

Forundersøgelse af ladestandere

Fejlvisning af leveret energi (kWh) til opladning af køretøjer i Danmark

Maj 2026

Af: Brian Kirstein Ramsgaard og Jannik Gedtek Lethan



Indholdsfortegnelse

Indledning	3
Resumé	4
Oversigt med definitioner	4
Udvælgelse af ladepunkter	5
Antal og geografisk fordeling	5
Typer af ladepunkter.....	5
Udvælgelseskriterier og repræsentativitet.....	5
Måle- og kalibreringsmetode	5
Referenceudstyr og sporbarhed	5
Testkøretøjer	6
Kalibreringsopstilling on-site	6
Kalibreringsprocedure	6
Testbetingelser og ladekurver	7
Strøm-, spænding- og effektniveauer	7
Ladetid og energimængde.....	7
Miljø- og driftsforhold	7
Datagrundlag og registrerede målinger	7
Registrerede størrelser	7
Datavalidering og kvalitetssikring	7
Vurdering af fremtidig driftsfejlgrænse	8
Nøjagtighedsklasse	8
MPE	8
MMQ	9
Driftsfejlgrænse	9
Resultater	10
Den nuværende tilstand på danske ladepunkter.....	10
Måleusikkerhed på on-site kalibreringer.....	13
Typeangivelse	16
Konklusion	17
Anbefalinger	17
Bilag 1: Usikkerhedsbudget	18
Usikkerhedsbidrag.....	18
Samlet usikkerhedsbudget	21
Forfattere / Kontakt.....	22

Indledning

Vi oplever i disse år en kraftig vækst i udbredelsen af elektriske køretøjer og tilhørende ladeinfrastruktur i Danmark. Elbiler er hurtigt gået hen og blevet allemandseje og den nye normal for valg af køretøj. Overalt i landet opstilles der ladestandere, hvor man kan købe energi til opladning af elektriske køretøjer.

Traditionelle områder som benzin- og dieselstandere på tankstationer og el-, gas-, fjernvarme- og vandmålere, har i mange år været omfattet af regler for at sikre forbrugerbeskyttelse, så forbrugerne får den mængde brændstof/energi/vand, som de betaler for. Kort sagt, den mængde man køber, skal måles korrekt.

Ladestandere, hvorfra der sælges energi (kWh) til forbrugernes el-køretøjer ifm. opladning, har indtil nu ikke været underlagt regler, som sikrer forbrugerbeskyttelse, dels i form af produktgodkendelse, med krav om grundige tests af målesystemet i ladestandere, og dels ved efterfølgende løbende kontrol med at de måler korrekt.

Der er nu vedtaget nye regler i EU¹, så målesystemer i ladestandere bliver underlagt fælles regler, når de bringes til markedet. I forlængelse heraf forventes det, at der bliver indført nationale regler for anvendelse af målesystemer på ladestandere, som er taget i brug.

Formål med forundersøgelsen

Denne forundersøgelse giver indsigt i fejlvisningen på de eksisterende ladestandere, som er taget i brug i Danmark og skaber et vidensgrundlag for udarbejdelse af fremtidige nationale regler.

Den kommer også med anbefalinger til aktørerne.

Undersøgelsens omfang og karakter

Undersøgelsen omfatter AC- og DC-ladestandere i det offentlige rum i Danmark, hvorfra el-køretøjer kan oplades mod betaling for den leverede energimængde (kWh). Fejlvisningen bliver undersøgt ved on-site kalibrering af ladepunkter med referenceudstyr.

Forundersøgelsen er sket i samråd med medlemmerne af *Center for Legal Metrologi (CLM) erfagruppe 3 – Elmåling & Ladestandere*, som bl.a. inkluderer danske ladeoperatører, FDM og Erhvervsstyrelsens afdeling for Markedsovervågning (tidligere Sikkerhedsstyrelsen).

This publication was funded by the Danish Agency for Higher Education and Science.



**Uddannelses- og
Forskningsstyrelsen**

**Danish Agency for Higher
Education and Science**

¹ [Europa-Parlamentets og Rådets direktiv \(EU\) 2026/706 af 11. marts 2026 om ændring af direktiv 2014/32/EU for så vidt angår målesystemer til forsyningsudstyr til elektriske køretøjer og til standere til komprimeret gas samt el-, gas- og varmeenergimålere \(EØS-relevant tekst\)](#)

Resumé

Denne forundersøgelse belyser fejlvisningen på målesystemer i offentligt tilgængelige ladestanderer i Danmark, hvor elektricitet til opladning af el-køretøjer afregnes på grundlag af målt energimængde (kWh). Undersøgelsen er gennemført som on-site kalibrering af installerede ladepunkter under realistiske driftsforhold og har til formål at skabe et faktisk vidensgrundlag for udarbejdelse af fremtidige nationale regler for anvendelse og kontrol af målesystemer i ladestanderer.

Undersøgelsen omfatter i alt **80 ladepunkter**, bestående af **35 AC-ladepunkter** og **45 DC-ladepunkter**, geografisk placeret på Fyn og i Trekantområdet. Ladepunkterne er udvalgt i samarbejde med to større danske ladeoperatører og dækker en bred vifte af udbredte lader- og målersystemtyper. Størstedelen af de testede ladepunkter er relativt nye, idet de har været i drift i under fire år.

Kalibreringerne er udført ved hjælp af sporbart referenceudstyr i klasse 0.1, koblet i serie med ladepunktets interne målesystem, således at den samme leverede energi til køretøjet måles af både referenceudstyr og ladepunkt. Denne metode sikrer, at fejlvisningen fastlægges uden indgreb i ladepunktets hardware eller software og afspejler den energimåling, der danner grundlag for forbrugerens afregning.

Resultaterne viser, at **AC-ladepunkterne generelt udviser meget små fejlvisninger**, med en samlet gennemsnitlig fejlvisning omkring 0 % og lav spredning. Der ses en svagt stigende tendens i fejlvisningen med stigende alder og brug, men alle målte AC-ladepunkter ligger inden for de fejlgrænser, der følger af nøjagtighedsklasse B.

For **DC-ladepunkterne** ses et mere nuanceret billede. **DC-lynladere** udviser gennemgående meget små fejlvisninger, tæt på 0 %, med lille spredning. **DC-hurtigladerne** viser derimod væsentligt større og systematiske fejlvisninger, i flere tilfælde op mod +1,5 %, selvom ladestanderne er relativt nye.

Forundersøgelsen viser endvidere, at der **ikke er observeret en entydig sammenhæng** mellem fejlvisning og ladeeffekt eller omgivelsestemperatur inden for de undersøgte driftsforhold. Repeterbarhed og reproducerbarhed er generelt god, men on-site kalibreringer medfører et højere usikkerhedsbidrag end laboratoriekalibreringer, særligt som følge af temperaturpåvirkning og driftsvariationer.

Samlet set viser forundersøgelsen, at den nuværende målekvalitet på danske ladestanderer overordnet er tilfredsstillende, men at der eksisterer **betydelige forskelle mellem ladertyper**, særligt for DC-hurtigladerne. Resultaterne understøtter behovet for klare nationale regler for drift og kontrol af målesystemer i ladestanderer samt for fortsatte opfølgende undersøgelser, der inkluderer ældre og mere intensivt anvendte ladepunkter.

Oversigt med definitioner

- En **ladestander** er en fysisk installation på en specifik lokation, som indeholder et eller flere ladepunkter.
- Et **ladepunkt** kan oplade et elektrisk køretøj ad gangen.
- En **normallader** er et ladepunkt, der kan levere en effekt op til 22 kW.
- En **hurtiglader** er et ladepunkt, der kan levere en effekt på 23-99 kW.
- En **lynlader** er et ladepunkt, der kan levere en effekt på mindst 100 kW.
- En **klasse 0.1** måler angiver, at måleinstrumentets maksimale fejl er 0,1 %. Denne klasse bruges primært til præcisionsmåleudstyr, hvor lav usikkerhed er afgørende.
- **Repeaterbarhed** er graden af overensstemmelse mellem måleresultater opnået ved gentagne målinger af samme målestørrelse under de samme betingelser.
- **Reproducerbarhed** er graden af overensstemmelse mellem måleresultater opnået ved gentagne målinger af samme målestørrelse under ændrede betingelser.

Udvælgelse af ladepunkter

Antal og geografisk fordeling

Denne forundersøgelse omfatter kalibrering af 80 ladepunkter i Danmark. Geografisk afgrænset til Fyn, samt enkelte målere i Trekantområdet.

Typer af ladepunkter

De 80 ladepunkter består af 35 AC-ladepunkter og 45 DC-ladepunkter. De er fordelt på 5 typer af AC-normalladere, 2 typer af DC-hurtigladere og 7 typer af DC-lynladere.

De 35 AC-ladepunkter er normalladere med Type 2 connector. Hovedparten af dem indgår i ladestandere, som kan levere op til 22 kW effekt fordelt imellem 2 ladepunkter. De 45 DC-ladepunkter har CCS Combo 2 connector og består af 12 hurtigladere som kan levere op til 100 kW effekt og 33 lynladere, som kan levere mere end 100 kW effekt.

Forundersøgelsen omfatter således ikke NACS (udviklet af Tesla), CHAdeMO og MCS connectorer (tunge køretøjer).

Alle ladepunkter er placeret i det offentlige rum, hvorfra man kan købe energi (kWh) til opladning af elektriske køretøjer mod betaling.

Udvælgelseskriterier og repræsentativitet

Forundersøgelsen er sket i samarbejde med to store danske ladeoperatører. Ladepunkterne er udvalgt så de dækker en stor andel af de typer af AC- og DC-ladestandere, som de to ladeoperatører anvender.

Med over 50.000 offentlige ladepunkter i Danmark, fordelt på mange operatører, udgør de 80 ladepunkter, som det har været muligt at teste i forundersøgelsen, kun godt 1 promille af alle ladepunkter. Forundersøgelsen giver således et indblik i fejlvisningen på nogle få af de ladepunkter som forbrugere anvender i Danmark. Forundersøgelsen viser derfor kun "toppen af isbjerget" ift. den samlede bestand og antallet af typer af ladestandere, som er ibrugtaget.

Aldersmæssigt er 50 af ladepunkterne i forundersøgelsen ibrugtaget indenfor 0-2 år og 30 af ladepunkterne ibrugtaget indenfor 2-4 år. Det afspejler at antallet af ladepunkter i Danmark er i kraftig vækst og hovedparten er af nyere dato. Antallet af ældre ladestandere er derfor begrænset, hvilket også er afspejlet i forundersøgelsen.

Historikken omkring fejlvisningen på danske ladepunkter har indtil nu været ukendt, herunder hvor meget fejlvisning ændrer sig over en årrække (driften). Erfaringen fra andre målesystemer er, at fejlvisningen ofte stiger, når de bliver ældre og mere slidte. En hypotese er derfor at fejlvisningen formodentligt er lav på ladepunkterne indtil videre.

Ud af de 80 ladepunkter er 2 AC- og 2 DC-ladepunkter udvalgt til undersøgelse af repeterbarhed, ved gentagende kalibreringer i træk, og reproducerbarhed, under varierende effekt- og temperaturbetingelser.

Måle- og kalibreringsmetode

Referenceudstyr og sporbarhed

Kalibreringen af ladepunkterne er udført ved anvendelse af elektrisk referenceudstyr (PWS 3.3 genX fra MTE Meter Test Equipment AG), som er egnet til energimåling (kWh) på ladepunkter. Referenceudstyret er kalibreret med sporbarhed til internationale målenormaler hos PTB. Referenceudstyrets klasse 0.1 nøjagtighed er valgt, så det er væsentligt bedre end den forventede nøjagtighed på klasse B for ladepunkternes interne målesystemer, og således egnet til formålet i en legal metrologisk sammenhæng.

Kalibreringsstatus, gyldighedsperiode og relevante nøjagtighedsdata for referenceudstyret er dokumenteret forud for målingerne.

Testkøretøjer

Til forundersøgelse er der anvendt 2 elektriske køretøjer:

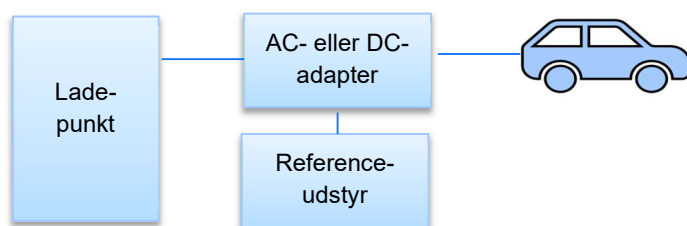
- Mercedes eCitan elvarevogn med 45kWh, 400 V batteri. Højeste ladeeffekt er 22 kW AC og 75 kW DC.
- Kia EV6 elbil med 77 kWh, 800 V batteri. Højeste ladeeffekt er 11 kW AC og 233 kW DC.

Kalibreringsopstilling on-site

Test er gennemført som on-site kalibreringer på installerede ladepunkter under reelle driftsforhold. Referenceudstyret er elektrisk tilsluttet således, at den leverede energi til køretøjet, måles i serie med ladepunktets eget energimålesystem.

Der er lagt vægt på, at referenceudstyret måler den samme energi, som ligger til grund for ladepunktets visning af leveret energi til køretøjet, dvs. uden indgreb i ladepunktets interne hardware eller software.

AC-adapter (eMOB I-32.3 AC fra MTE Meter Test Equipment AG) eller DC-adapter (eMOB I-200.1 DC fra MTE Meter Test Equipment AG), begge med sensorer til strømmåling og udtag til spændingsmåling er indsat imellem ladepunkt og elkøretøj, så referencemålingen sker i serie med ladepunktets indbyggede måling af leveret energi til elkøretøjet.



Skitse over kalibreringsopstillingen

Kalibreringsprocedure

Inden kalibrering registreres ladepunktets ID, lokation, typeskilt, samt hvis muligt den totale akkumulerede energimåling på elmåleren.

AC- eller DC-adapter tilsluttes referenceudstyret, som tændes. El-køretøjet forbindes til ladepunktet via AC- eller DC-adapteren.

For hver kalibrering er målingen påbegyndt ved en entydig startstand, hvor både referenceudstyr og ladepunktets energivisning er nulstillet. Herefter startes opladningen, fx med ladebrik eller app, som ved en almindelig opladning.

Efter gennemført opladning er den leverede mængde energi (slutstanden) på ladepunktet aflæst på display eller app. Denne værdi indtastes på referenceudstyret, hvor den sammen med dennes slutstand anvendes til beregning af fejlvisningen på den leverede energimængde til køretøjet. Slutstanden samt fejlvisning registreres.

Testbetingelser og ladekurver

Strøm-, spænding- og effektniveauer

Hver kalibrering dækker én opladningssession. Kalibreringerne er gennemført ved normal anvendelse af ladepunkterne, med strøm-, spænding- og effektniveauer, som er rimeligt repræsentative. Disse niveauer varierer i løbet af opladningssessionen. Dog er der tale om korte opladningssessioner, som beskrevet i nedenstående afsnit.

I praksis er der kun indirekte mulighed for at påvirke ladekurver, da de afhænger af ladepunktet og især batteriets tilstand på testkøretøjet. Det er således ikke muligt at fastlægge nogle veldefinerede (strøm og spænding) kalibreringspunkter.

Det anbefales at testkøretøjets strøm-, spænding- og effektniveauer ifm. opladning ligger indenfor referenceudstyrets måleområde. Disse bør være tæt på ladepunktets maksimale strøm-, spænding- og effektniveauer.

På mange ladestanderer deles den maksimale effekt imellem dets 2 ladepunkter. I praksis medfører dette ofte at kun halvdelen af den maksimale effekt er til rådighed under kalibreringen, når ladestanderens andet ladepunkt er i brug.

Ladetid og energimængde

Den leverede energimængde på 5 kWh per kalibrering er valgt, så den er tilstrækkelig stor til at sikre en stabil og meningsfuld beregning af den relative fejlvisning, med lavt usikkerhedsbidrag fra opløsning (antal decimaler) på kWh display.

Samtidigt er energimængden valgt tilstrækkelig lille, så kalibreringen ikke bliver unødigt tidskrævende og så testkøretøjet ikke oplades unødigt meget. Sidstnævnte er en praktisk udfordring, hvor afladning bevidst bør indtænkes i planlægning af kontrollen.

Miljø- og driftsforhold

Kalibreringerne er udført under de aktuelle miljø- og driftsforhold på installationsstedet, herunder omgivelsestemperatur og netforhold. Der er ikke foretaget aktiv regulering af disse forhold, idet formålet er at vurdere ladepunktets måleegenskaber under realistiske anvendelsesbetingelser.

Datagrundlag og registrerede målinger

Registrerede størrelser

For hver kalibrering af et ladepunkt er følgende data som minimum registreret:

- Ladepunkt ID, navn, lokation og ladeoperatør
- Typeplade: Producent og model af ladestander, AD/DC, max ladeeffekt
- Inspektør, kalibreringsstidspunkt, referenceudstyr, testkøretøj
- Hvis tilgængelig, den totale akkumulerede energimåling på elmåleren (kWh)
- Leveret energi vist på ladestanderen eller app (kWh)
- Leveret energi målt med referenceudstyr (kWh)
- Fejlvisning (%) og tilhørende måleusikkerhed (%)
- Gennemsnitlig ladeeffekt under kalibrering (kW)
- Miljøforhold (på målepunkter hvor kalibrering er gentaget): omgivelsestemperatur og relativ luftfugtighed
- Installationsdato (oplyst af ladeoperatør)

Datavalidering og kvalitetssikring

De indsamlede data er gennemgået for åbenlyse registreringsfejl, manglende værdier og ufuldstændige målinger. Målinger, hvor tekniske eller driftsmæssige forhold medfører åbenlyst ugyldige resultater, er udeladt af den videre analyse.

Vurdering af fremtidig driftsfejlgrænse

Som tidligere nævnt blev der den 20. marts 2026 vedtaget en tilføjelse af måleinstrumentdirektivet (MID) 2014/32/EU. Tilføjelsen indebærer en udvidelse af direktivets anvendelsesområde til også at omfatte målesystemer til forsyningsudstyr til elektriske køretøjer, målesystemer til standere til komprimeret gas samt el-, gas- og varmeenergimålere.

Denne tilføjelse er lagt til grund for vurderingen af fremtidige fejlgrænser for idriftsatte målesystemer i ladepunkter.

Nøjagtighedsklasse

Nøjagtighedsklasse angiver, hvor præcist et måleinstrument eller målesystem skal måle før det ibrugtages. Klassen fastlægger den maksimalt tilladte fejl (MPE) og dermed, hvor stor afvigelsen mellem den målte og den faktiske værdi må være.

Jo højere nøjagtighedsklasse, desto mindre fejl er tilladt. Nøjagtighedsklassen sikrer, at måleresultater er pålidelige og kan anvendes som retligt og økonomisk grundlag, fx ved afregning af energi.

I denne forundersøgelse er der taget udgangspunkt i nøjagtighedsklasse B. Ved de indledende test af ladepunkter blev det observeret, at de elmålere, der har været tilgængelige, overvejende har været klassificeret som klasse B. Dette er en af de væsentligste årsager til, at klasse B er valgt som reference i denne forundersøgelse.

Valget af målesystem i ladepunkter i klasse B bygger desuden på erfaringer fra andre anvendelsesområder, hvor denne nøjagtighedsklasse har vist sig at være velegnet. Anvendelse af klasse B-målesystemer giver en hensigtsmæssig balance mellem målenøjagtighed og driftssikkerhed. Klassen har vist sig tilstrækkeligt robust til at fungere stabilt under de givne driftsforhold uden hyppige overskridelser af den maksimalt tilladte målefejl.

Valget af klasse B-målesystemer bidrager derfor til at reducere behovet for unødige udskiftninger som følge af manglende overholdelse af nøjagtighedskrav. Samtidig sikres en høj grad af forbrugersikkerhed gennem pålidelige og retvisende målinger, der danner et fair og gennemsnitligt grundlag for afregning.

MPE

I det nye tillæg til MID (EU) 2026/706 af 11. marts 2026, som inkluderer målesystemer til forsyningsudstyr til elektriske køretøjer (MI-011), fremgår den maksimalt tilladte målefejl (Maximum Permissible Error, MPE) for målesystemer i ladepunkter inden ibrugtagning af følgende tekst:

For målesystem i ladepunktet i klasse B gælder der følgende maksimalt tilladte fejl under referenceforhold, hvor der ikke forekommer ydre påvirkninger som temperaturvariation, spændingsafvigelser eller frekvensændringer:

- Ved strøm mellem $I_{min} \leq I \leq I_{tr}$ må målefejlen maksimalt være $\pm 1,5\%$.
- Ved strøm mellem $I_{tr} \leq I \leq I_{max}$ må målefejlen maksimalt være $\pm 1,0\%$, uanset om belastningen er induktiv, resistiv eller kapacitiv.

Disse værdier repræsenterer målesystemets intrinsic error, dvs. den grundlæggende nøjagtighed uden indflydelse fra omgivelserne.

Det mest relevant at kigge på fejlen som ligger på $\pm 1,0\%$, da ladestrømmen i praksis ligger højere end I_{tr} det meste af tiden under opladning.

MMQ

Det nye tillæg til MID (EU) 2026/706 af 11. marts 2026, som inkluderer målesystemer til forsyningsudstyr til elektriske køretøjer (MI-011), kobler MPE tæt sammen med MMQ (Mindste Målte Kvantum):

- MMQ er den mindste energimængde målesystemet erklæres i stand til at måle med overholdelse af MPE.
- For AC-EVSE: $MMQ \leq 0,1 \text{ kWh}$
- For DC-EVSE: $MMQ \leq 1 \text{ kWh}$

Det betyder:

- energimængder under MMQ må ikke anvendes som retligt grundlag
- MPE-kravene gælder kun, hvis transaktionen er $\geq MMQ$

Driftsfejlgrænse

Der er på nuværende tidspunkt endnu ikke udarbejdet nationale regler for drift kontrol af ibrugtagende målesystem i ladepunkter, herunder driftsfejlgrænse. Derfor tager vi i forundersøgelsen udgangspunkt i § 11, stk. 4 i bekendtgørelse nr. 582 af 28. maj 2018² som omhandler forbrugsmålere bl.a. el måling, da vi vurderer at det er tæt beslægtet til netop dette. I resultat afsnittet nedenfor er driftsfejlgrænsen for elmålere på $\pm 1,5 \%$ indtegnet til sammenligning.

I henhold til § 11, stk. 4 i bekendtgørelse nr. 582 af 28. maj 2018 fastsættes driftsfejlgrænsen (brugstolerancen) til at være: 1,5 gange den tolerance (MPE), der var gældende, da elmålerne blev bragt i omsætning.

Fortolkning

Driftsfejlgrænsen angiver den maksimalt tilladte målefejl for elmålere i drift og er mindre lempelig end den generelle regel i bekendtgørelsen, som for andre måletyper fastsætter brugstolerancen til det dobbelte af den oprindelige tolerance.

F.eks. gælder for elmålere:

- Hvis et målesystem i ladepunkter ved markedsføring havde en MPE på $\pm 1,0 \%$,
- er den tilladte drift fejlgrænse i brug $\pm 1,5 \%$.

² Bekendtgørelse om anvendelse af måleinstrumenter til måling af forbrug af vand, gas, el eller varme:
<https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2018/582>

Resultater

Den nuværende tilstand på danske ladepunkter

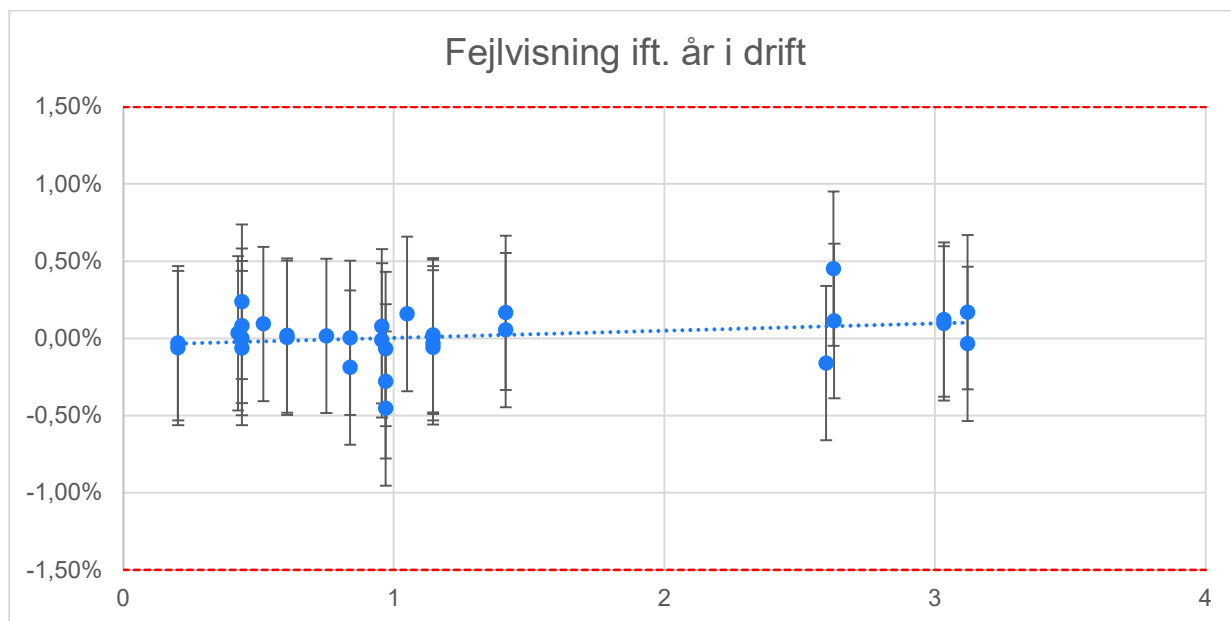
Den samlede almene tilstand for de testede ladestandere vurderes som god, med hensyn til fejlvisning. Hovedparten af målesystemerne er næsten nye, idet størstedelen af ladestanderne er opsat inden for de seneste par år. Dette betyder, at udstyret generelt er baseret på opdaterede teknologier, opfylder gældende standarder og endnu ikke er påvirket væsentligt af aldersrelateret slitage.

Fejlvisning af leveret energi (kWh) på AC-ladepunkter

Vi har kalibreret 35 AC-ladepunkter, fordelt på 5 forskellige typer (anonymiseret som 'A' til 'E'). Måleusikkerheden på resultaterne er $\pm 0,51\%$, jf. bilag 1.

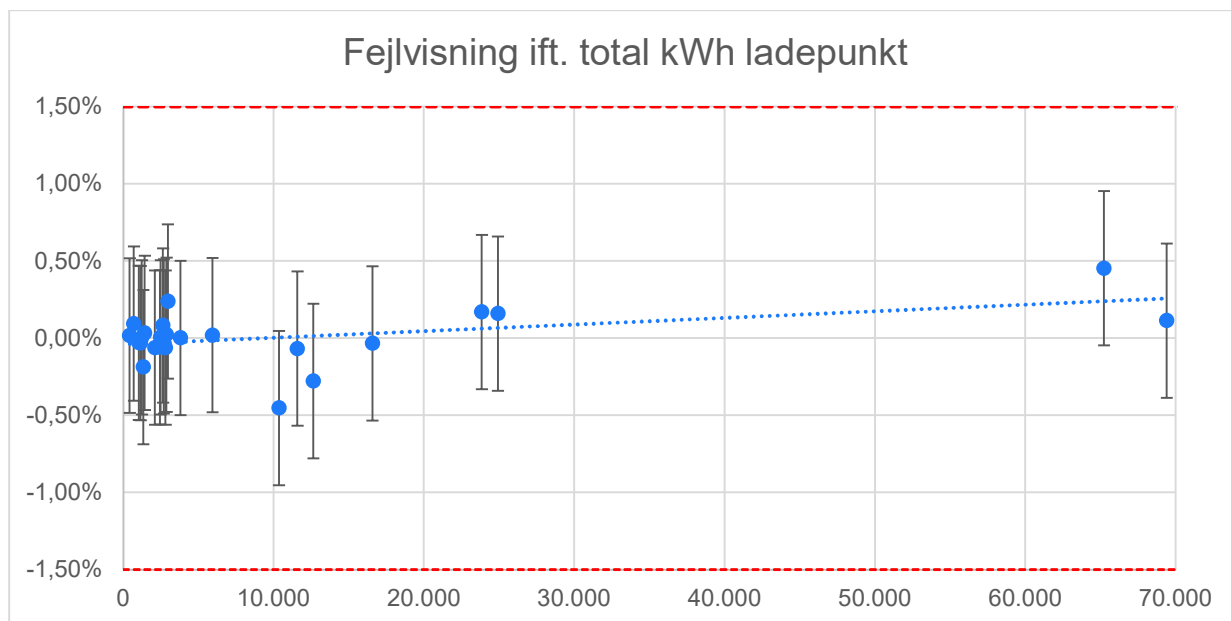
Model	Gennemsnitlig fejlvisning	Standardafvigelse fejlvisning
AC normallader type A	0,1%	0,2%
AC normallader type B	-0,1%	0,3%
AC normallader type C	0,0%	0,1%
AC normallader type D	-0,1%	0,1%
AC normallader type E	-0,1%	0,1%
	0,0%	0,2%

Som det fremgår af ovenstående tabel, er fejlvisningen på AC-ladepunkter meget lille. Samlet set favoriseres hverken forbrugere eller ladeoperatører. Standardafvigelsen indikerer at der ikke er stor forskel på fejlvisningerne på AC-ladepunkterne.



For at give mere indsigt i hvordan fejlvisningen udvikler sig i forhold til aldersbaseret slitage, har vi plottet fejlvisningen på AC-ladepunkterne i forhold til hvor mange år de har været i brug. Ladeoperatørerne har oplyst installationsdato.

Der indtegnet en blå trendlinje, som viser at fejlvisningen er svagt stigende med alderen i de første driftsår.



Tilsvarende har vi undersøgt hvordan fejlvisningen udvikler sig i forhold til slitage. Vi har plottet fejlvisningen på AC-ladepunkterne i forhold til hvor meget energi (kWh) der totalt er blevet opladet på ladepunkterne. Vi har medtaget de AC-ladepunkter, hvor vi kunne aflæse total kWh på en indbygget elmåler

Der indtegnet en blå trendlinje, som kan indikere at fejlvisningen er svagt stigende med brugen.

Fejlvisning af leveret energi (kWh) på DC-ladepunkter

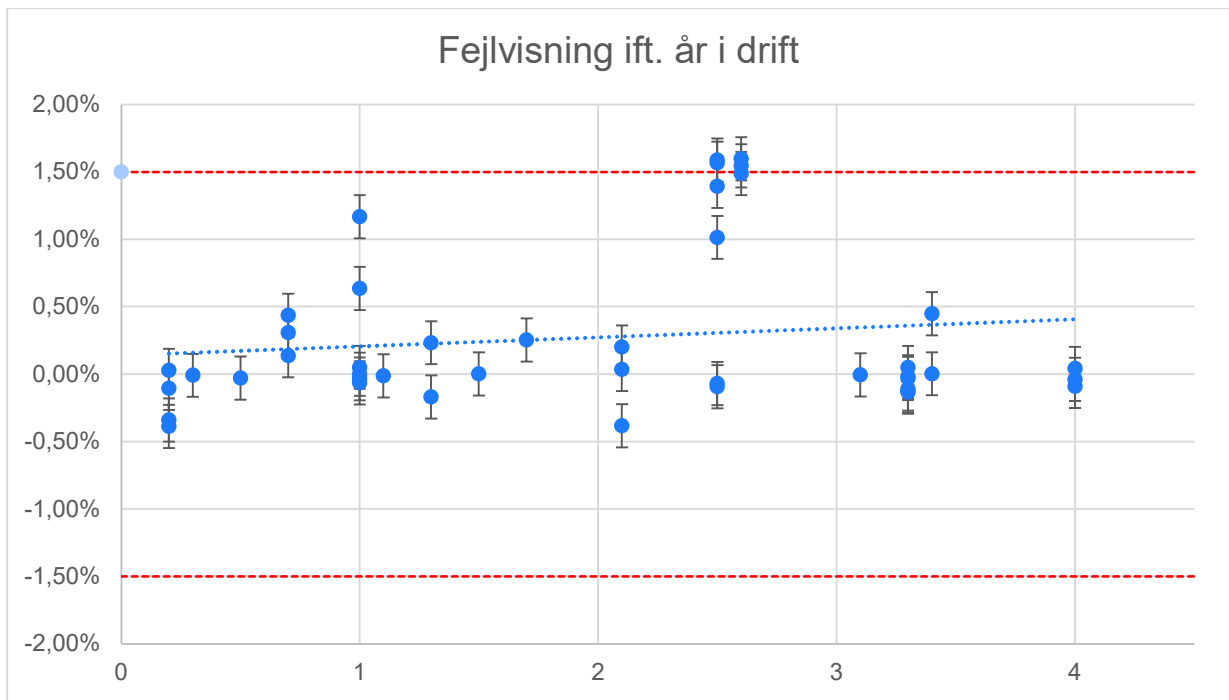
Vi har kalibreret 45 DC-ladepunkter, fordelt på 7 forskellige typer (anonymiseret som 'F' til 'L'). Måleusikkerheden på resultaterne er $\pm 0,18\%$, jf. bilag 1.

Model	Gennemsnitlig fejlvisning	Standardafvigelse fejlvisning
DC hurtiglader type F	0,6%	0,5%
DC hurtiglader type G	1,5%	0,2%
	1,0%	0,6%
DC lynlader type H	0,1%	0,1%
DC lynlader type I	0,0%	0,0%
DC lynlader type J	0,0%	0,0%
DC lynlader type K	0,0%	0,1%
DC lynlader type L	-0,2%	0,2%
	0,0%	0,1%

Som det fremgår af ovenstående tabel, er der væsentlige forskelle på fejlvisningen på DC-ladepunkter.

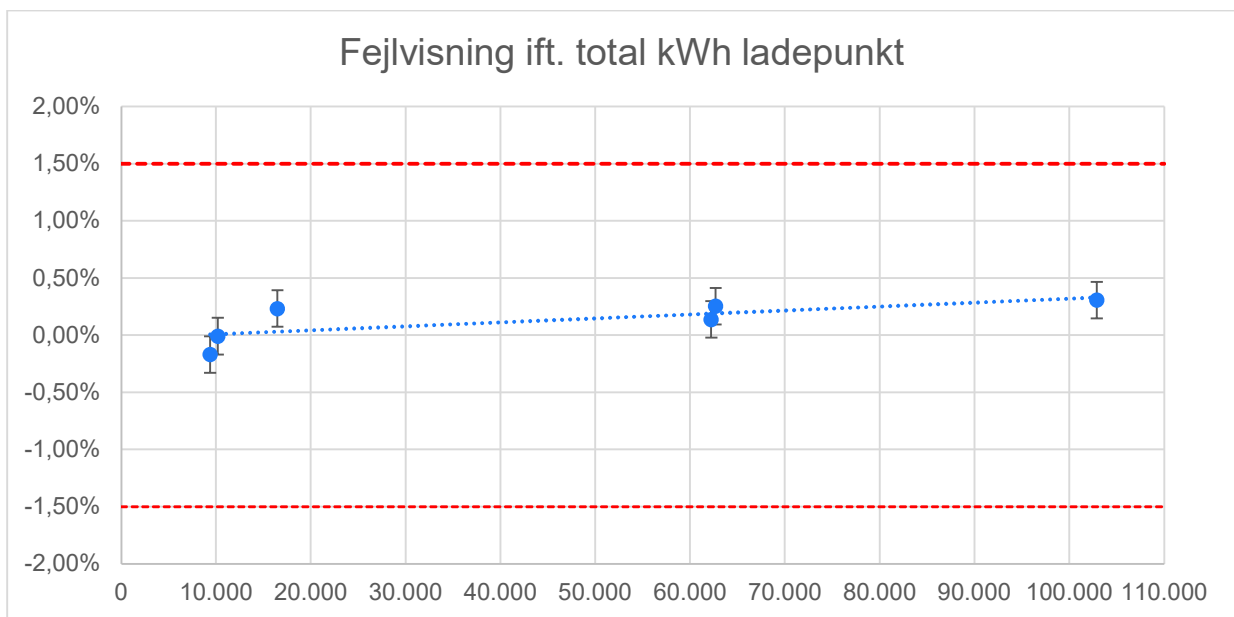
På DC hurtigladere er der konstateret væsentlige fejlvisninger. Fejlvisningen på 'type F' målepunkter ligger fra 0,0 % til 1,2 % og fejlvisningen på 'type G' målepunkter ligger fra 1,0 % til 1,6 %. Disse ladepunkter er opsat indenfor de seneste 3 år.

Modsat har DC lynladerne meget lille fejlvisning, hvor hverken forbrugere eller ladeoperatører favoriseres. Standardafvigelsen indikerer, at der ikke er stor forskel på fejlvisningerne på DC lynladerne.



For at give mere indsigt i hvordan fejlvisningen udvikler sig i forhold til aldersbaseret slitage, har vi plottet fejlvisningen på DC-ladepunkterne i forhold til hvor mange år de har været i brug. Ladeoperatørerne har oplyst installationsdato.

Der indtegnet en blå trendlinje, som viser at fejlvisningen er stigende med alderen i de første driftsår.



Tilsvarende har vi undersøgt hvordan fejlvisningen udvikler sig i forhold til slitage. Vi har plottet fejlvisningen på DC-ladepunkterne i forhold til hvor meget energi (kWh) der totalt er blevet opladet på ladepunkterne. Vi har medtaget de få DC-ladepunkter, hvor vi kunne aflæse total kWh på en indbygget elmåler

Der indtegnet en blå trendlinje, som kan indikere at fejlvisningen er betydeligt stigende med brugen, dog med forbehold for det meget lille datasæt, som indgår.

Måleusikkerhed på on-site kalibreringer

Fejlvisningen \pm måleusikkerheden angiver det interval, som vi vurderer at fejlvisningen ligger indenfor. Følgende usikkerhedsbidrag indgår:

- Måleusikkerhed på referencemåler, inkl. temperaturpåvirkning og langtidsdrift
- Opløsning (antal decimaler) på referencemåler og ladestander
- Repeterbarhed og reproducerbarhed, inkl. temperaturpåvirkning af ladepunktets målesystem

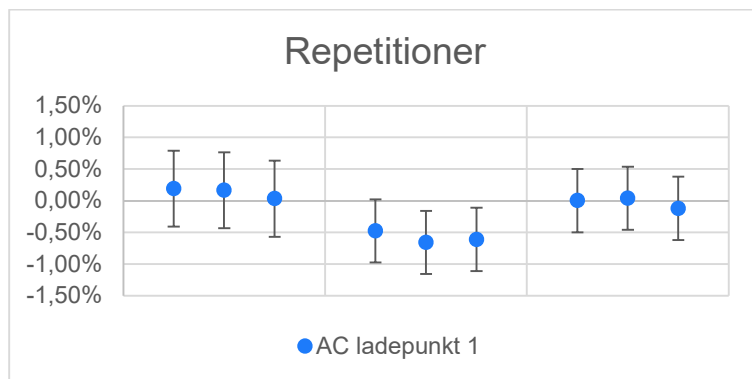
Det samlede usikkerhedsbudget er detaljeret beskrevet i bilag 1.

Fejlvisning på kort sigt, er primært relateret til driftsmæssige og miljømæssige påvirkninger snarere end permanent degradering af målesystemet. Disse forhold kan medføre midlertidige variationer i måleresultaterne, uden at den langsigtede nøjagtighed nødvendigvis påvirkes.

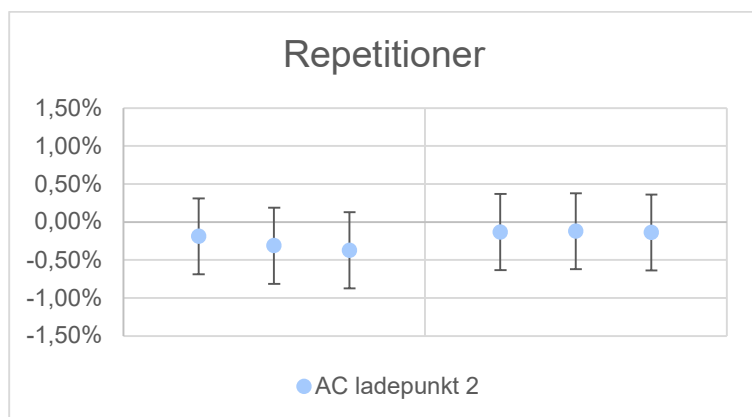
Herunder vises kalibreringsresultater for 2 AC-ladepunkter og 2 DC-ladepunkter (lynladere). De er hver blevet testet flere (ofte 3) gange i træk lige efter hinanden for at fastlægge repeterbarheden. Dette er blevet gentaget 2-3 gange, hvor der er gået nogle dage og hvor der er variationer i omgivelsestemperatur, ladehastighed og testkøretøj.

Reproducerbarheden inkluderer således både usikkerhedsbidrag fra testopstillingen og fra målesystemet, som ikke kan antages at have en konstant fejlvisning, bl.a. pga. temperaturpåvirkning.

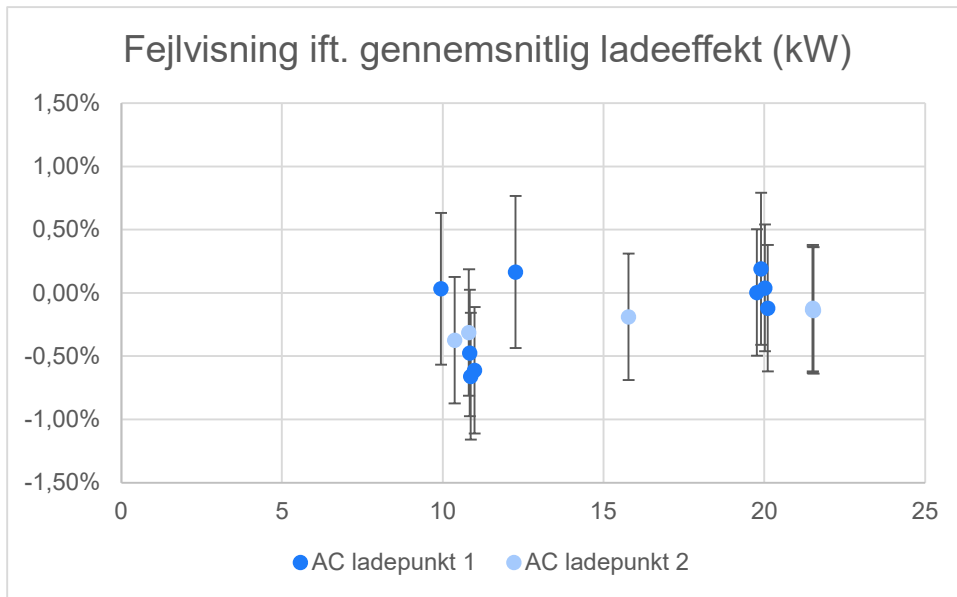
Repeterbarhed og reproducerbarhed på AC-ladepunkter



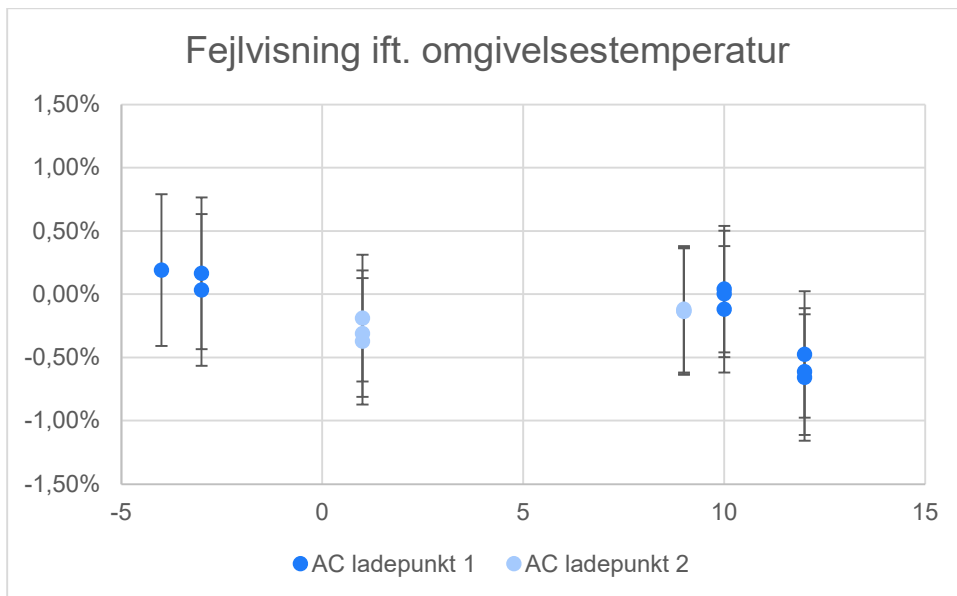
'AC ladepunkt 1' er blevet kalibreret 3 + 3 + 3 gange. Der er god repeterbarhed, mens der er større spredning når ladepunktet genkalibreres efter længere tid. Måleusikkerheden på de 3 første kalibreringer er øget til $\pm 0,58\%$, da de er foretaget i frostvejr, jf. bilag 1.



'AC ladepunkt 2' er blevet kalibreret 3 + 3 gange. Der er god repeterbarhed og reproducerbarhed.

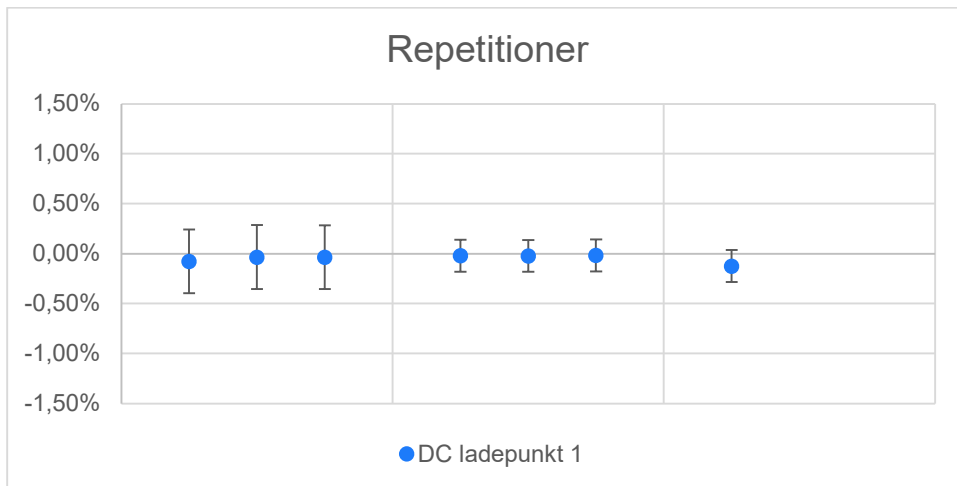


Vi har undersøgt om der er en tydelig sammenhæng imellem fejlvisning og ladeeffekt (kW). Dette ser ikke ud til at være tilfældet. Ladepunkternes maksimale effekt var 22 kW.

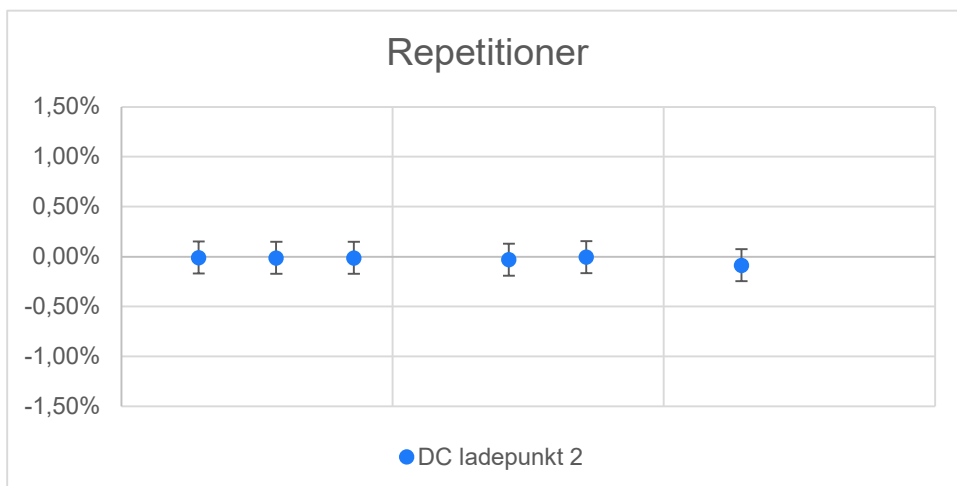


Tilsvarende har vi undersøgt om der er en tydelig sammenhæng imellem fejlvisning og omgivelsestemperaturen. Dette ser heller ikke ud til at være tilfældet. Vi har brugt omgivelsestemperaturen, da vi ikke har data på målesystemets temperatur.

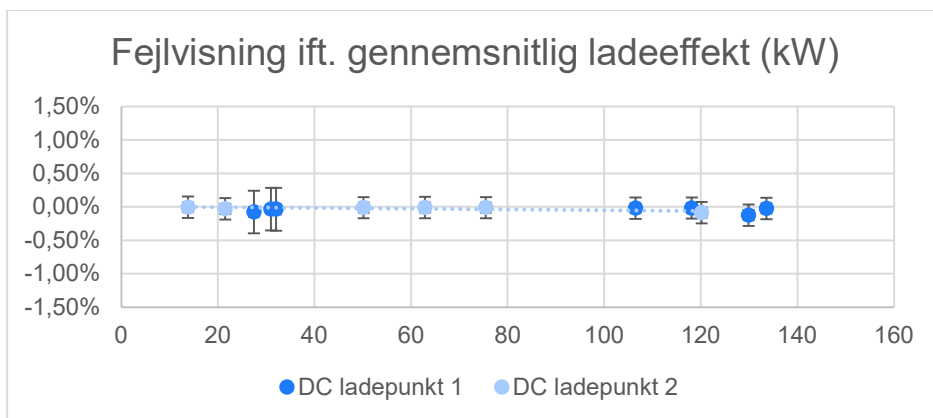
Måleusikkerhed på DC-ladepunkter



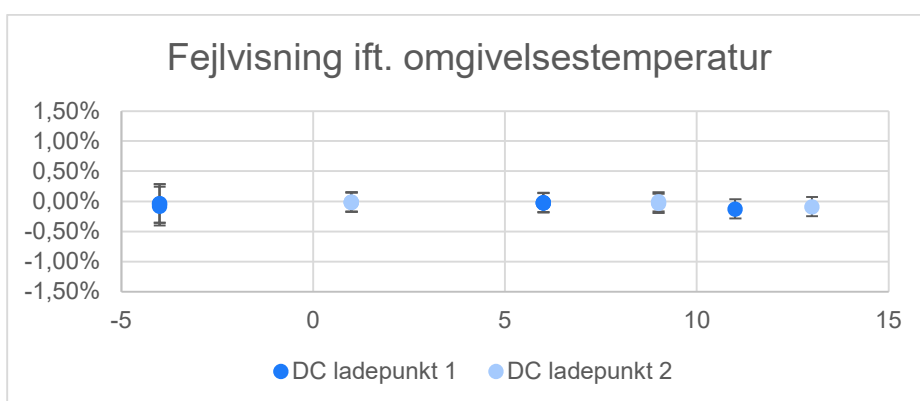
'DC ladepunkt 1' er blevet kalibreret 3 + 3 + 1 gange. Der er rigtig god repeterbarhed og reproducerbarhed. Måleusikkerheden på de 3 første kalibreringer er øget til $\pm 0,33\%$, da de er foretaget i frostvejr, jf. bilag 1.



'DC ladepunkt 2' er blevet kalibreret 3 + 2 + 1 gange. Der er rigtig god repeterbarhed og reproducerbarhed.



Vi har undersøgt om der er en tydelig sammenhæng imellem fejlvisning og ladeeffekt (kW). Dette ser ikke ud til at være tilfældet. Ladepunkterne maksimale effekt var henholdsvis 300 kW og 400 kW.



Tilsvarende har vi undersøgt om der er en tydelig sammenhæng imellem fejlvisning og omgivelsestemperaturen. Dette ser heller ikke ud til at være tilfældet. Vi har brugt omgivelsestemperaturen, da vi ikke har data på målesystemets temperatur.

Disse resultater er overraskende, da vi havde en hypotese om at høj ladeeffekt og høje temperaturer i målesystemet på DC-lade punkter ville øge fejlvisningen.

Typeangivelse

I forbindelse med on-site kalibreringerne har vi aflæst typeangivelsen på typepladen (nameplate). Vi har konstateret at de er synlige på alle installerede ladestander.

Den eneste undtagelse er, at når to AC-lade punkter sammenbygges i én ladestander, som er omkranset af en fælles metalstander/ladesøjle, kan typepladen på selve ladeudstyret blive helt eller delvist skjult. Dette skyldes, at ladeenhederne var monteret inde i konstruktionen, hvor den ydre kapsling dækkede de oprindelige mærkninger.

Konsekvensen er, at obligatoriske oplysninger såsom:

- producent
- model/typebetegnelse
- serienummer
- elektriske data (spænding, strøm, effekt)

ikke er umiddelbart tilgængelige eller synlige uden adskillelse af standeren. Dette kan give udfordringer i forbindelse med tilsyn, service, fejlsøgning og dokumentation, samt i forhold til overholdelse af gældende standarder og myndighedskrav.

Konklusion

Forundersøgelsen viser, at fejlvisningen på målesystemer i offentlige ladestandere i Danmark generelt er lav, og at hovedparten af de undersøgte ladepunkter måler den leverede energi med en nøjagtighed, der overholder kravene til nøjagtighedsklasse B. Især AC-ladepunkter og DC-lynladere udviser små og balancerede fejlvisninger, hvor hverken forbrugere eller ladeoperatører systematisk favoriseres.

Undersøgelsen afdækker samtidig, at der på visse DC-hurtigludere forekommer markant større fejlvisninger, også på relativt nye installationer. Dette peger på, at målesystemernes metrologiske ydeevne i disse typer bør tillægges særlig opmærksomhed i kommende regler for drift, kontrol og egenkontrol.

Datagrundlaget indikerer, at fejlvisningen har en tendens til at stige svagt med både alder og samlet leveret energimængde, men at denne sammenhæng har en betydelig usikkerhed som følge af det begrænsede antal ældre og langvarigt anvendte ladepunkter i undersøgelsen. Dette understreger behovet for opfølgende målinger over tid.

Forundersøgelsen udgør dermed et væsentligt første skridt mod en ensartet og veldokumenteret regulering af ibrugtagne målesystemer i ladepunkter og bidrager med konkret erfaringsgrundlag til den videre implementering af det udvidede måleinstrumentdirektiv (MID) i dansk kontekst.

Anbefalinger

På baggrund af forundersøgelsen anbefales følgende tiltag:

1. Indfør nationale regler for målesystemer i drift

Det anbefales, at Danmark hurtigst muligt fastlægger **nationale regler for kontrol af idriftsatte målesystemer i ladestandere**, i forlængelse af udvidelsen af måleinstrumentdirektivet (MID). Reglerne bør sikre ensartet forbrugerbeskyttelse, klar ansvarsplacering hos instrumentejere/operatører og forudsigelighed for markedet. Manglende nationale regler indebærer en risiko for uens praksis og svækket tillid til afregningen.

2. Anvend risikobaseret egenkontrol

Instrumentejere/operatører bør etablere **risikobaseret egenkontrol**, hvor alle DC-laderstandere løbende kontrolleres og AC-ladestandere stikprøve-kontrolleres. Indledningsvis bør et repræsentativt udsnit af hver ladestander type kontrolleres.

3. Inkluder alle ladestandere i egenkontrollen – også nuværende ikke-MID-godkendte

Fra et forbrugerperspektiv er der ingen forskel på MID- og ikke-MID-godkendte ladestandere. Det anbefales derfor, at ikke-MID godkendte ladestandere testes frivilligt, så **alle ibrugtagne ladestandere** er med i egenkontrollen – uanset historisk godkendelsesgrundlag og myndighedskrav.

4. Fastlæg en entydig driftsfejlgrænse

Som udgangspunkt vurderes **en driftsfejlgrænse på minimum $\pm 2,0\%$** ($2 \times \text{MPE}$ for klasse B) som et rimeligt og pragmatisk niveau for on-site kontroller under realistiske driftsforhold. En entydig driftsfejlgrænse for målesystemer i brug er afgørende for håndhævelse og retssikkerhed.

5. Kræv uafhængig og akkrediteret on-site kalibrering

Det anbefales, at fremtidig kontrol baseres på **on-site kalibrering af installerede ladestandere**, udført af **ISO 17025-akkrediterede** tredjeparter. Dette sikrer uvildighed, sporbarhed og teknisk sammenlignelighed på tværs af operatører.

6. Følg udviklingen over tid

De fleste ladestandere i Danmark er fortsat nye. Det anbefales derfor at **gennemføre opfølgende undersøgelser** om 2–3 år, som inkluderer ældre og intensivt anvendte ladestandere. De bør testes under høje temperaturer og maksimale effekter.

Bilag 1: Usikkerhedsbudget

Et usikkerhedsbudget er en systematisk opgørelse af alle væsentlige bidrag til usikkerheden i en måling. Det beskriver, hvilke fejlkilder der indgår, hvor store de er, og hvordan de kombineres til én samlet måleusikkerhed (typisk angivet med en dækningsfaktor, fx $k = 2$).

Usikkerhedsbidrag

Kalibrering af AC-ladepunkt

1. Reference måler med AC-adapter

$$U_{\text{måler}} = 0,1\%$$

Ovenstående usikkerhed til Reference måler med AC-adapter er ifølge PWS 3.3 GenX datablad.

2. Temperaturpåvirkning for reference måler

Referenceudstyret kan anvendes inden for et temperaturområde fra -10 °C til $+50\text{ °C}$. Da temperaturen ikke registreres ved hver måling, er der i vurderingen taget udgangspunkt i det værste tænkelige scenarie, så hele temperaturområdet er dækket.

a. Temperatur koefficient fra -10 °C - $+50\text{ °C}$

Hvis vi tager udgangspunkt i det værste scenarie som kan opstå ved nedenstående temperatur koefficient, samt temperaturen er ved -10 °C .

Ifølge databladet er referenceudstyret er kalibreret ved 23 °C .

Temperatur koefficienten ved -10 °C - $+50\text{ °C}$ er: $0,008\%$ pr °C

$$U_{\text{temp.1}} = (23 - (-10)) * 0,008 = 0,264\%$$

Hvis anden anvendelse området indskrænkes til andet temperaturområde 0 °C - $+40\text{ °C}$, kan der opnås væsentlig lavere usikkerhedsbidrag.

b. Temperatur koefficient fra 0 °C - $+40\text{ °C}$

Hvis vi tager udgangspunkt i det værste scenarie som kan opstå ved nedenstående temperatur koefficient, samt temperaturen er ved 0 °C .

Udstyret er kalibreret ved 23 °C .

Temperatur koefficienten ved 0 °C - $+40\text{ °C}$ er: $0,005\%$ pr °C

$$U_{\text{temp.2}} = (23 - 0) * 0,005 = 0,115\%$$

Ovenstående usikkerhed til Reference måler er ifølge PWS 3.3 GenX datablad.

3. Drift af reference instrument siden kalibrering

Hvis vi igen tager udgangspunkt i det værste scenarie der kan opstå, og udstyret skal kalibreres årligt.

Så er $U_{\text{drift}} = 0,016\%$

Ovenstående usikkerhed til Reference måler med AC-adapter er ifølge PWS 3.3 GenX datablad.

4. Repeterbarhed

Repeaterbarhed beskriver et målesystems evne til at give samme måleresultat ved gentagne målinger under uændrede forhold.

Vi har udført 3 målinger på samme ladepunkt i træk

Ud fra gentagende måling i træk på 2 forskellige AC-ladepunkter, har vi fået en std. afv. på op til $0,09\%$, vi sætter derfor usikkerhedsbidraget $U_{\text{rep}} = 0,1\%$. Anvender t -fordeling med dækningsfaktor $2,37$.

5. Reproducerbarhed

Reproducerbarhed er et målesystems evne til at give samme resultat, når målingen gentages under ændrede forhold, fx med andet udstyr, anden operatør eller på et andet tidspunkt.

Vi har udført målinger på samme ladepunkt på forskellige tidspunkter, omgivelser temperaturer og ladeeffekt kW, (og køretøj)

Ud fra gentagende måling på 2 forskellige AC-ladepunkter på forskellige dage, har vi fået en std. afv. på op til 0,37 %, vi sætter derfor usikkerhedsbidraget $u_{reprp} = 0,4\%$

Målingerne er udført om foråret ved relativt lave temperaturer, så vi har ikke haft nogen særlig stor varmepåvirkning af målesystemet i ladepunktet. Vi formoder at om sommeren ved højere temperaturer vil varmepåvirkningen af målesystemet i ladepunktet være større og derfor give et højere usikkerhedsbidrag.

6. Antal decimaler DUT og REF

Hvis vi tager udgangspunkt i DUT, har 3 decimaler og at REF har 6 decimaler. Vi tager udgangspunkt i at der bliver afmålt 5 kWh som tidligere nævnt i rapporten.

Så er $u_{dut} = 0,02\%$

Så er $u_{ref} = 0,00002\%$

Samlet oversigt over usikkerhedsbidrag:

Bidrag	Usikkerhedsbidrag	Fordeling	Std. usikkerhedsbidrag
U_{måler}	0,10 %	Normal	$U_{måler}/2 = 0,05\%$
U_{temp.1}	0,264 %	Rektangulær	$\frac{u_{temp.1}}{\sqrt{3}} = 0,15\%$
U_{temp.2}	0,115 %	Rektangulær	$\frac{u_{temp.2}}{\sqrt{3}} = 0,06\%$
U_{drift}	0,016 %	Rektangulær	$\frac{u_{drift}}{\sqrt{3}} = 0,009\%$
U_{rep}	0,1 %	Type A (n=9)	$\frac{u_{rep} \cdot 2,37}{\sqrt{3} \cdot 2} = 0,068\%$
U_{repro}	0,4 %	Rektangulær	$\frac{u_{repro}}{\sqrt{3}} = 0,23\%$
U_{dut}	0,02 %	Rektangulær	$\frac{u_{dut}}{\sqrt{3}} = 0,012\%$
U_{ref}	0,00002 %	Rektangulær	$\frac{u_{ref}}{\sqrt{3}} = 0,00001\%$

Kalibrering af DC-ladepunkt

1. Reference måler med DC-adapter

$U_{måler} = 0,1\%$

Ovenstående usikkerhed til Reference måler med DC-adapter er ifølge PWS 3.3 GenX datablad.

2. Temperaturpåvirkning for reference måler

Referenceudstyret kan anvendes inden for et temperaturområde fra -10 °C til +50 °C. Da temperaturen ikke registreres ved hver måling, er der i vurderingen taget udgangspunkt i det værste tænkelige scenarie, så hele temperaturens påvirkningsområde er dækket.

a. Temperatur koefficient fra -10°C - +50°C

Hvis vi tager udgangspunkt i det værste scenarie som kan opstå ved nedenstående temperatur koefficient, samt temperaturen er ved -10 °C.

Ifølge databladet er referenceudstyret er kalibreret ved 23 °C.

Temperatur koefficienten ved -10°C - +50°C er: 0,008% pr °C

$u_{temp.1} = (23 - (-10)) \cdot 0,008 = 0,264\%$

Hvis anden anvendelse området indskrænkes til andet temperaturområde 0°C - +40°C, kan der opnås væsentlig lavere usikkerhedsbidrag.

b. Temperatur koefficient fra 0°C - +40°C

Hvis vi tager udgangspunkt i det værste scenarie som kan opstå ved nedenstående temperatur koefficient, samt temperaturen er ved 0 °C.

Udstyret er kalibreret ved 23 °C.
 Temperatur koefficienten ved 0°C - +40°C er: 0,005% pr °C

$$U_{temp.2} = (23-0) \cdot 0,005 = 0,115\%$$

Ovenstående usikkerhed til Reference måler er ifølge PWS 3.3 GenX datablad.

3. Drift af reference instrument siden kalibrering

Hvis vi igen tager udgangspunkt i det værste scenarie der kan opstå, og udstyret skal kalibreres årligt.

Så er $u_{drift} = 0,016\%$

Ovenstående usikkerhed til Reference måler med DC-adapter er ifølge PWS 3.3 GenX datablad.

4. Reperterbarhed

Reperterbarhed beskriver et målesystems evne til at give samme måleresultat ved gentagne målinger under uændrede forhold.

Vi har udført 3 målinger på samme ladepunkt i træk

Ud fra gentagende måling i træk på 2 forskellige AC-ladepunkter, har vi fået en std. afv. på op til 0,02 %, vi sætter derfor usikkerhedsbidraget $u_{rep} = 0,02\%$. Anvender t -fordeling med dækningsfaktor 2,37.

5. Reproducerbarhed

Reproducerbarhed er et målesystems evne til at give samme resultat, når målingen gentages under ændrede forhold, fx med andet udstyr, anden operatør eller på et andet tidspunkt.

Vi har udført målinger på samme ladepunkt på forskellige tidspunkter, omgivelses temperaturer og ladeeffekt kW, (og køretøj)

Ud fra gentagende måling på 2 forskellige AC-ladepunkter på forskellige dage, har vi fået en std. afv. på op til 0,05 %, vi sætter derfor usikkerhedsbidraget $u_{repr} = 0,05\%$

Målingerne er udført om foråret ved relativt lave temperaturer, så vi har ikke haft nogen særlig stor varmepåvirkning af målesystemet i ladepunktet. Vi formoder at om sommeren ved højere temperaturer vil varmepåvirkningen af målesystemet i ladepunktet være større og derfor give et højere usikkerhedsbidrag.

6. Antal decimaler DUT og REF

Hvis vi tager udgangspunkt i DUT, har 3 decimaler og at REF har 6 decimaler. Vi tager udgangspunkt i at der bliver afmålt 5 kWh som tidligere nævnt i rapporten.

Så er $u_{dut} = 0,02\%$

Så er $u_{ref} = 0,00002\%$

Samlet oversigt over usikkerhedsbidrag:

Bidrag	Usikkerhedsbidrag	Fordeling	Std. usikkerhedsbidrag
$U_{måler}$	0,10 %	Normal	$U_{måler}/2 = 0,05\%$
$U_{temp.1}$	0,264 %	Rektangulær	$\frac{u_{temp.1}}{\sqrt{3}} = 0,15\%$
$U_{temp.2}$	0,115 %	Rektangulær	$\frac{u_{temp.2}}{\sqrt{3}} = 0,06\%$
U_{drift}	0,016 %	Rektangulær	$\frac{u_{drift}}{\sqrt{3}} = 0,009\%$
U_{rep}	0,02 %	Type A (n=3)	$\frac{u_{rep}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2,37}{2} = 0,014\%$
U_{repro}	0,05 %	Rektangulær	$\frac{u_{repro}}{\sqrt{3}} = 0,03\%$
U_{dut}	0,02 %	Rektangulær	$\frac{u_{dut}}{\sqrt{3}} = 0,012\%$
U_{ref}	0,00002 %	Rektangulær	$\frac{u_{ref}}{\sqrt{3}} = 0,00001\%$

Samlet usikkerhedsbudget

Kalibrering af AC-ladepunkt -10 °C til +50 °C.

Kvadratisk sammensætning

Den usikkerheds er ved når referenceudstyret kan anvendes inden for et temperaturområde fra -10 °C til +50 °C.

$$u_{total} = \sqrt{0,05^2 + 0,15^2 + 0,009^2 + 0,068^2 + 0,23^2 + 0,012^2 + 0,00001^2}$$

$$u_{total} = 0,29 \%$$

Udvidet usikkerhed (k = 2). Ved dokumentation anvendes k = 2 (≈95 %):

$$U = 2 * u_{total} = 2 * 0,29 \% = \underline{0,58 \%}$$

Kalibrering af AC-ladepunkt 0 °C til +40 °C.

Kvadratisk sammensætning

Den usikkerheds er ved når referenceudstyret kan anvendes inden for et temperaturområde fra 0 °C til +40 °C.

$$u_{total} = \sqrt{0,05^2 + 0,07^2 + 0,009^2 + 0,068^2 + 0,23^2 + 0,012^2 + 0,00001^2}$$

$$u_{total} = 0,255 \%$$

Udvidet usikkerhed (k = 2)

Ved dokumentation anvendes k = 2 (≈95 %):

$$U = 2 * u_{total} = 2 * 0,255 \% = \underline{0,51 \%}$$

Kalibrering af DC-ladepunkt -10 °C til +50 °C.

Kvadratisk sammensætning

Den usikkerheds er ved når referenceudstyret kan anvendes inden for et temperaturområde fra -10 °C til +50 °C.

$$u_{total} = \sqrt{0,05^2 + 0,15^2 + 0,009^2 + 0,014^2 + 0,03^2 + 0,012^2 + 0,00001^2}$$

$$u_{total} = 0,164 \%$$

Udvidet usikkerhed (k = 2). Ved dokumentation anvendes k = 2 (≈95 %):

$$U = 2 * u_{total} = 2 * 0,164 = \underline{0,33 \%}$$

Kalibrering af DC-ladepunkt 0 °C til +40 °C.

Kvadratisk sammensætning

Den usikkerheds er ved når referenceudstyret kan anvendes inden for et temperaturområde fra 0 °C til +40 °C.

$$u_{total} = \sqrt{0,05^2 + 0,07^2 + 0,009^2 + 0,011^2 + 0,03^2 + 0,006^2 + 0,000005^2}$$

$$u_{total} = 0,090 \%$$

Udvidet usikkerhed (k = 2). Ved dokumentation anvendes k = 2 (≈95 %):

$$U = 2 * u_{total} = 2 * 0,09 \% = \underline{0,18 \%}$$

Forfattere / Kontakt

Brian Kirstein Ramsgaard

Specialist

Liquid Flow & Type Approval

FORCE Technology, 6600 Vejen

Mail: bkra@forcetechnology.com

Jannik Gedtek Lethan

Specialist

Liquid Flow & Type Approval

FORCE Technology, 2605 Brøndby

Mail: jgle@forcetechnology.com