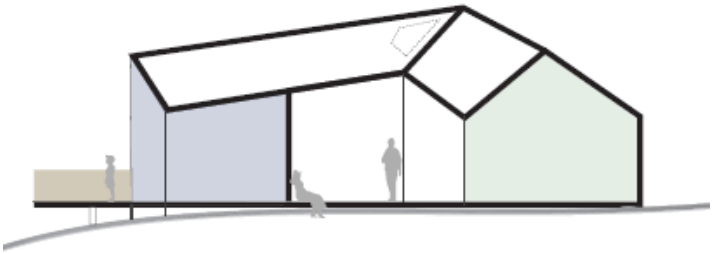


Figure 4: **Utsnitt av Hytte 2 fra sør.**

første skisse av areal planlegningen, er Grimebakken delt opp i ulike seksjoner for hyttene, hvor det er tiltenkt to ulike design for hyttene, da nevnt *Hytte 1* og *Hytte 2*, vist i Figur 3 og Figur 4. Drivhus-tunet, Lang-tunet og Nedre Tun har ulike orienteringsvinkler for Hytte 2, og for simuleringen gitt i denne rapporten, er det nedre seksjon av hyttene i Lang-tunet som er brukt som eksempel. Relevansen for dette er å bruke hytten med best fordeling av takflater rettet normalt mot øst, sør og vest. Takflate for relevant solproduksjon av *Hytte 2* har taklfater rettet 90° øst, 192° sør og 192° vest. *Hytte 1* er beregnet for å ha takflater normalt rettet mot 90° øst og 180° vest. Da det ikke er foretatt noen målinger av horisonten for installasjonsområde, vil det være unøyaktigheter av å beregne utnyttelseseffekten av utnyttbare soltimer iløpet av dagen, da terreng-obstruksjoner ikke er gitt.

4. PV Produksjon

Simuleringsverktøy brukt for produksjonsestimat er PV*SOL, hvor produksjonsrapportene fra denne simuleringen er presentert i **Vedlegg A** og **Vedlegg B**. Første vedlegg foretar seg samspillet mellom solproduksjon, DC-lading av elektriske kjøretøy og hyttenes energiforbruk. Den andre simuleringen inkluderer batterisystemet, hvor denne rapporten vil utdype forskjellen i resultatet. Simuleringene i vedlegget er presentert som et eget dokument, og kan derfor leses uavhengig av denne rapporten om ønskelig.

4.1. Illustrasjon av arealplanlegging

Det er valgt ulike design for *Hytte 1*, *Hytte 2* og *Gammelt skolebygg*. Disse er illustrert i Figur 5, 6 og 7. Nevnt tidligere, ved å følge konjekturen til foreslåtte arkitekt-tegninger, er det anbefalt å bygge hyttene slik at man ikke får paneler med en orienteringsvinkel mot f.eks nord-øst eller nord-vest, da dette vil gi minimalt produksjon. Illustrasjonen viser hyttene som er brukt i simuleringene, hvor det ikke er foretatt vind- og snølast beregninger. Det er derfor satt opp stativer på tak med en helningsvinkel på 30°. Da arkitekt-tegningene ikke er bestemt, er bruksareal på 50-70m^2 og takareal på 40-50m^2 brukt for *Hytte 1* og *Hytte 2*. Panelene simulert har dermed egenskapene til et skråtak. *Gammelt skolebygg* er et næringstak, hvor det er foreslått et batterirom i kjelleren. Dette taket har et anslått areal på 1400m^2, hvor det er tilrettelagt for 85% utfylt tak, da riktige mål ikke er blitt introdusert. Panelene simulert er installert i et øst/vest anlegg, med en helningsvinkel på 10°.

Total installasjonsareal kan bestemmes ut fra valgfri mønster av panelene eller arkitektur, med forbehold til skygge og takkant. Det vil si at illustrasjonene som er gitt for simuleringene kun er et forslag, og endringer i design vil ikke påvirke effekten noe særlig. Det vil selvfølgelig være endringer hvis antall paneler halveres eller lignende valg. Da det ikke er kjent hvordan naturen vil blende seg med hyttebebyggelsen, er det ikke simulert for trær som vil resultere i skyggelegging av et ukjent antall paneler. Det er også svært sannsynlig med VVS-anlegg på tak for næringstaket, og det er derfor inkludert for simuleringen med 85% utnyttelse av taket. Den største utfordringen med et slikt hyttefelt som bevarer naturen, er å kunne plassere PV-installasjon på tak eller bebyggelse, slik at skyggeleggingen blir minimal. For å minske dette, er det også mulig å installere såkalte *optimizere* på hvert panel, slik at et skyggelagt panel ikke reduserer tilsvarende effekt på tilknyttet sløyfe.

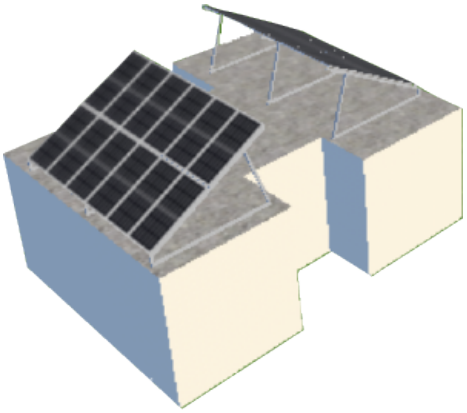


Figure 5: **PV-installasjon på Hytte 1**

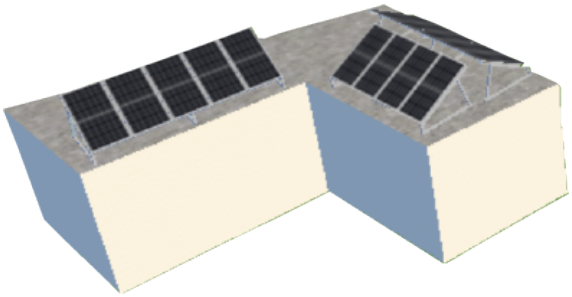


Figure 6: **PV-installasjon på Hytte 1**

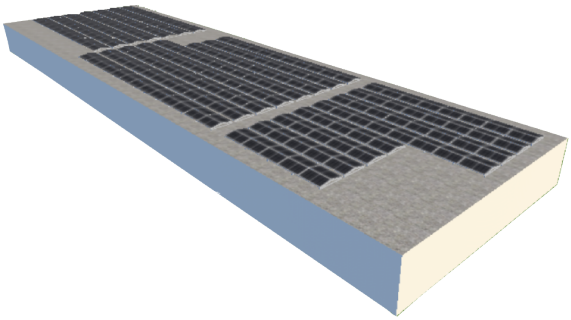


Figure 7: **PV-installasjon på gammelt skolebygg**

4.2. Solproduksjon

Panelene levert av Smart Energy Systems er *Jiangsu Runda* med et areal på 1,96 m^2 per panel. Panelet består av monokrystallinsk silisium med en effekt på 410Wp. Solcellepanelet har en høy effektivitet på 21% og lav temperatur koeffisient. Panelet bruker half-cut celleteknologi, som betyr at PV-cellene består av dobbelt så mange celler. Teknologien gir redusert motstand, redusert effekttap, bedre energi utbytte og en lavere strengstrøm. En annen teknologi er MBB (multi busbars), som betyr at solcellen er utstyrt med flere tettere samleskinner i cellen. Dette gir modulene høyere effekt og høyere pålitelighet, inntil 2,5% effekt økning. Solcellenes produksjonskapasitet er 209,2 Wp/m^2. Det totale arealet beregnet i disse simuleringene er tatt med god klarering fra takkonstruksjon som kan være en obstruksjon for installering, samt god klarering til takkant.

Det er totalt beregnet i simuleringene 24 paneler for typen *Hytte 1* i Figur 5 og 14 paneler for typen *Hytte 2* i Figur 6. Dette gir henholdsvis 9,84kWp og 5,74kWp. For skolebygget i Figur 7 er det beregnet 454 paneler med en installert effekt på 186,14kWp. Da området er designet tilsvarende illustrasjonen i Figur 1, gir dette en **samlet installert effekt på 769,16kWp**. Dette tilsvarer totalt 1876 paneler fordelt på 70+ hytter og et næringstak. Det er viktig å fremheve faktumet at simuleringene foretar seg et fiktivt anlegg. Generert energi fra solproduksjonen vil allikevel være i underkant av dette, når anleggsområdet er nærmere prosjektert. Total produksjon av PV-systemet basert på de spesifikasjoner det er tilrettelagt for er **609MWh**.

4.3. Inverter og festesystem

Det er omformeren som avgjør hvor mye energi som kan utnyttes, da den tranformerer effekten fra DC over til AC. Her er det gjort beregninger for kobling av paneler per inverter for å tilpasse anlegget. For denne testsimuleringen er det brukt ulike størrelser på inverteren for ulike felt på takene. Spesifikke omformere for mindre tak blir installert for hver enkel bolig. Teknologien av omformeren bruker innovative halvlederkomponenter laget av silisiumkarbid, hvor pålitelighet og stabilitet er viktig, med en maksimum effektivitet opp mot 98.7 %. Inverter har funksjonen for en trådløs fjernovervåket omformer, hvor man kan overvåke det individuelle bidraget til samfunnet av Enger Havn for batterisystemet.

Det finnes flere løsninger for festesystem med effektiv installasjon og god mostand mot vær og vind. En mulighet er å installere innfestede paneler i taket, hvor da panelene vil være glattere integrert med taket. Standard løsning vil være å montere panelet på taket etter bygget er konstruert. Ved å bruke innfestede paneler ønsker man å initiere installasjonen av solcellepaneler tidligere i byggefasen.

5. Batteri

Smart Energy Systems har gjennomgått resultatene fra PV-simuleringen, hvor det kan vurderes å installere opptil 2 MW som containerløsning for energilagring, eller installert i batterirommet av skolebygget på $500m^2$. Løsningen for batterilagring presentert i denne rapporten er én container på 40 fot "high cube" (40 ft HQ), med et energi-lagringssystem på $2MW/2,4MWh$, tilsvarende illustrert i Figur 9. Merk at containeren i bildet er 20ft. Container er en løsning som gjør installasjon og transport lettere, men innholdet av komponentene vil være

like for installasjon i et potensielt batterirom. Det burde nevnes at en installasjon av et batterirom vil ha en betydelig høyere kostnad. En "penere" løsning for en container kan gjennomføres for å bedre integrere den med naturen rundt.

Figure 8: **Illustrasjon av 20ft HQ Container**

Battery Energy Storage System (BESS) kan brukes til peak-shaving på det elektriske nettet, dvs. forsyne nettet i perioder med høyt energiforbruk. Den er også i stand til å kompensere for reaktiv effekt og forhindre tap i nettverket. For å tilfredstille det installerte PV-systemet, vil den kunne lagre den grønne energien produsert på taket, for videre distribusjon til næringsforbruket eller nettet, slik det tidligere har blitt nevnt ovenfor i rapporten. BESS-løsningen oppfyller kravene for å kunne delta i FFR-markedet, og kan også drives i islandmode (frakobling fra elektrisk nett). Dette betyr at man har muligheten til å forsyne det lokale nettverket for hyttefeltet, hvis det skulle forekomme feil på distribusjonsnettet hvor man blir frakoblet strømnettet.

Med et slikt batteri kan det styres fleksibilitet og effekt mot der det gir best økonomisk lønnsomhet til enhver tid, enten det er salg av solstrøm til nett, lagring på batteri, salg av fleksibilitet, eller annet. Man kan da styre elbilladere, batteri og solceller. Et eksempel på fleksibel styring er å strupe ned kapasiteten på solcelleanlegget en kort periode på grunn av problemer på strømnettet, for så å tømme hele effektkapasiteten til batteriet i 30 sekunder (FFR) mot strømnettet, eller ta ned løpende effekttopper.

5.1. System løsning

For hver container er det 4 stk PCS på $500kW$ utgangseffekt, 12 batteristativ med $200,7kWh$ nominell energi, energistyringssystem (EMS), brannslukkingssystem (NC 1230) og klimaanlegg inkludert. Dette er da noe som kan installeres som egne komponenter i et batterirom. Et batteristyringssystem (BMS) er installert med batteripakkene, som overvåker batteristatusen ned til hver enkelt battericelle, for å garantere en stabil drift. Dette inkluderer overvåking av celletemperatur, spenninger, strømmer, SoC og SoH for å sikre lang levetid og høy ytelse. EMS er installert for å overvåke alle parametere i BMS, PCS, brannslukningsanlegg, klimaanlegg og inngangs-/utgangseffekt, for å opprettholde en stabil og fungerende drift. EMS justerer kontrollstrategien til BESS i sanntid ved å overvåke alle disse parameterne mens de vurderer sikkerhets- og stabilitetsbegrensninger, for dynamisk å justere for en lade- og utladningsstrategi, optimal for ønsket BESS-operasjon. Overvåkingssystemet kan sees ved å koble til 4G eller LAN, og vil også automatisk sende e-post angående feilmeldinger til registrerte adresser på systemet, som vil være eier, kunde og leverandør (Smart Energy Systems).

5.2. System arkitektur

Batteriteknologien som brukes er $LiFePO4$, med en kraftkapasitet på $2MW$ og en energikapasitet på $2,4MWh$. Batteriet har 1C utladningsrate og 0,5 C laderate. BMS regulerer strømmen som trekkes fra batteriet, som er begrenset til 1C. Den nominelle energien til hver battericelle er $895Wh$, med en syklusleveetid på ≥ 6000 $sykluser$, med 80% DoD. Å kombinere 16 battericeller i en batterimodul krever 14 batterimoduler på $14336Wh$ i en batteriklynge, med en nominell energi på $200,7kWh$. 12 batteriklynger er inkludert for hver container.

PCS har en integrert galvanisk isolasjon mellom AC/DC. PCS-en har egenskaper for å dempe reaktiv reaktiv effekt og harmoniske forvrengninger (THD) i nettverket, samt raske spenningsvariasjoner, flimmerkompensasjon og spenningsfall. Spenningsregulatoren er implementert som en funksjon innenfor PCS.

6. DC-lader

Elbiler kan brukes som en energiressurs, og ikke bare et energisluk. Det kan gjøres ved at lading styres på en smart måte for å utnytte egenprodusert solenergi eller lave strømpriser gjennom døgnet. Elbilene med moderne teknolog kan også tilføre strøm tilbake til strømnettet via såkalt Vehicle-to-grid (V2G) teknologi. Uansett størrelse vil smart styring av alle ladere bli viktig for å unngå uønskede effekttopper i strømnettet, både for elbiler og

elbåter.

Figure 9: **Illustrasjon av elbåt**

Tradisjonelt har elbiler begynt å lade med maksimal kapasitet med en gang de plugges i lade-boksen. Dette korrelerer dessverre med effekttoppene i strømnettet ellers, og gir en ekstra belastning på strømnettet. Her kan smart styring av lading hjelpe med å utsette nødvendige forsterkninger i strømnettet. Smart elbillading kan være å lade ved overskudd av solenergi eller lade ved lav belastning/pris. Strategien med solenergi utnytter overskuddet mellom solproduksjon og elektrisk forbruk i bygningene. Overskuddet gir et potensial for å lade elbilene. Det er generelt mer lønnsomt å benytte produsert solenergi selv enn å selge den til strømnettet, da man sparer både nettleie og elavgifter. Den lokale strømproduksjonen er ikke like stor hele året, det passer heller ikke å lade midt på dagen for alle. Hvis solproduksjonen neglisjeres, og elbilene lader for å unngå ekstra nettbelastning, får vi en annen situasjon. Lav nettbelastning blir her definert som timer der forbruket er under 90 % av maks forbruk. Elbillading fyller i stedet differansen mellom forbruket og "lav nettbelastning". Her vil batteriet kunne bidra, hvis man kan utjevne kjøpt energi fra nettet ved å supplere med lagret energi.

Smart Energy Systems tilbyr DC-ladere fra 30 kW og opp til 180 kW effekt på enkeltladere. DC-lading gir økt fleksibilitet for de som ønsker rask lading av kjøretøy. For Enger Havn har det blitt foreslått en ladestasjon for forbipasserende kjøretøy, samt de tilknyttet hyttene. Det vil også være mulighet for lading av elbåter nede ved havneområdet i Randsfjorden, så da vil det være et stort behov for batteri, da det forekommer høye effektopper fra ladekapasiteten. Det totale energiforbruket for den elektriske bilparken som er brukt i simuleringene er 561,7MWh.

7. Økonomisk analyse og sammenligning av resultater

7.1. Resultater for energisystemet

Energibesparelse er brukt som utgangspunkt for noen verdier av strømforbruk. Sammen med andre estimater nedenfor kan man se utviklingen av penger spart, basert på tilgjengelig spottpris og teknologi tilgjengelig.

Produksjonsrapportene i **Vedlegg A** og **Vedlegg B** har samme PV-system på 769,1kWp, og estimert forbruk for alle hyttene på 450MWh, samt 561,7MWh for elbiler og elbåter. Forbruket for hyttene er basert på generell data hvor en hytte under jevnlig bruk og tilstrekkelig isolasjon forbruker 6000kWh. Simulering er detaljert slik at distribusjonen av forbruk er høyere i sommermånedene, da hyttene sannsynligvis vil bli mye brukt. Ved slike effektopper, vil et batteri kunne bidra til å drastisk redusere disse, og dermed redusere kostnaden for effektleddet i tariffen. Resultatene fra simuleringene vises på Side 5 for begge rapportene vedlagt. For et energisystem for Enger Havn uten energilagring, vil estimert forbruk for området bli dekket av solceller med 16,6%. Ved å installere et batteri på $2MW/2,4MWh$, blir forskjellen betydelig, hvor 46,3% av forbruket dekkes av egen produsert energi. Det vil da si at et energisystem med batteri vil være nesten 3 ganger mer uavhengig av strømnettet. Side 6 i rapportene viser energiflyten mellom systemene. I rapporten er det estimert 13 års levetid. Dette tallet er ikke definitivt, da en optimalisert energistyring av batteriet vil kunne ivareta batterimodulene bedre, når man utnytter alle mulighetene for fleksibilitetsløsninger. Dette er foreløpig ikke medregnet i denne rapporten.

7.2. Økonomisk potensiale

Å selge fleksibilitet til markedet er relativt nytt, og det har vært gjennomført flere pilotprosjekter i Norge både mot lokale netteiere og Statnett. Dette er nå kommet over i kommersielle former. Det eksisterer to markeder som er veldig interessante; FFR markedet og mFRR (RKOM/ RK). For perioden 2021 var markedsverdien av å være med her med 1 MW fleksibel last, ca **1,1 − 1,2 mill. kr**. Total verdi er avhengig av hvor aktivt man byr inn de fleksible ressursene, og hvor mange hendelser det er i nettet som krever utkobling. Dette vil variere fra år til år, hvor man kan minimum anta **350.000kr/MW** for FFR-markedet, og **400.000kr/MW** for mFRR-markedet. Fra simulering, hvor det er inkludert et batteri for energisystemet, er det totale forbruket for hele hytteområdet ca $1012MWh$. Av dette behovet, vil innkjøp fra strømnettet være $544MWh$. Med en uavhengighetsrate på 46,3% betyr dette at ved en spottpris på 2kr/kWh, og nettleie på 0,092 kr/kWh, vil man kunne redusere innkjøp av strøm for **980.000kr årlig**. Ønsker man å hyppigere utnytte sykluser av batteriet, kan man også anta hvor mye man ønsker å utnytte pris arbitrasje. I dette tilfellet kan man beregne at man kjøper 25% av energi fra nettet til 1kr mindre en spottpris på dagen, og man vil da redusere innkjøp av strøm for **1.116.000kr årlig**. Effektledd/nettleie blir påvirket av batteriet. Hvis man da kunne anta at man kunne redusere effektoppene fra 400 til 200 kW, vil man om sommeren spare 4850 kr/måned og 9200 kr/måned. Detter blir besparelser på **84.000kr årlig**. Inkluderer man deltagelse i reservemarkeder, kan man forvente en nedgang i hvor mye man kan flekse på sykluser for å spare penger på innkjøpt strøm, men addere en inntjening på **1.500.000kr årlig** for et batteri på 2MW. Det årlige besparelsen av Enger Havn kan da være ca. **2,75 millioner kroner årlig**. Dette er basert på de antagelser for Enger Havn gitt i denne rapporten, samt produksjonsrapportene i **Vedlegg A** og **Vedlegg B**.

Kostnaden for et slikt anlegg kan estimeres til 9 kr/Wp for ferdiginstallerte solceller på flatt tak, 10,5 kr/Wp for ferdiginstallerte solceller på skråtak (hytter), og ca. 11,3 millioner kroner for ferdiginstallert 2MW batteri. Dette tilsvarer en estimert investeringskostnad på **19 millioner kr** for nevnte installasjoner. Dette forutsetter at eksisterende infrastruktur kan benyttes.

A. Simuleringsrapport for PV-anlegg

Simuleringsrapport over solcelleanleggets ytelse er produsert i PV*SOL, et program-basert simuleringsverktøy. Følgende bilder viser simuleringsdata produsert for det spesifikke anlegget med solproduksjon, DC-lading av elektriske kjøretøy og hyttenes energiforbruk.

Smart Energy Systems
Rosenborgveien 6
1630, Gamle Fredrikstad
Norway

Contact person:
Alexander Finn
Phone: +4741389021
E-Mail: alexander@smartenergysystems.no

Project Name: Enger Havn

08.09.2022

Your PV system from Smart Energy Systems

Address of Installation

Randsfjorden 1561, 2866 Enger, Norway

Fjell og Fjortid AS

Project Description:
Hytteområde integrert med natur

Project Overview

Figure: Overview Image, 3D Design

PV System

3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances and Electric Vehicles

Climate Data	Enger, NOR (1996 - 2015)	
Values source	Meteonorm 8.1(i)	
PV Generator Output	769,16	kWp
PV Generator Surface	3 774,5	m²

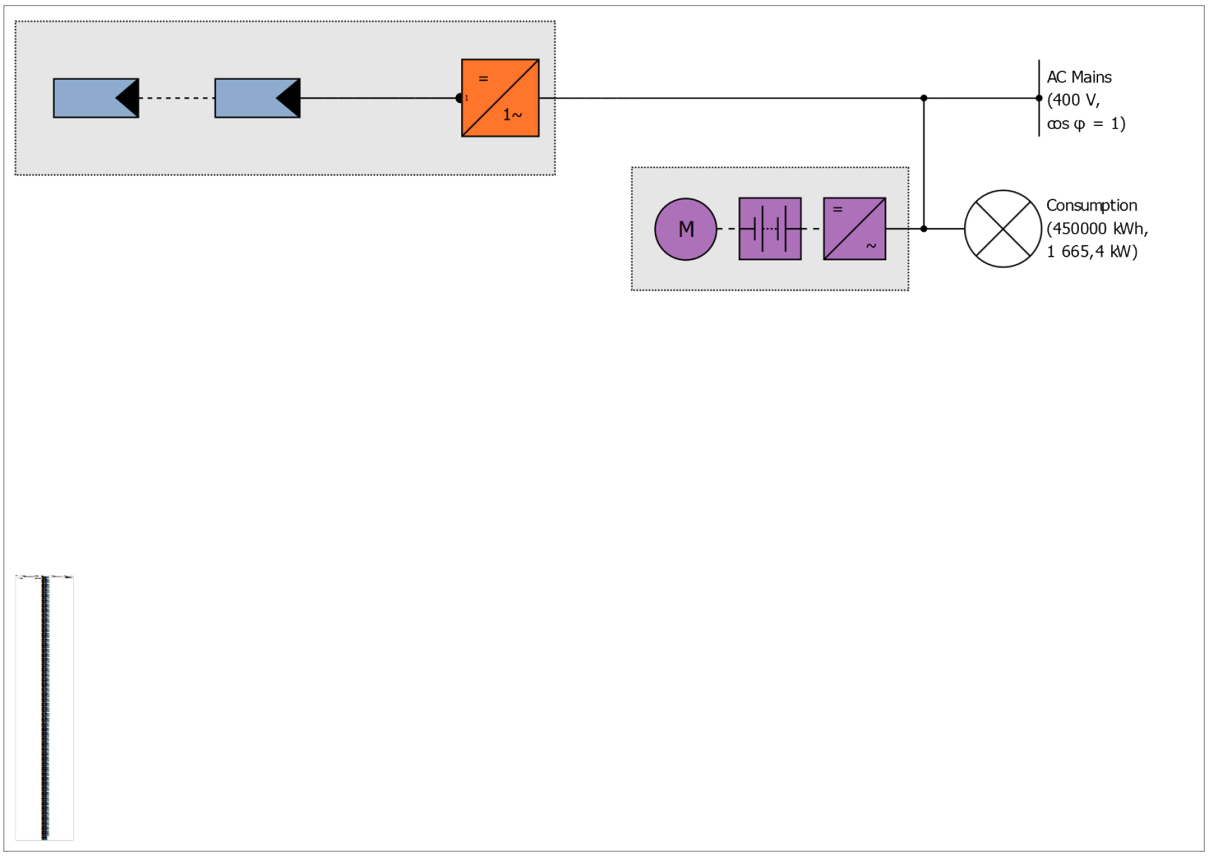


Figure: Schematic diagram

Production Forecast

Production Forecast		
PV Generator Output	769,16	kWp
Spec. Annual Yield	790,29	kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	82,17	%
Yield Reduction due to Shading	0,4	%/Year
PV Generator Energy (AC grid)	608 922	kWh/Year
Direct Own Use	159 013	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	9 538	kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0	kWh/Year
Grid Feed-in	440 332	kWh/Year
Own Power Consumption	27,6	%
CO_2 Emissions avoided	6 686	kg / year
Level of Self-sufficiency	16,6	%

The results have been calculated with a mathematical model calculation from Valentin Software GmbH (PV*SOL algorithms). The actual yields from the solar power system may differ as a result of weather variations, the efficiency of the modules and inverter, and other factors.

Set-up of the System

Overview

System Data

Type of System	3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances and Electric Vehicles

Climate Data

Location	Enger, NOR (1996 - 2015)
Values source	Meteonorm 8.1(i)
Resolution of the data	1 h
Simulation models used:	
- Diffuse Irradiation onto Horizontal Plane	Hofmann
- Irradiance onto tilted surface	Hay & Davies

Consumption

Total Consumption	450000 kWh
Household, load profile with high summer proportion	450000 kWh
Load Peak	1665,4 kW

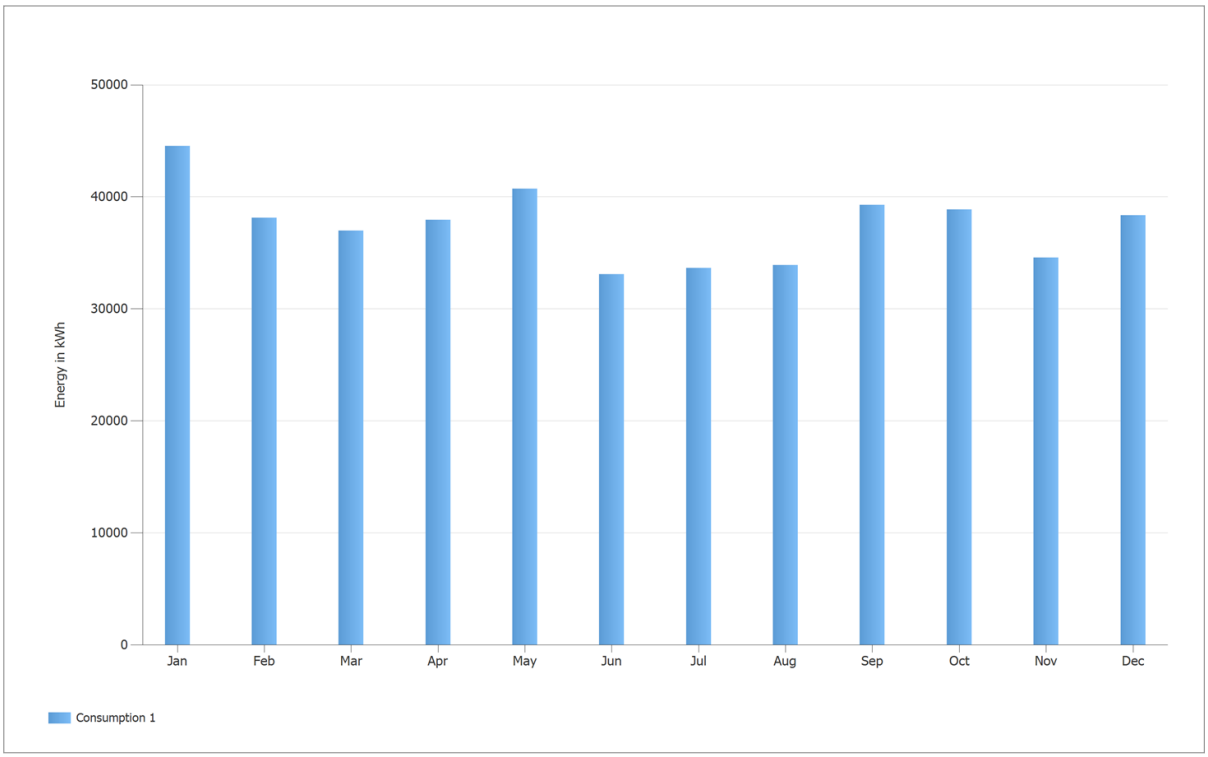


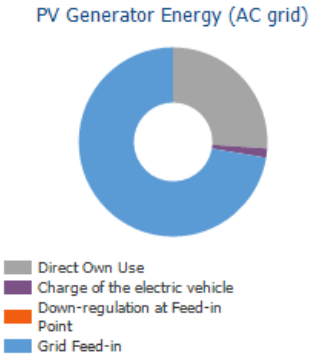
Figure: Consumption

Simulation Results

Results Total System

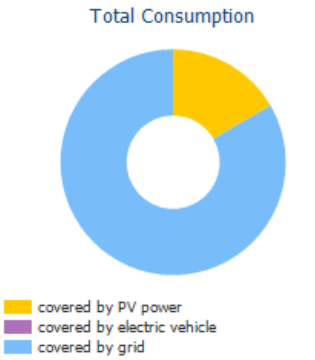
PV System

PV Generator Output	769,16	kWp
Spec. Annual Yield	790,29	kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	82,17	%
Yield Reduction due to Shading	0,4	%/Year
PV Generator Energy (AC grid)	608 922	kWh/Year
Direct Own Use	159 013	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	9 538	kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0	kWh/Year
Grid Feed-in	440 332	kWh/Year
Own Power Consumption	27,6	%
CO_2 Emissions avoided	6 686	kg / year



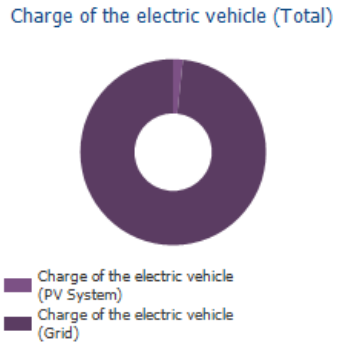
Appliances

Appliances	450 000	kWh/Year
Standby Consumption (Inverter)	1 061	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	561 721	kWh/Year
Total Consumption	1 012 783	kWh/Year
covered by PV power	168 551	kWh/Year
covered by electric vehicle	0	kWh/Year
covered by grid	844 192	kWh/Year
Solar Fraction	16,6	%



Electric vehicle

Charge at beginning	1 560	kWh
Charge of the electric vehicle (Total)	561 721	kWh/Year
Charge of the electric vehicle (PV System)	9 538	kWh/Year
Charge of the electric vehicle (Grid)	552 183	kWh/Year
Discharging the electric vehicle for consumption	0	kWh/Year
Losses due to charging/discharging	11 234	kWh/Year
Losses in Battery	70 245	kWh/Year
Consumption due to kilometres driven	481801	kWh
Mileage per year	3128580	km
of which is solar	53125	km



Level of Self-sufficiency

Total Consumption	1 012 783	kWh/Year
covered by grid	844 192	kWh/Year
Level of Self-sufficiency	16,6	%

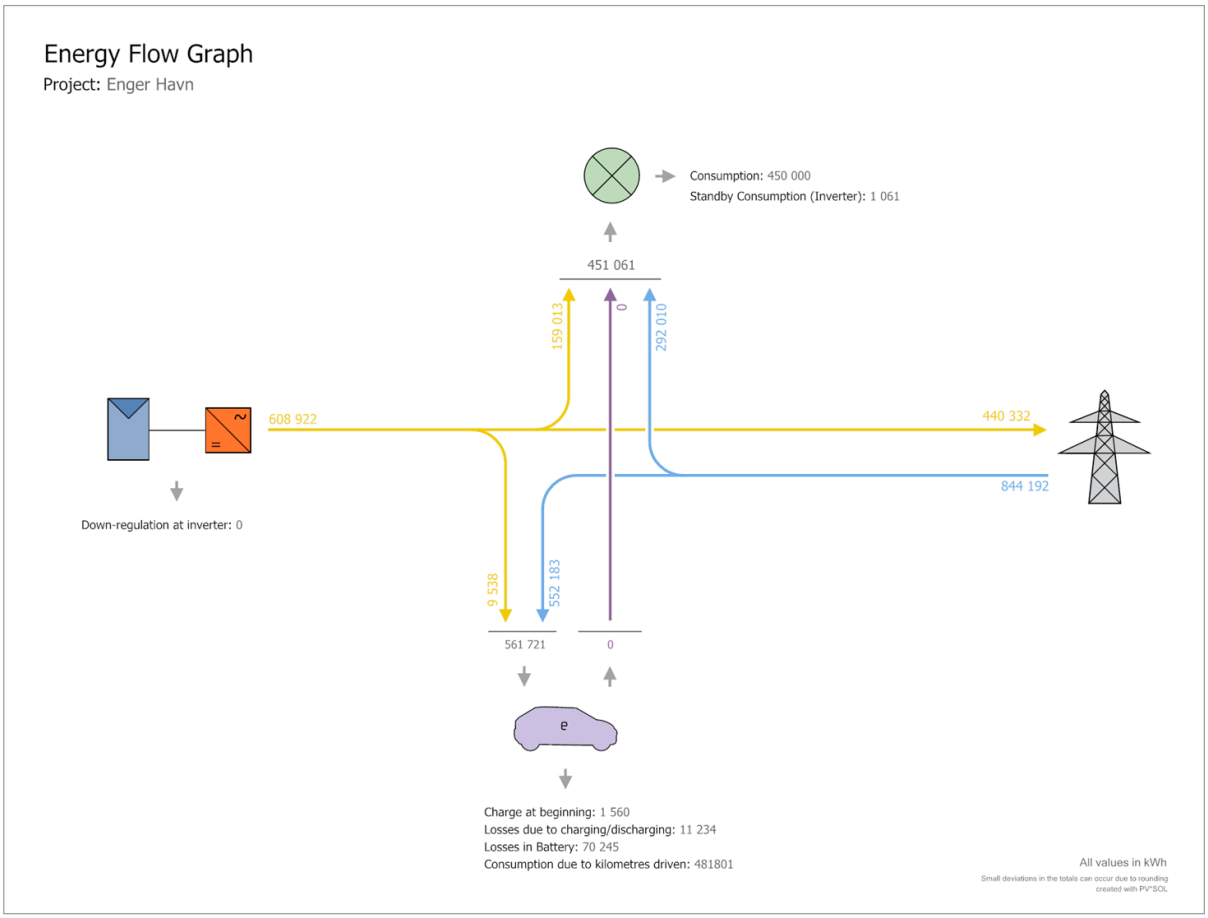


Figure: Energy flow

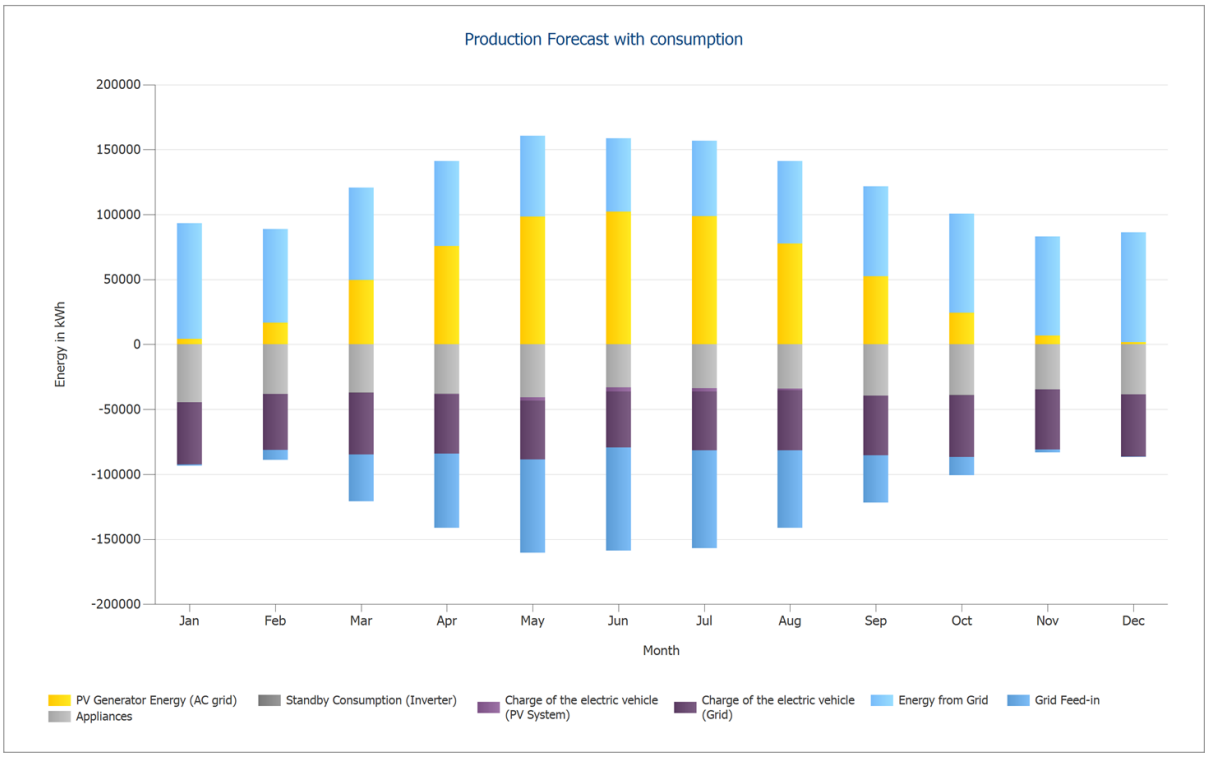


Figure: Production Forecast with consumption

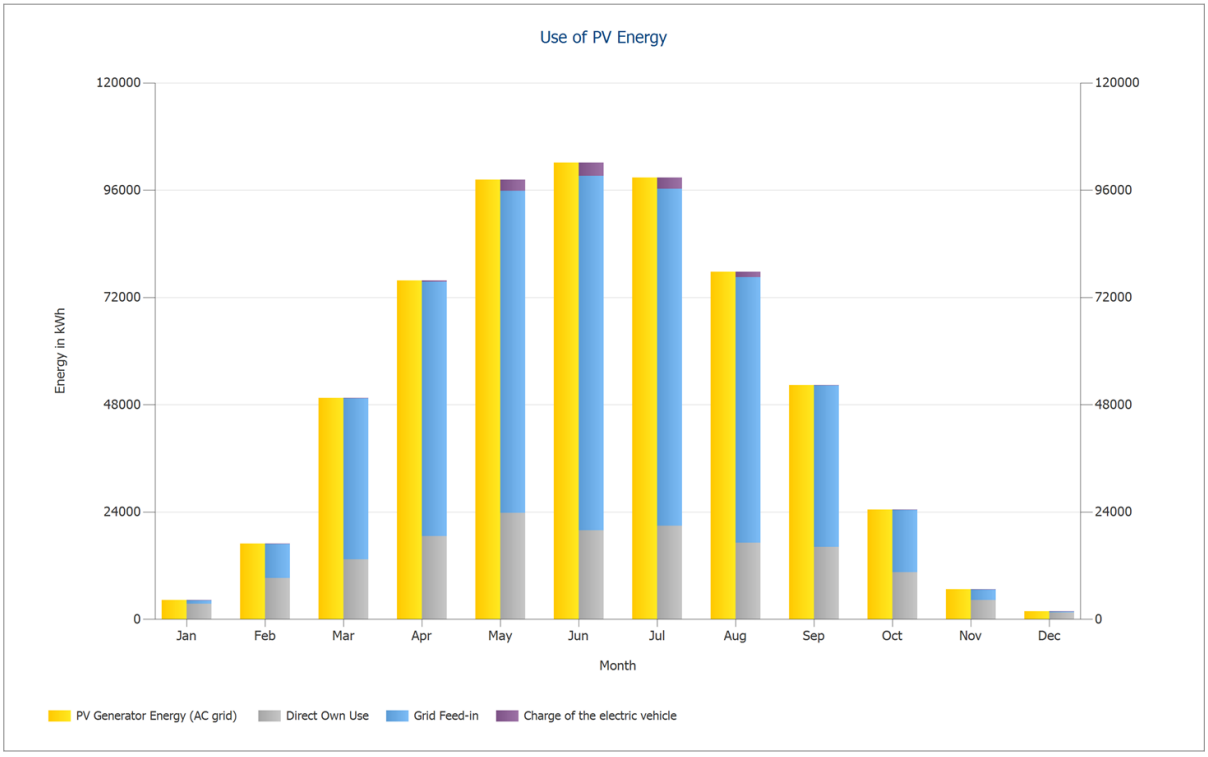


Figure: Use of PV Energy

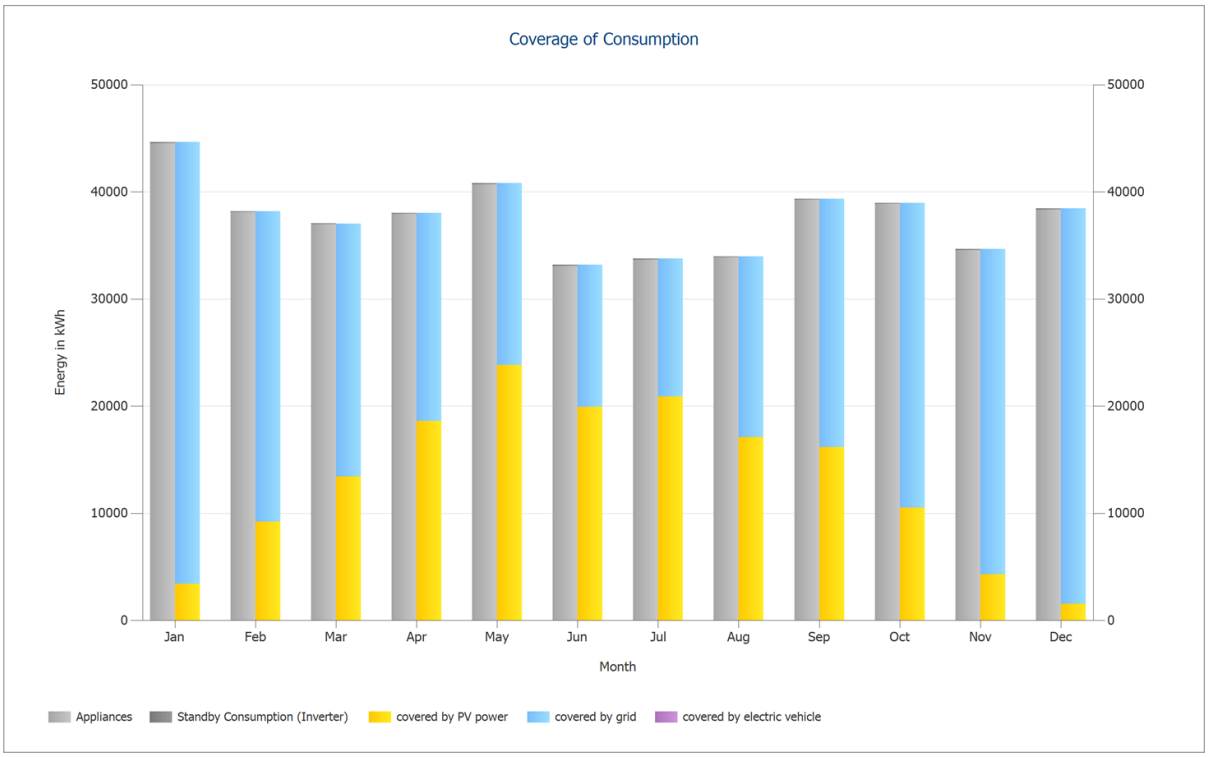


Figure: Coverage of Consumption

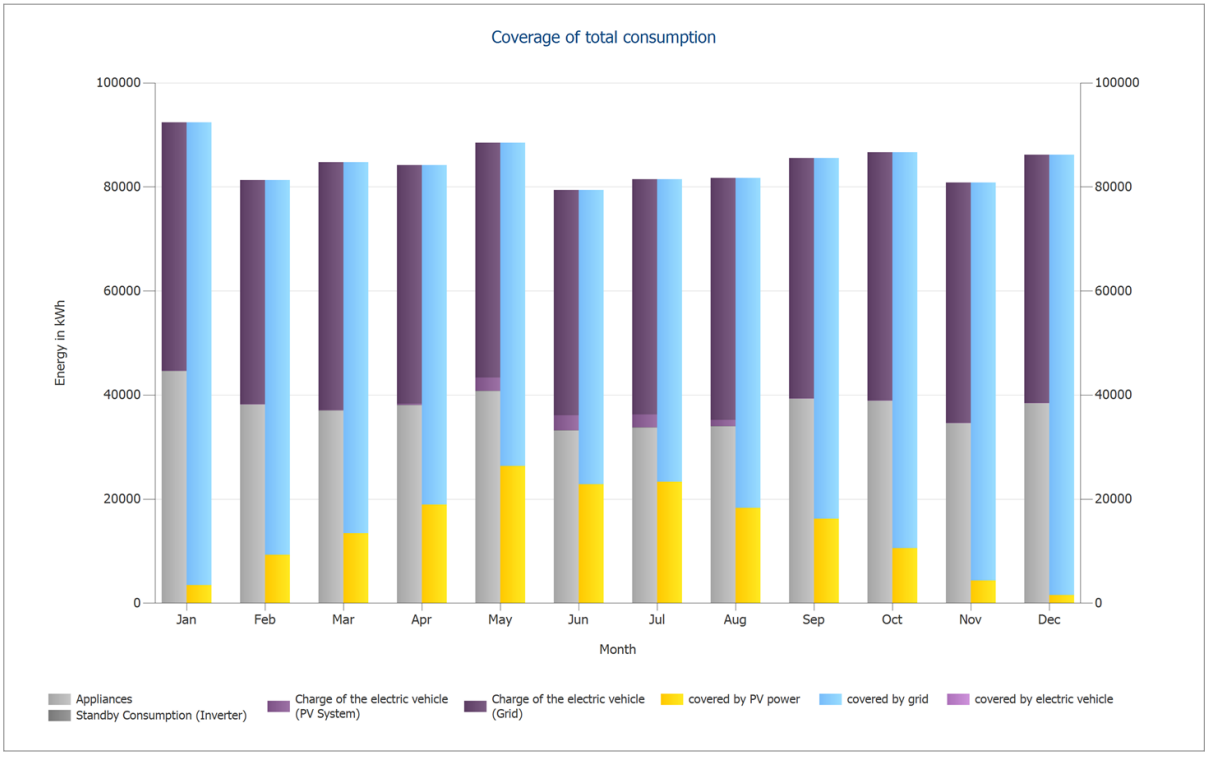


Figure: Coverage of total consumption

PV System Energy Balance

PV System Energy Balance

Global radiation - horizontal	**977,53**	**kWh/m²**	
Deviation from standard spectrum	-9,78	kWh/m²	-1,00 %
Ground Reflection (Albedo)	10,18	kWh/m²	1,05 %
Orientation and inclination of the module surface	-16,08	kWh/m²	-1,64 %
Module-independent shading	0,00	kWh/m²	0,00 %
Reflection on the Module Interface	-66,81	kWh/m²	-6,95 %
Global Radiation at the Module	**895,05**	**kWh/m²**	
	895,05	kWh/m²	
	x 3774,542	m²	
	= 3 378 391,71	kWh	
Global PV Radiation	**3 378 391,71**	**kWh**	
Soiling	0,00	kWh	0,00 %
STC Conversion (Rated Efficiency of Module 20,38 %)	-2 690 021,93	kWh	-79,62 %
Rated PV Energy	**688 369,77**	**kWh**	
Module-specific Partial Shading	-2 345,96	kWh	-0,34 %
Low-light performance	-13 653,59	kWh	-1,99 %
Deviation from the nominal module temperature	3 225,90	kWh	0,48 %
Diodes	-114,58	kWh	-0,02 %
Mismatch (Manufacturer Information)	-13 509,63	kWh	-2,00 %
Mismatch (Configuration/Shading)	-214,83	kWh	-0,03 %
PV Energy (DC) without inverter down-regulation	**661 757,08**	**kWh**	
Failing to reach the DC start output	-565,52	kWh	-0,09 %
Down-regulation on account of the MPP Voltage Range	-12,08	kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. DC Current	-0,04	kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. DC Power	0,00	kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. AC Power/cos phi	-63,50	kWh	-0,01 %
MPP Matching	-6 096,15	kWh	-0,92 %
PV energy (DC)	**655 019,79**	**kWh**	
Energy at the Inverter Input	**655 019,79**	**kWh**	
Input voltage deviates from rated voltage	-4 023,31	kWh	-0,61 %
DC/AC Conversion	-29 647,44	kWh	-4,55 %
Standby Consumption (Inverter)	-1 061,49	kWh	-0,17 %
Total Cable Losses	-12 426,98	kWh	-2,00 %
PV energy (AC) minus standby use	**607 860,56**	**kWh**	
PV Generator Energy (AC grid)	**608 922,05**	**kWh**	

Plans and parts list

Overview plan

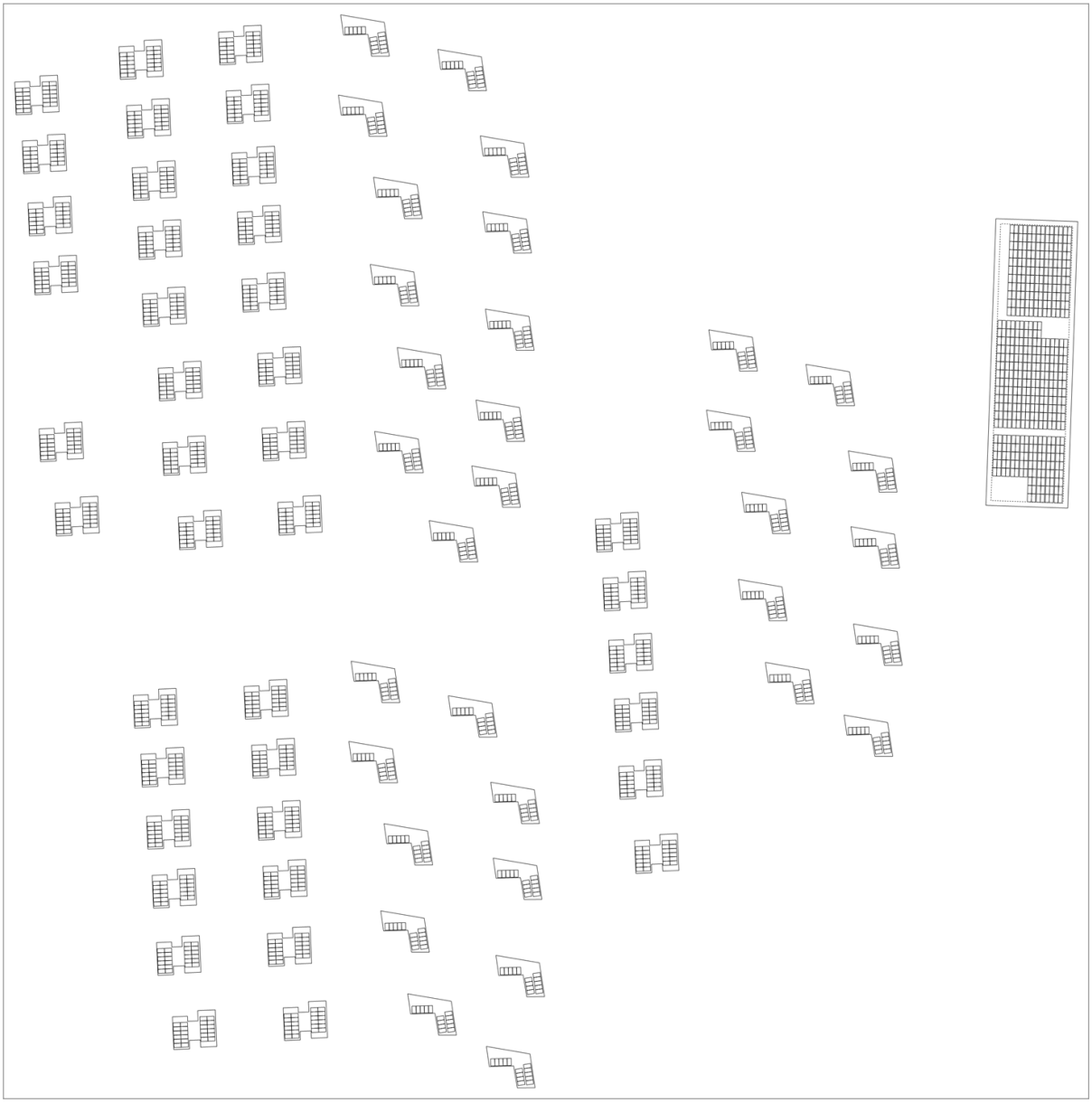


Figure: Overview plan

B. Simuleringsrapport for PV-anlegg

Simuleringsrapport over solcelleanleggets ytelse er produsert i PV*SOL, et program-basert simuleringsverktøy. Følgende bilder viser simuleringsdata produsert for det spesifikke anlegget, med solproduksjon, DC-lading av elektriske kjøretøy, hyttenes energiforbruk og batterisystem.

Smart Energy Systems
Rosenborgveien 6
1630, Gamle Fredrikstad
Norway

Contact person:
Alexander Finn
Phone: +4741389021
E-Mail: alexander@smartenergysystems.no

Project Name: Enger Havn

09.09.2022

Your PV system from Smart Energy Systems

Address of Installation

Randsfjorden 1561, 2866 Enger, Norway

Fjell og Fjortid AS

Project Description:
Hytteområde integrert med natur

Project Overview

Figure: Overview Image, 3D Design

PV System

3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances, Electric Vehicles and Battery Systems

Climate Data	Enger, NOR (1996 - 2015)	
Values source	Meteonorm 8.1(i)	
PV Generator Output	769,16	kWp
PV Generator Surface	3 774,5	m²
Number of PV Modules	1876	

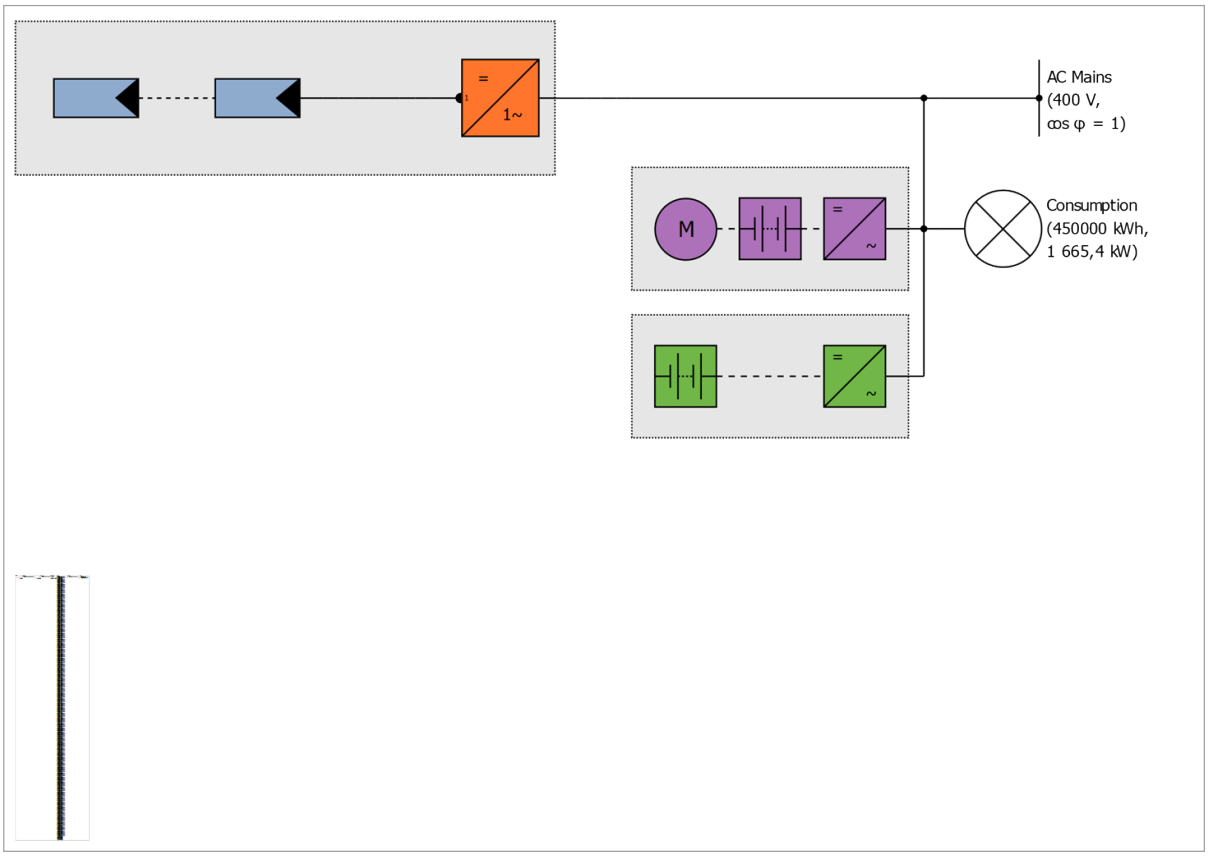


Figure: Schematic diagram

Production Forecast

Production Forecast		
PV Generator Output	769,16	kWp
Spec. Annual Yield	790,29	kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	82,17	%
Yield Reduction due to Shading	0,4	%/Year
PV Generator Energy (AC grid)	608 922	kWh/Year
Direct Own Use	159 013	kWh/Year
Battery Charge	397 240	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	9 538	kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0	kWh/Year
Grid Feed-in	43 092	kWh/Year
Own Power Consumption	92,9	%
CO_2 Emissions avoided	5 576	kg / year
Level of Self-sufficiency	46,3	%

The results have been calculated with a mathematical model calculation from Valentin Software GmbH (PV*SOL algorithms). The actual yields from the solar power system may differ as a result of weather variations, the efficiency of the modules and inverter, and other factors.

Set-up of the System

Overview

System Data

Type of System	3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances, Electric Vehicles and Battery Systems

Climate Data

Location	Enger, NOR (1996 - 2015)
Values source	Meteonorm 8.1(i)
Resolution of the data	1 h
Simulation models used:	
- Diffuse Irradiation onto Horizontal Plane	Hofmann
- Irradiance onto tilted surface	Hay & Davies

Consumption

Total Consumption	450000 kWh
Household, load profile with high summer proportion	450000 kWh
Load Peak	1665,4 kW

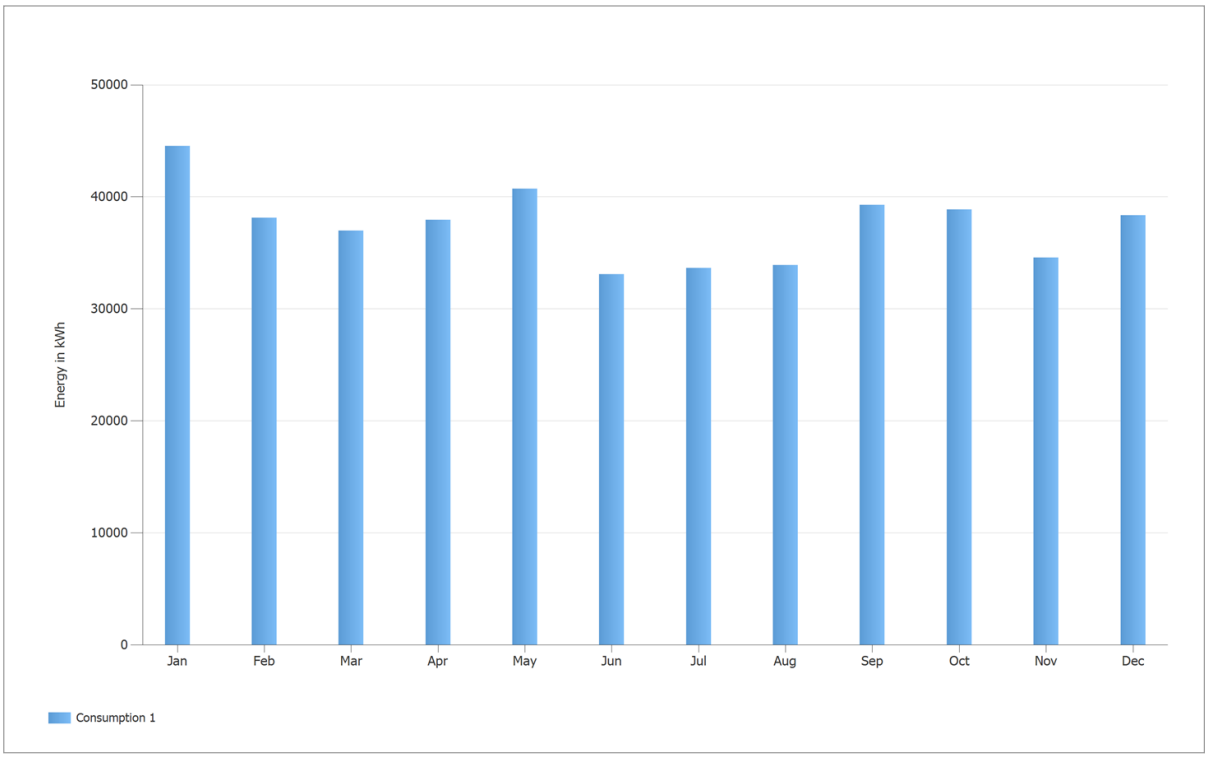


Figure: Consumption

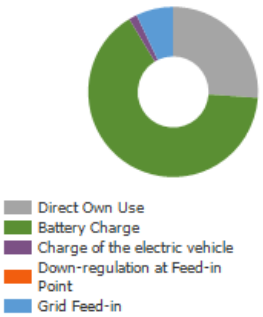
Simulation Results

Results Total System

PV System

PV Generator Output	769,16	kWp
Spec. Annual Yield	790,29	kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	82,17	%
Yield Reduction due to Shading	0,4	%/Year
PV Generator Energy (AC grid)	608 922	kWh/Year
Direct Own Use	159 013	kWh/Year
Battery Charge	397 240	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	9 538	kWh/Year
Down-regulation at Feed-in Point	0	kWh/Year
Grid Feed-in	43 092	kWh/Year
Own Power Consumption	92,9	%
CO_2 Emissions avoided	5 576	kg / year

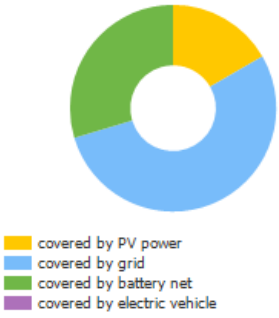
PV Generator Energy (AC grid)



Appliances

Appliances	450 000	kWh/Year
Standby Consumption (Inverter)	1 061	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	561 721	kWh/Year
Total Consumption	1 012 783	kWh/Year
covered by PV power	168 551	kWh/Year
covered by grid	544 132	kWh/Year
covered by battery net	300 060	kWh/Year
covered by electric vehicle	0	kWh/Year
Solar Fraction	46,3	%

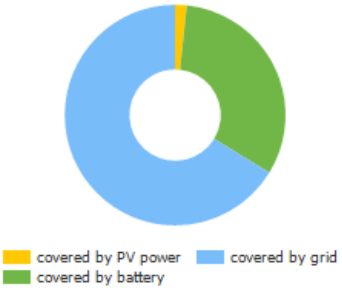
Total Consumption



Electric vehicle

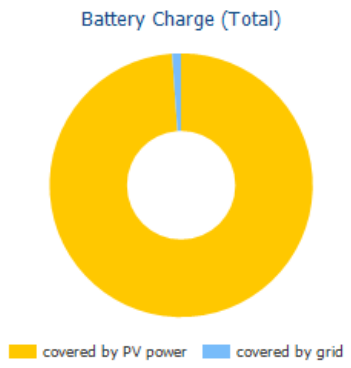
Charge at beginning	1 560	kWh
Charge of the electric vehicle (Total)	561 721	kWh/Year
covered by PV power	9 538	kWh/Year
covered by battery	179 822	kWh/Year
covered by grid	372 361	kWh/Year
Discharging the electric vehicle for consumption	0	kWh/Year
Losses due to charging/discharging	11 234	kWh/Year
Losses in Battery	70 245	kWh/Year
Consumption due to kilometres driven	481801	kWh/Year
Mileage per year	3128580	km/Year
of which is solar	1054669	km/Year

Charge of the electric vehicle (Total)



Battery System

Charge at beginning	3 765	kWh
Battery Charge (Total)	401 630	kWh/Year
covered by PV power	397 240	kWh/Year
covered by grid	4 391	kWh/Year
Battery Energy for the Covering of Consumption	304 451	kWh/Year
Charge of the electric vehicle	179 822	kWh/Year
Consumption	124 628	kWh/Year
Losses due to charging/discharging	97 660	kWh/Year
Losses in Battery	3 285	kWh/Year
Cycle Load	7,5	%
Service Life	13	Years



Level of Self-sufficiency

Total Consumption	1 012 783	kWh/Year
covered by grid	544 132	kWh/Year
Level of Self-sufficiency	46,3	%

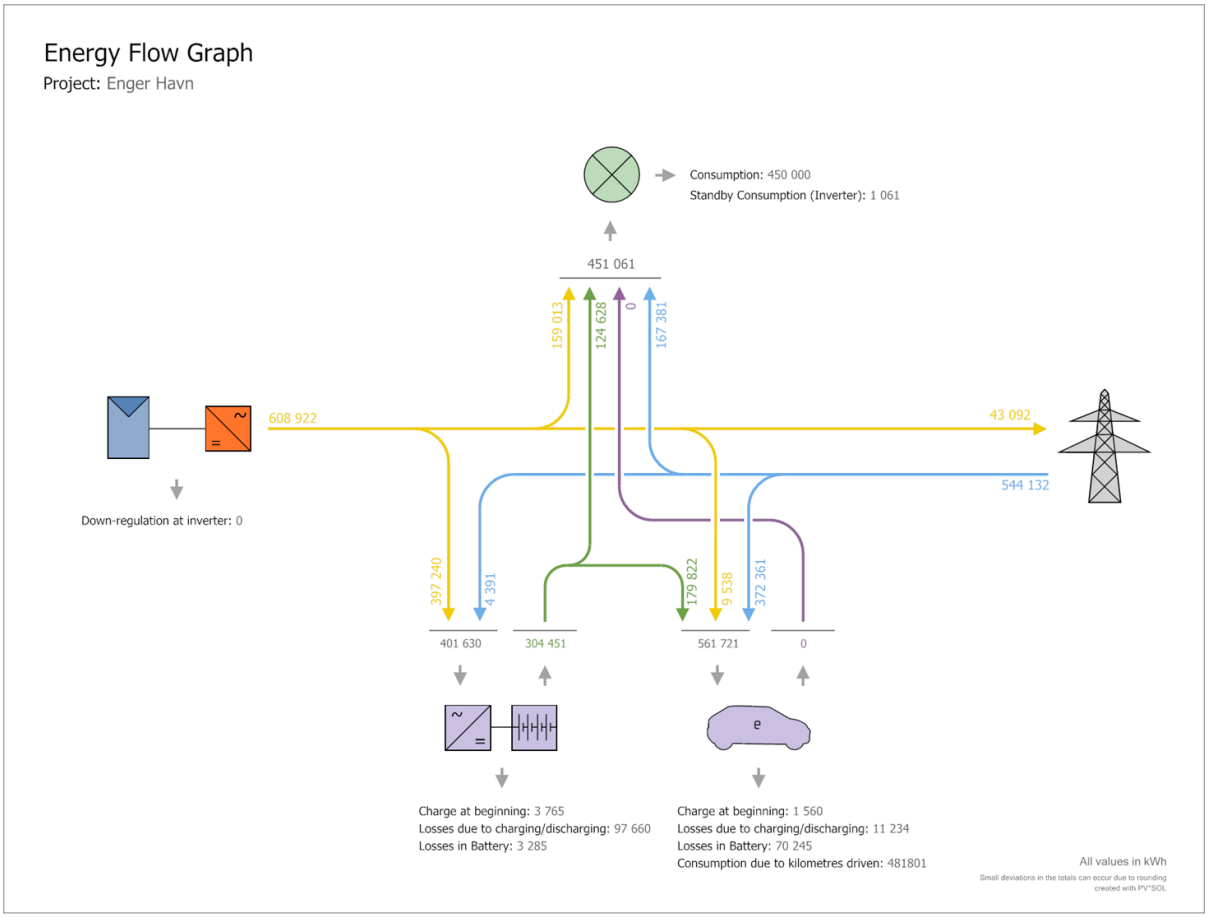


Figure: Energy flow

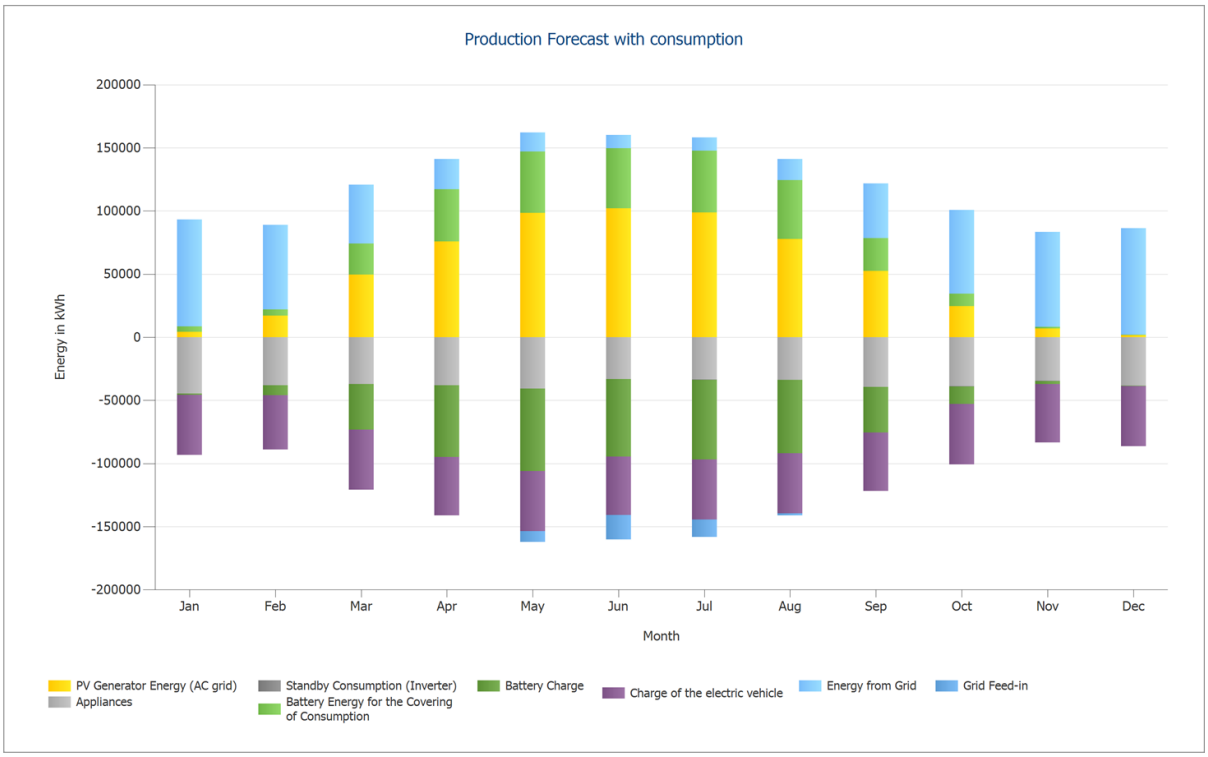


Figure: Production Forecast with consumption

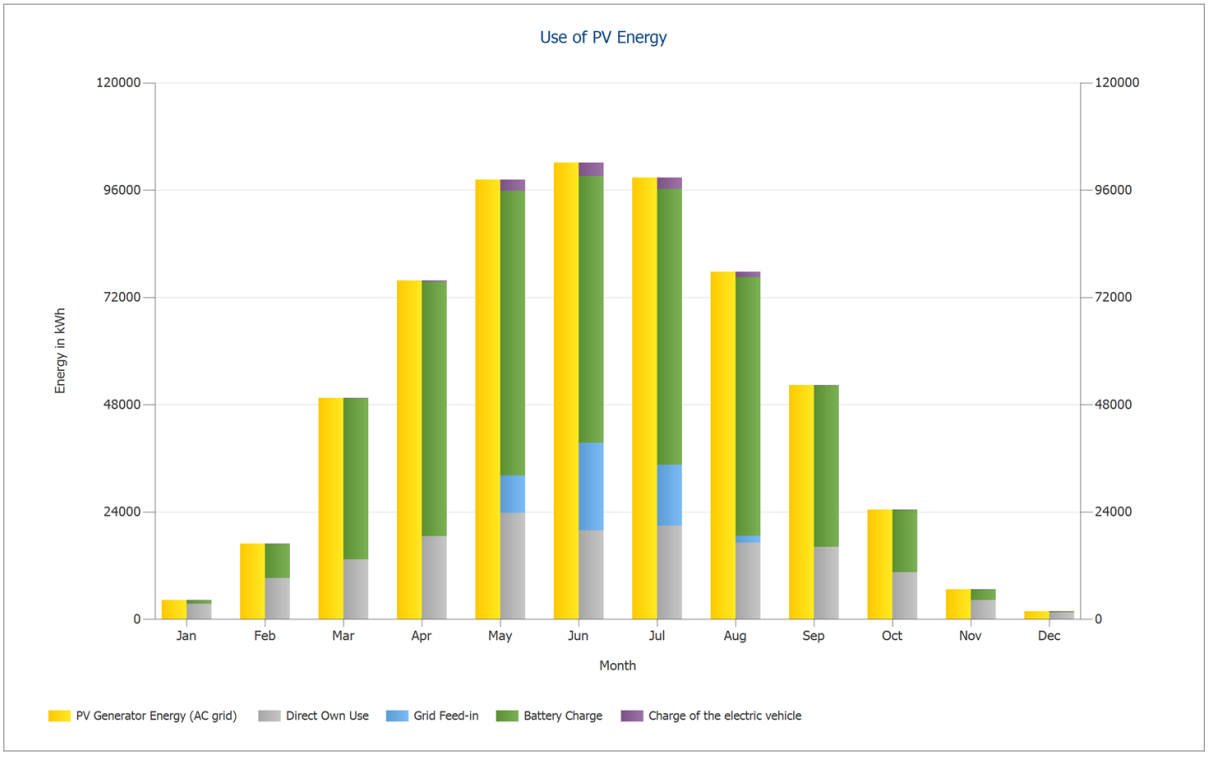


Figure: Use of PV Energy

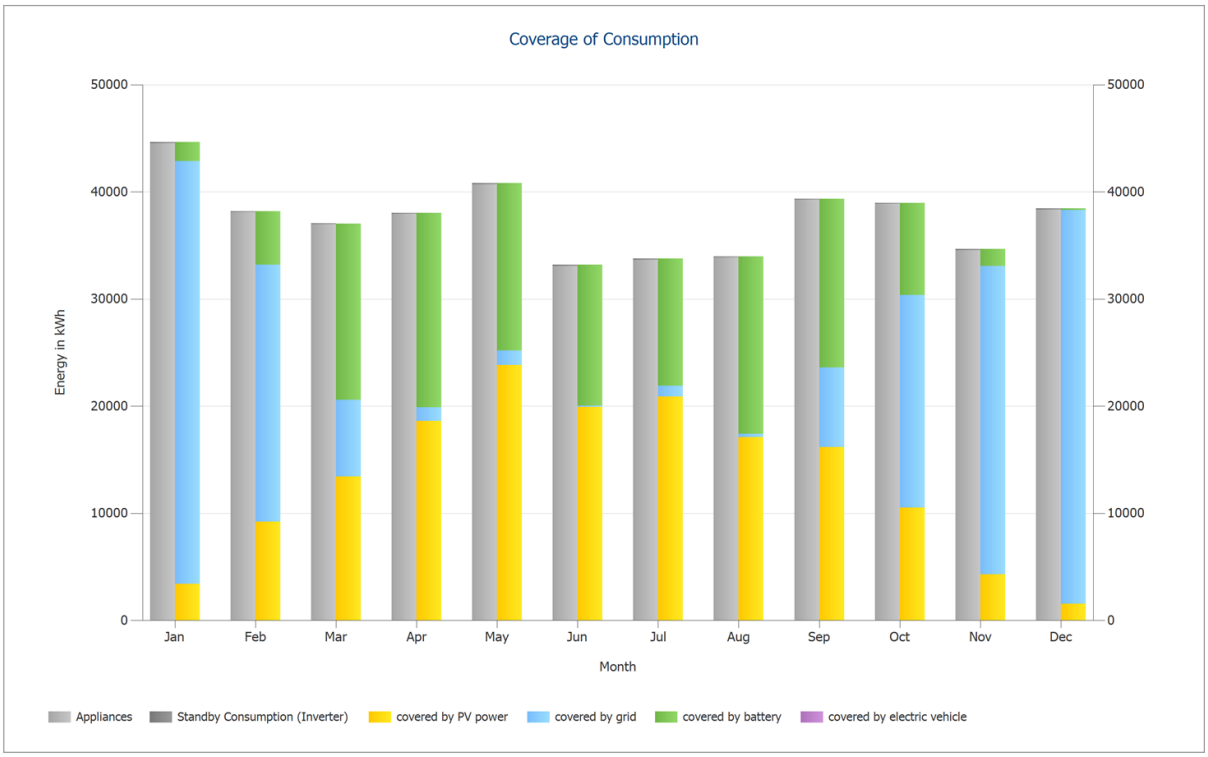


Figure: Coverage of Consumption

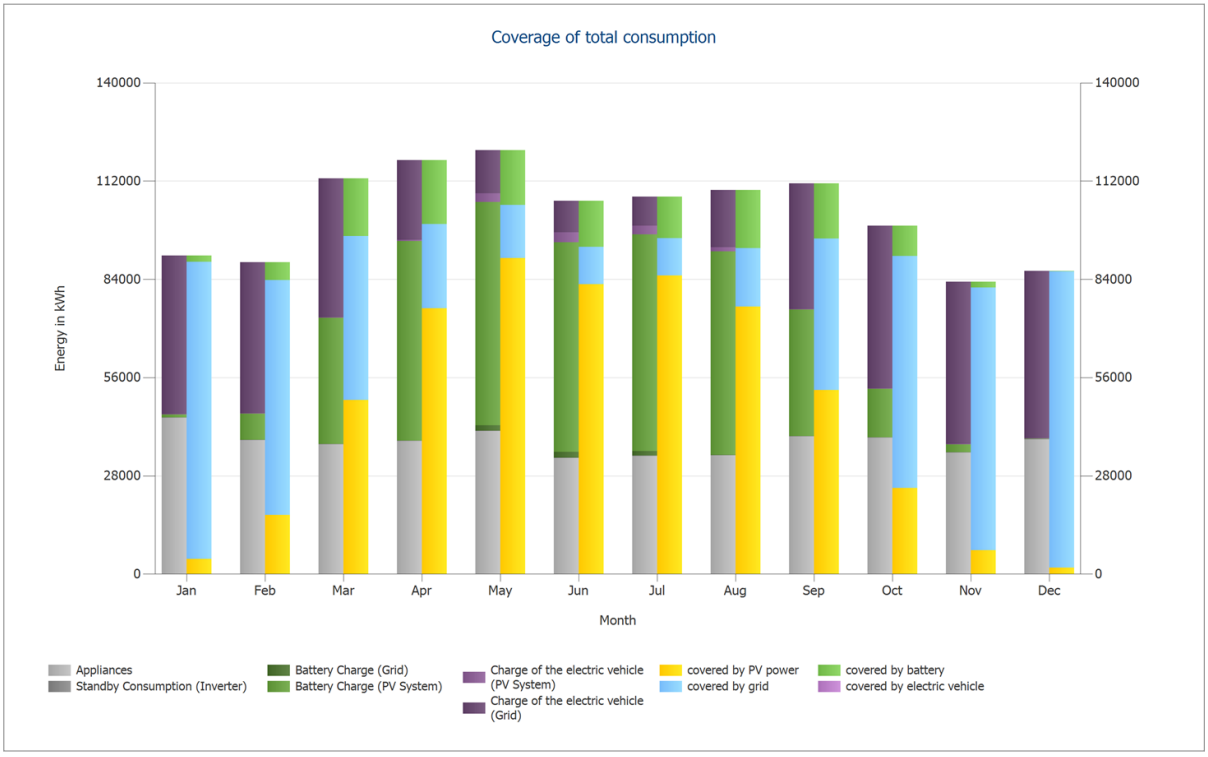


Figure: Coverage of total consumption

PV System Energy Balance

PV System Energy Balance

Global radiation - horizontal	**977,53**	**kWh/m²**	
Deviation from standard spectrum	-9,78	kWh/m²	-1,00 %
Ground Reflection (Albedo)	10,18	kWh/m²	1,05 %
Orientation and inclination of the module surface	-16,08	kWh/m²	-1,64 %
Module-independent shading	0,00	kWh/m²	0,00 %
Reflection on the Module Interface	-66,81	kWh/m²	-6,95 %
Global Radiation at the Module	**895,05**	**kWh/m²**	
	895,05	kWh/m²	
	x 3774,542	m²	
	= 3 378 391,71	kWh	
Global PV Radiation	**3 378 391,71**	**kWh**	
Soiling	0,00	kWh	0,00 %
STC Conversion (Rated Efficiency of Module 20,38 %)	-2 690 021,93	kWh	-79,62 %
Rated PV Energy	**688 369,77**	**kWh**	
Module-specific Partial Shading	-2 345,96	kWh	-0,34 %
Low-light performance	-13 653,59	kWh	-1,99 %
Deviation from the nominal module temperature	3 225,90	kWh	0,48 %
Diodes	-114,58	kWh	-0,02 %
Mismatch (Manufacturer Information)	-13 509,63	kWh	-2,00 %
Mismatch (Configuration/Shading)	-214,83	kWh	-0,03 %
PV Energy (DC) without inverter down-regulation	**661 757,08**	**kWh**	
Failing to reach the DC start output	-565,52	kWh	-0,09 %
Down-regulation on account of the MPP Voltage Range	-12,08	kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. DC Current	-0,04	kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. DC Power	0,00	kWh	0,00 %
Down-regulation on account of the max. AC Power/cos phi	-63,50	kWh	-0,01 %
MPP Matching	-6 096,15	kWh	-0,92 %
PV energy (DC)	**655 019,79**	**kWh**	
Energy at the Inverter Input	**655 019,79**	**kWh**	
Input voltage deviates from rated voltage	-4 023,31	kWh	-0,61 %
DC/AC Conversion	-29 647,44	kWh	-4,55 %
Standby Consumption (Inverter)	-1 061,49	kWh	-0,17 %
Total Cable Losses	-12 426,98	kWh	-2,00 %
PV energy (AC) minus standby use	**607 860,56**	**kWh**	
PV Generator Energy (AC grid)	**608 922,05**	**kWh**	

Plans and parts list

Overview plan

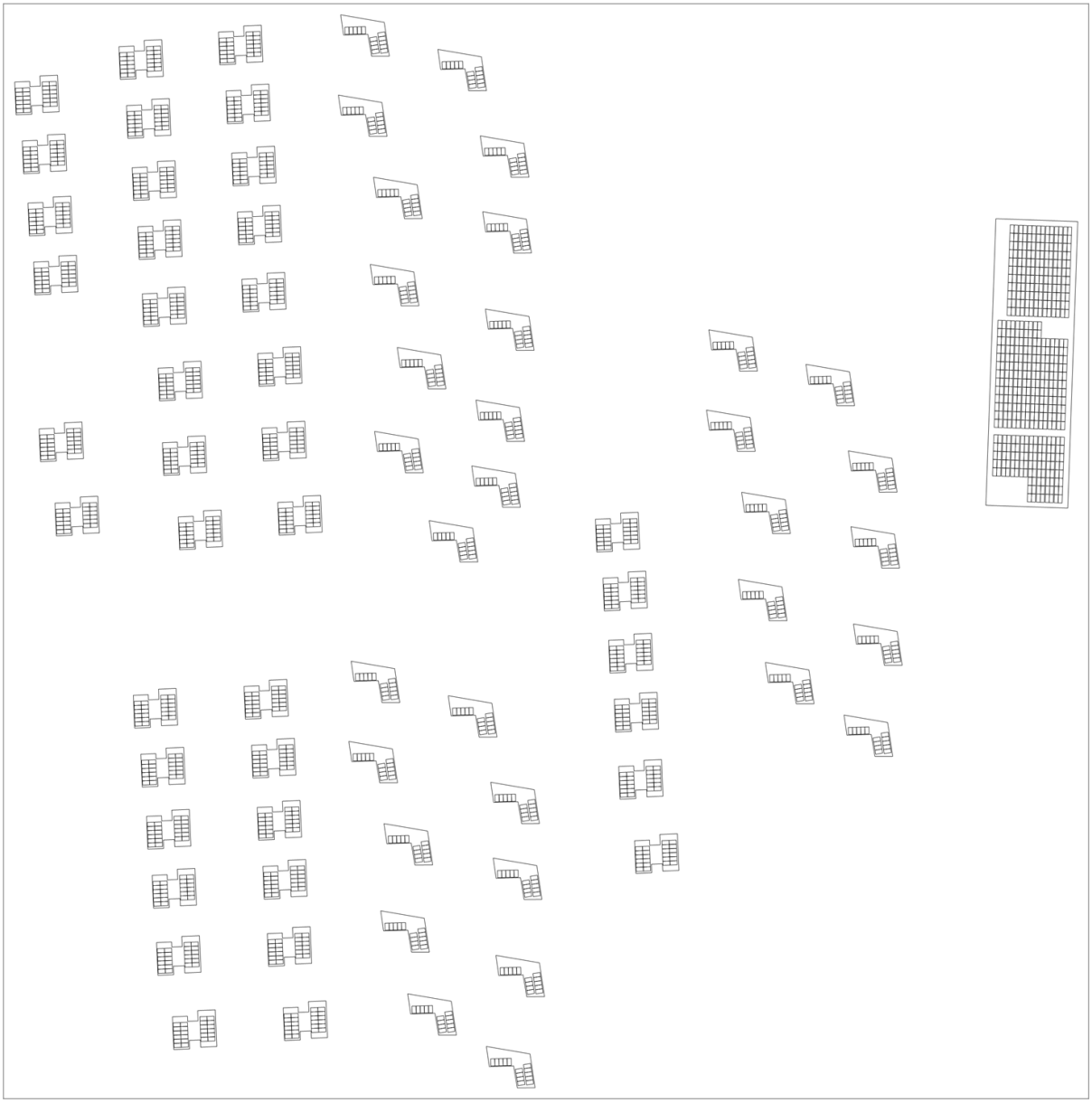


Figure: Overview plan