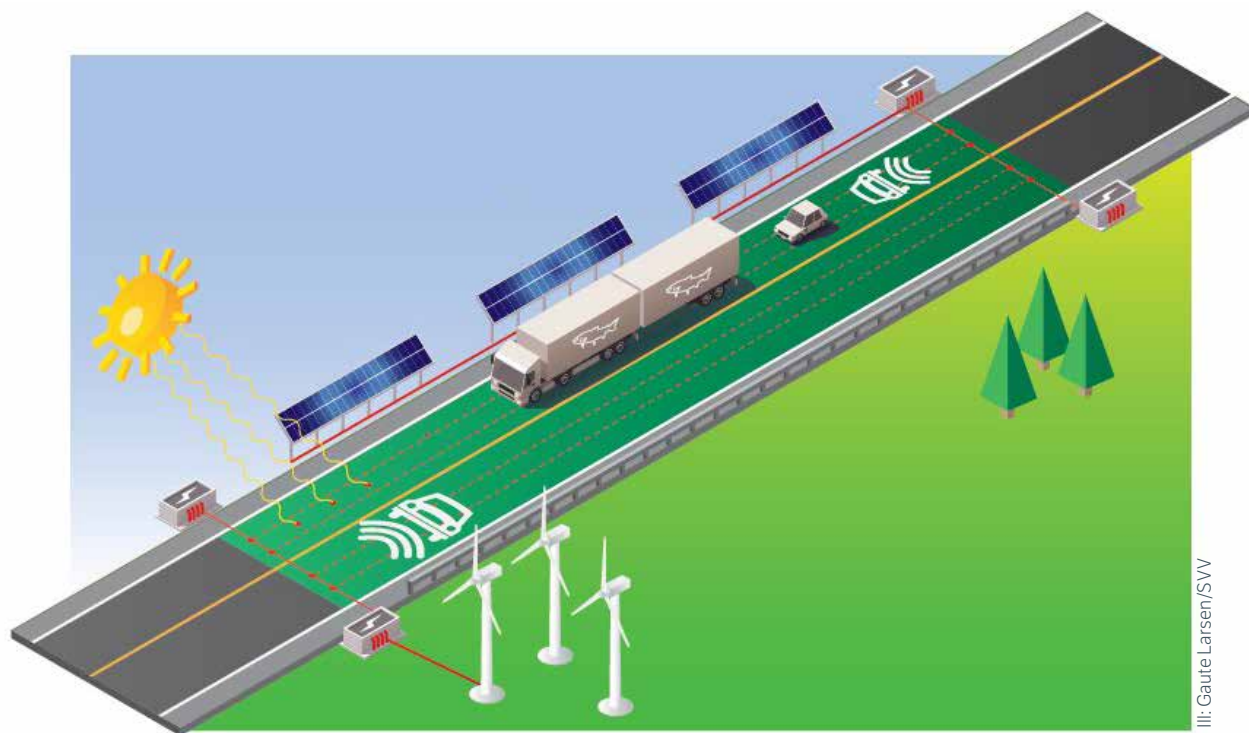




Elektrisk infrastruktur for godstransport

# **Elektrisk veg i Norge?**

## Oppsummering av en konseptanalyse



#### FORFATTERE

Oluf Langhelle    Universitetet i Stavanger  
Rolf Bohne        NTNU  
Tom E. Nørbech    Statens vegvesen vegdirektoratet

2018

## Sammendrag og hovedkonklusjoner

- ELinGO fokuserer på den store x-en i transportskiftet – godstransport på veg. Formålet med ELinGO har vært å gjøre en bred konseptanalyse for elektrifisering av den tunge godstransporten på veg i Norge.
- Prosjektet har sett nærmere på ulike teknologiske løsninger for elektrisk veg (luftledning, skinne i veien og induktiv lading) samt ulike aspekter ved økonomi, samfunn og klimaeffekter knyttet til realisering av slike løsninger.
- I utgangspunktet har prosjektet brukt E39 som case, men som konsept har prosjektet relevans for veger over hele landet.
- Utgangspunktet for ELinGO er 1) at Norge har satt seg ambisiøse klimamål for transportsektoren og at klimagassutslippene skal ned, og det raskt fram mot 2030, og 2) at det er forventet en kraftig vekst og doubling av godstransport på veg fram mot 2050.
- Selv om det nå er i ferd med å utvikles nye batteri- og hydrogenløsninger for tungtransporten har elektrisk veg klare fordeler sammenlignet med disse. Hydrogen krever tre ganger så mye energi og rene batteriløsninger vil være store, tunge og kostbare.
- Elektrisk veg kan være en effektiv måte å redusere utslippene fra godstransport på veg:
  - Kjøreledning er relativt moden teknologi som kan implementeres relativt raskt og gi store utslippsreduksjoner.
  - Elektrisk veg reduserer behovet for store batterier, stasjonær ladeinfrastruktur og fjerner køproblematikk ved lading.
  - Elektrisk veg er godt tilpasset en automatisert framtid.
- Elektrisk veg kan være en billig måte å redusere utslippene fra godstransport på veg:
  - Livsløpsanalysen tyder på at man vil få et gunstig klimagassregnskap ved å bygge elektrisk veg i Norge.
  - Nytte-kostnadsanalysen tyder på at det samfunnsøkonomiske regnskapet kan gå opp med de trafikkfallene vi forventer for tiårene framover.
  - Tiltakskostnadene tilsier at elektrisk veg kan være et svært gunstig alternativ sammenliknet med andre alternativer for å kutte klimagassutslipp fra den tunge godstransporten.
- På flere vegstrekninger i Norge faller tiltakskostnadene inn under det Miljødirektoratet plasserer i tiltaksklasse 1, med tiltakskostnader «under 500 kr/tonn» som er den laveste kostnadskategorien. Blant annet:
  - Den sørligste delen av E39 fra Stavanger til Kristiansand har godt trafikkgrunnlag og er allerede i dag innen rammen av tiltaksklasse 1.
  - Oslo–Trondheim har også et godt trafikkgrunnlag og ligger allerede i dag innen tiltaksklasse 1.
- Det er satt i gang demonstrasjonsprosjekter i både Sverige og Tyskland som nå også samarbeider om å løfte elektrisk veg opp på Europeisk nivå. Det bør vurderes å etablere ett eller flere demonstrasjonsprosjekter for elektrisk veg også i Norge.

## Innhold

<b>Sammendrag og hovedkonklusjoner</b>	<b>3</b>
<b>Hvorfor ELinGO?</b>	<b>5</b>
<b>Hvorfor elektrisk veg?</b>	<b>7</b>
<b>De tre ulike elvegsteknologiene</b>	<b>8</b>
Kjøreledning	9
Skinne	9
Induktiv	10
Grunnleggende fordeler, ulemper og fellestrekk ved de ulike teknologiene	11
<b>Effekt og energibehov</b>	<b>12</b>
<b>Regnskap – klimaeffekter, samfunnsøkonomi og tiltakskostnader</b>	<b>15</b>
Livsløpsanalyse	15
Nytte-kostnadsanalyse	18
Tiltakskostnader	20
Trafikktall (ÅDT) for tungtransport	23
<b>Konklusjoner teknologi, energi og regnskap</b>	<b>24</b>
<b>Vegen videre: Hva må til for å realisere elektrisk veg?</b>	<b>24</b>
Systemutfordringer	24
Lovverk – ingen hindring (vel og merke med godvilje)	25
Roller og ansvar – sentrale aktører	26

## Hvorfor ELinGO?

Norge har satt ambisiøse klimamål. Innen 2050 skal vi være et lavutslippssamfunn. Innen 2030 skal Norge være klimanøytralt og ha kuttet minst 40% av utslippene. Overfor EU har man forpliktet seg på at en stor andel av disse utslippskuttene skal tas innen ikke-kvotepliktig sektor. I praksis betyr det at Norge i årene framover må være forberedt på å ta store kutt i klimagassutslippene innenlands. Da kommer man ikke utenom store kutt i transportsektoren. Samtidig viser Nasjonal Transportplan 2018–2029 (NTP) at vi ligger an til å nesten doble mengden godstransporten på veg i tiden fram til 2050.

For at trafikkveksten ikke skal komme i veien for oppnåelse av klimamål har regjeringen signalisert at man ønsker å stimulere til et taktskifte for hurtigere innfasing av utslippsfri teknologi. I henhold til NTP skal det legges til rette for at norsk godstransport utvikles slik at den kan bidra til det grønne skiftet, og man har satt helt konkrete mål om at innen 2030 skal alle nye tyngre varebiler og 50 prosent av nye lastebiler være utslippsfrie.

Teknologiske løsninger for utslippsfrie lette kjøretøy er nå klare, og Norge ligger fremst i omstillingen gjennom sterke insentiver for kjøp av utslippsfrie privatbiler. Men en stor og tung utfordring, i dobbelt forstand, er fortsatt et stykke unna å finne sin løsning: hvordan får man vekk klimagassutslippene fra langdistanse godstransport på veg? Dette er blitt kalt den store x-en i det grønne transportskiftet, hvor det er stor usikkerhet knyttet til teknologiske gjennombrudd som kan rulles ut i stor skala. Til nå har man fokusert på ulike alternativer som har til felles at kjøretøyet har med seg energien som trengs om bord. Hydrogen og ulike varianter av biodrivstoff har vært regnet som de mest aktuelle alternativene.

Dette prosjektet, «Elektrisk infrastruktur for godstransport», forkortet til «ELinGO», er rettet mot denne store x-en i det grønne transportskiftet. Som tittelen tilsier har vi her hatt fokus på elektriske løsninger for tungtransport over lengre distanser. Nærmere bestemt har vi fokusert på elektrisk veg, forstått som en veginfrastruktur hvor strøm tilføres kjøretøy i fart. Dette er et løsningsalternativ som har fått relativt lite oppmerksomhet og nesten ikke har vært forsket på i norsk sammenheng.

Her har vi fulgt tre teknologiske hovedspor:

- kjøreledning over vegbanen.
- skinne i vegbanen.
- trådløs overføring.

Studiet har vært en konseptanalyse hvor man i hovedsak har analysert teknologi, klimaeffekter, kostnader og samfunnsmessige rammebetingelser for realisering av elektriske vegkonsepter i Norge. ELinGO har ikke gjennomført konkrete demonstrasjonsaktiviteter (med unntak av et lite forsøk, se appendix II).



**Figur 1: E39 fra Trondheim til Kristiansand**

E39 ble valgt som case for analysene. Her skal det bygges mange nye vegstrekninger de nærmeste årene med gode muligheter for å implementere nye innovative løsninger for energiforsyning til gods-transport. Langs denne korridoren skjer mye av den norske verdiskapingen, både innen oppdrett, produksjon og verftsindustri. Mulighetene for jernbanetransport er fraværende på det meste av strekningen. Men selv om E39 er utgangspunktet for analysene, er resultatene likevel anvendelige for hele Norge.

Andre land satser nå på elektrisk veg. Sverige og Tyskland har inngått en avtale om å arbeide sammen for å fremme elektrisk vegløsninger også på europeisk nivå, og har flere demonstrasjonsprosjekter på gang. Dette kan få betydning for viktige transportkorridorer for eksport av norske varer og for norsk godstransport.



Foto: Scania.com (Creative Commons Liscense 3.0)

## Hvorfor elektrisk veg?

Endringsdynamikken innen elektrifisering er for tiden stor. Flere store bilprodusenter, som Volvo, BYD og Tesla har vist fram tunge elektriske kjøretøy som de arbeider med å bringe ut i markedet. Foreløpig dreier det seg i all hovedsak om kjøretøy som er på konseptstadiet. Med unntak av Tesla Semi (batteri) og Nikola One (hydrogen brenselcelle) dreier dette seg om kjøretøy som er ment for bruk over relativt korte distanser. Utfordringen med at godskjøretøy ikke bare skal frakte tungt gods, men også over lengre distanser, er det således kun Tesla og Nikola som har vist tydelige ambisjoner om å løse.

Det er imidlertid flere ting som gjør tung og lang elektrisk godstransport på veg vanskelig. Om man med batteridrift skulle kjøre en distanse som Trondheim – Oslo på en vinterdag, ville det krevd batterier som var svært:

- tunge
- store
- kostbare.

Nå er batteriteknologien i heftig utvikling, men det er likevel ikke gitt at man vil lykkes med å utvikle batterier for lang godstransport som verken er tunge, store eller kostbare.

Selv om man skulle lykkes, vil det kunne være andre utfordringer knyttet til klima, miljø eller ressurstilgang. Myndigheter satser på elektrisk vegtransport fordi det er presumptivt bærekraftig, i tillegg til andre mulige fordeler. I praksis må dette bety at de løsningene som velges bør være bærekraftige i den forstand at det meste av vegtransport må kunne benytte en slik løsning. Et viktig spørsmål blir således om det er bærekraftig at så å si all tung vegtransport, og all annen vegtransport, blir batteridrevet. I så fall er det tre forhold knyttet til batterier som man må finne ut mer om:

- er det nok materialressurser til at all verdens transport kan drives med batterier?
- kan disse materialressursene utvinnes på en måte som gjør at klima- og miljøregnskapet går opp?
- kan disse materialressursene utvinnes raskt nok til at man unngår farlige klimaendringer? Det tar ca. 10 år fra man bestemmer seg for å åpne en gruve til man faktisk får åpnet den.



Ill: Colourbox

Selv om svaret skulle være ja på alle disse tre spørsmålene, vil det likevel være slik at batterier får stor verdi i årene framover. En mulig strategi for at elektrifisering ikke skal bli for kostbart, kan være å minimere bruken av batterier der hvor det er mulig. Dersom man finner løsninger som gjør at man ikke trenger batterier av størrelser a la Tesla Semi, vil det frigjøre kapasitet i et marked som antakelig blir ganske stramt dersom man skal nå klimamålene.

Med elektrisk veg kan man kjøre langt uten større batterikapasitet. Likevel kan man forlate det elektrifiserte vegnettet og kjøre noen mil til siden. Man unngår at kjøretøy hele tiden bruker energi på å frakte med seg store batterier som man ikke nødvendigvis har behov for. Elektrisk veg løser ikke bare batteriets teknologiske utfordringer med høy vekt per energienhet, men også de praktiske ulempene knyttet til ladetid og ladekøer. Ved mobil lading vil en kunne lade et «ubegrenset» antall tyngre kjøretøy og dermed unngå at ladestasjoner blir flaskehals for tungtransport. Elektrisk veg framstår derfor som en velegnet løsning i en framtid med automatiserte kjøretøy, da man ikke bare unngår kjøre- og hviletidsbestemmelser, men kan opprettholde tilnærmet full produksjon når man ikke trenger å ta hensyn til tiden det krever å lade eller fylle drivstoff.

I forhold til hydrogen brenselcelle har elektrisk veg også sine helt klare fordeler:

*En hydrogenelektrisk personbil bruker typisk om lag 1 kg hydrogen per 100 kilometer. Gitt virkningsgraden i omdanningsprosessene fra elektrisitet til bevegelse på mellom 30 og 35 prosent krever en hydrogenbil om lag 0,6 kWh elektrisitet per km. Tilsvarende for en elbil er om lag 0,2 kWh/km. En fullelektrifisering av dagens personbilpark ville under disse antagelsene kreve om lag 7 TWh elektrisitet årlig, mens en tilsvarende overgang til hydrogenbiler med hydrogenproduksjon basert på vannelektrolyse ville kreve om lag 20 TWh elektrisitet.<sup>1</sup>*

Batteri er med andre ord 3 ganger så energieffektivt som hydrogen og brenselcelle. Hydrogenbasert godstransport vil dermed bruke tre ganger så mye energi som elektrisk godstransport.

Med en tilstrekkelig mengde trafikk, er elektriske veger mer effektivt enn både batteridrift og diesel-drift (Connolly 2017).<sup>2</sup> Det er – som vi skal se – flere steder i Norge med godt trafikkgrunnlag, noe som gjør at elektrisk veg ser ut til å være en relativt rimelig måte å redusere klimagassutslipp på.

## De tre ulike elvegsteknologiene

Det mest grunnleggende skillet når det gjelder ulike elektriske vegkonsepter er om de er induktive eller konduktive. Med induktiv lading menes overføring av strøm uten direkte kontakt, altså trådløs overføring. Med konduktiv menes lading med glidende kontakter, enten over kjøretøyet eller under kjøretøyet.

I arbeidspakke 2 «Teknologiutvikling» har man evaluert de tre ulike teknologiske hovedsporene kjøreledning over vegbanen, skinne i vegbanen og trådløs overføring fra vegbanen. Altså to konduktive teknologier, og en induktiv.

**Tabell 1: Elektriske vegteknologier**

	Konduktiv – med direkte kontakt	Induktiv – uten direkte kontakt
Over vegbanen	Kjøreledning	
I vegbanen	Skinne	Trådløs overføring

<sup>1</sup> Meld. St. 25 (2015-2016). *Kraft til endring — Energipolitikken mot 2030*. Oslo: Olje- og energidepartementet.

<sup>2</sup> Connolly, D. 2017. Economic viability of electric roads compared to oil and batteries for all forms of road transport. *Energy Strategy Reviews* (18), pp. 235-249.



## Kjøreledning



Foto: Region Gavleborg

Teknologien basert på overhengende kjøreledning er helt klart den mest modne. Her kan man trekke på hundre års erfaring med kjøreledning for tog, trikk og trolleybuss. Den første demonstrasjonen på offentlig veg ble åpnet i regi av det svenske Trafikverket i 2016. Teknologien markedsføres i hovedsak av Siemens, og flere demonstrasjoner er i gang eller under planlegging i Sverige, Tyskland og USA. Den åpenbare fordelen med denne løsningen er at den raskt kan tas i bruk og raskt kan bidra til å få ned klimagassutslipp. En ulempe sammenlignet med de to øvrige aktuelle teknologiene er at den ikke kan brukes av personbiler.

## Skinne

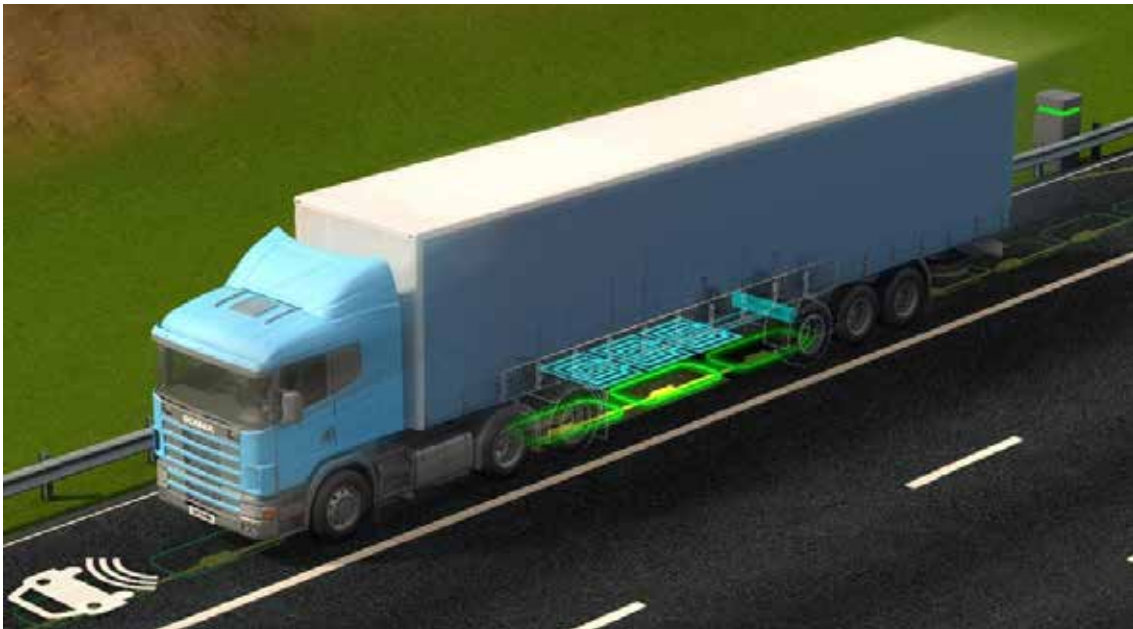


Foto: eRoad Arlanda

Det arbeides med flere ulike varianter av teknologi for konduktiv overføring av strøm fra vegbanen til kjøretøyet. I Sverige arbeider de to oppstartsselskapene Elways og Elonroad med ulike skinnkonsepter. I samarbeid med Volvo arbeider franske Alstom med å tilpasse teknologi som er i drift på bybaner til bruk for lastebiler. Alle disse teknologiene er blitt prøvd ut på det kraftnivå som er nødvendig for store lastebiler. I Sverige prøves nå Elways' konsept ut på en to kilometer lang strekning ut fra Arlanda godsterminal.

Den åpenbare fordelen med skinnløsninger i vegbanen er at de kan betjene kjøretøy med ulike størrelser og ulikt kraftbehov. Den største ulempen er utfordringene knyttet til drift og vedlikehold med en skinne som medfører brudd i asfalten og introduksjon av et fremmedelement i konstruksjonen. Disse utfordringene er i stor grad knyttet til vinterforhold og utfordringene som skapes av frost, snø, is og salt.

## Induktiv



III.: Sustainable Electrified Transportation Center – SELECT

Teknologier for induktiv dynamisk lading av kjøretøy er betydelig mindre modne enn kjøreledning og skinne. For tiden er ulike konsept og design under utvikling, men kun to prosjekter har gjennomført demonstrasjoner med de kapasitetsnivåene som er nødvendig for lang og tung godstransport, det kanadiske selskapet Bombardier og forskere ved det sør-koreanske teknologiske universitet KAIST. Antakelig er det også potensial for at de mange systemene som har vært demonstrert med lavere effekter kan videreutvikles til å levere høye effekter. Men utviklingen er nok i en for tidlig fase til at man ser tegn til vinnere og tapere blant teknologiene. Kostnadsnivået ser ut til å være betydelig høyere enn for skinne og kjøreledning. Som alltid når det gjelder teknologiutvikling kan man forvente reduksjoner i kostnader gjennom utviklingsløpet, men det ser ut til å være svært vanskelig å si hvor mye. Industrien har dessuten ikke vært villig til å gå ut verken med kostnadstall eller teknologiske spesifikasjoner som gjør det mulig å estimere kostnader. Vi har derfor ikke kunnet sette opp regnskap knyttet til verken økonomi eller klimaeffekter for induktive løsninger.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Faktisk finnes en fjerde variant med glidende kontakt i form av en arm ut til et rekkverk på siden. Denne testes under høy fart i Japan av Honda. Det er imidlertid uklart om det er noe betydelig omfang av denne satsningen, og det finnes liten åpen dokumentasjon. Vi har derfor ikke behandlet denne i noe annet omfang enn at den omtales i teknologikapitlet.

## Grunnleggende fordeler, ulemper og fellestrekk ved de ulike teknologiene

En fordel med løsningene med strømtilførsel under kjøretøyet, skinne og induktiv, er at de også kan fungere for mindre kjøretøy. Kjøreledning kan derimot kun fungere for store kjøretøy, da ledningen blir hengende for høyt oppe for mindre kjøretøy. Kjøreledning har derimot den fordelen at det er den helt klart mest modne teknologien. Ettersom omtrent halvparten av kostnadene ved elektrisk veg er knyttet til framføring av strøm i vegkanten, er det ikke slik at valg av teknologi gir «sunk cost» dersom en annen teknologi vinner fram. Halvparten av investeringen er å anse som langsiktig uansett, ettersom man kan bytte ut teknologien i vegbanen uten å bytte ut strøminfrastrukturen i vegkanten.

Når det gjelder byggbarhet er det ingen vesentlige problemer ved noen av teknologiene. Kjøreledning er en velkjent teknologi, og kan greit installeres på både gammel og ny veg, under forutsetning av at det er plass på siden av vegen. Kjøreledning er også en relativt utprøvd teknologi i forhold til vinterdrift. Ruralt kystklima langs E39 kan imidlertid by på nye driftsmessige utfordringer, men det er vanskelig å forestille seg at det skulle være uoverkommelig.

Strømtilførsel under kjøretøyet vil være enkelt å installere i vegbanen, både i gammel og ny veg. Men da denne teknologien innebærer brudd i asfaltdekket, og introduksjon av materialer med andre fysiske egenskaper enn asfalt, er det usikkert hvordan en slik løsning vil påvirkes av vinterdrift. Dette kan bli problematisk og kostnadsdrivende. En bør derfor etablere teststrekninger for å teste denne løsningen ved ulike vinterdriftsforhold før en eventuell storskala utbygging. Spesielt bør disse teknologiene testes mot telehiv og fryse/tine sykluser. Erfaringer fra det svenske skinneprosjektet e-road Arlanda vil kunne gi verdifull informasjon.

Induktiv strømtilførsel under kjøretøyet vil være dyrere å bygge enn en skinneløsning, men antas å eliminere de fleste av problemene ved vinterdrift. Induktive løsninger bygges inn under asfalten, og dermed brytes ikke topplaget på veien. Men, det er noe usikkerhet om hvor robust induktive løsninger er overfor fukt og telehiv. Så også her bør det etableres teststrekninger i frostutsatte områder før storskala utbygging.

**Elektrifisering av 5% av norske veger vil kutte nesten halvparten av utslippene fra tungtransporten**



*Taljegård et al. (2017). Electric road systems in Norway and Sweden: Using ERS on 40% of the Norwegian E- and N-roads with the highest emissions will save 44% and 46% of the total Norwegian emissions from light vehicles and heavy vehicles, respectively.*

Ill.: colourbox

**Figur 2: Forskningsresultat fra prosjekt utenom ELinGO (Ferjefri E39)**

## Effekt og energibehov

I arbeidspakke 3 «Systemutvikling» er det utviklet en modell for å kalkulere effekt- og energibehov. Dette varierer med type kjøretøy, type drivstoff og karakteristikk ved ruten man kjører. Topografi og fart betyr mye for resultat når det dreier seg om elektriske kjøretøy. I så måte er E39 er godt case. Her er det variert geometri med flate deler, bakker, broer og undersjøiske tunneler. Da analysene skulle utføres fant man det hensiktsmessig å avgrense ytterligere, og det ble derfor tatt utgangspunkt i strekningen mellom Bergen og Stavanger, som også har nokså variert topografi.

### GENERELLE FORUTSETNINGER

#### Kjøretøy

- Kun elektrisk drivlinje
- 300 kWh batteri
- Energiforbruk på 1,8 kWh per km

#### Infrastruktur

- Dynamisk ladeinfrastruktur langs 33 % av strekningen
- 300 kW effekt

Riktig dimensjonering av kraft- og energibehov er spesielt viktig for elektriske kjøretøy. Det er dyrt å øke batterikapasiteten, og tyngden som ekstra batterier medfører gir konstant høyere energiforbruk. På den annen side kan underinvestering av batterikapasitet gjøre et kjøretøy ubrukelig. Gode estimater på nødvendig effekt og energibehov er viktig når man planlegger elektrisk støtteinfrastruktur. Man trenger ikke bare gode estimater på hvor mye energi som trengs totalt, men også hvor det er ekstra krav til energi og effekt.

I beregningene har man tatt utgangspunkt i et kjøretøy med totalvekt på 42 tonn. Det antas at dette er representativt for en gjennomsnittlig vekt under kjøring. I praksis vil vekten variere mellom et tomt kjøretøy på 22 tonn og et fullastet kjøretøy med den maksimale totalvekten på 50 tonn. Den totale distansen for ruten man har valgt – fra Bergen til Stavanger – er på 183 kilometer. Det ble tatt som utgangspunkt at den elektriske infrastrukturen overfører elektrisk kraft med en effekt på 300 kW. Her har man beregnet fire scenarier, som vi her velger å kalle:

- Nullscenariet
- 8% scenariet
- 14% scenariet
- 33% scenariet

Prosentandelen refererer til hvor stor del av tiden man kjører langs ruta hvor man får tilført energi fra den elektriske infrastrukturen.

**Tabell 2: Ulike elektrifiseringsalternativer på ruta Bergen – Stavanger. 183 kilometer. Overføringskraft 300 kw.**

Tittel	Andel dynamisk ladeinfrastruktur	Andel av ruta	Andel av reisetiden	Energibehov	Batteribehov (utg.pkt i at kun 70% brukes)
Nullscenariet	Ingen, kun batteri	0% av ruta	0% av reisetiden	337 kWh	480 kWh
8%-scenariet	15 km på flat veg	8% av ruta	8% av reisetiden	286 kWh	408 kWh
14%- scenariet	15 km opp av tunneler	8% av ruta	14% av reisetiden (pga av lavere fart)	226 kWh	320 kWh
33%-scenariet	60 km gjennom-snittlig veg	33% av ruta	33% av reisetiden	110 kWh	160 kWh

## Nullscenariet

For å kjøre hele ruta kun på batteri trenger man et batteri på 337 kWh. Imidlertid vil det være lite hensiktsmessig å ha som utgangspunkt at man ikke trenger mer enn at man akkurat kommer fram på den aktuelle ruta under greie klimatiske forhold. Temperatur og rullemotstand varierer med vær og årstider, og man trenger ekstra kapasitet for å kunne kjøre ulike ruter. Dessuten slites batterier unødige dersom de stadig utlades. Kun unntaksvis bør man tappe mer enn 70% av total kapasitet. Med dette som utgangspunkt trenger et kjøretøy som skal trafikker strekningen Bergen – Stavanger uten tilførsel av elektrisitet underveis et batteri på 480 kWh.



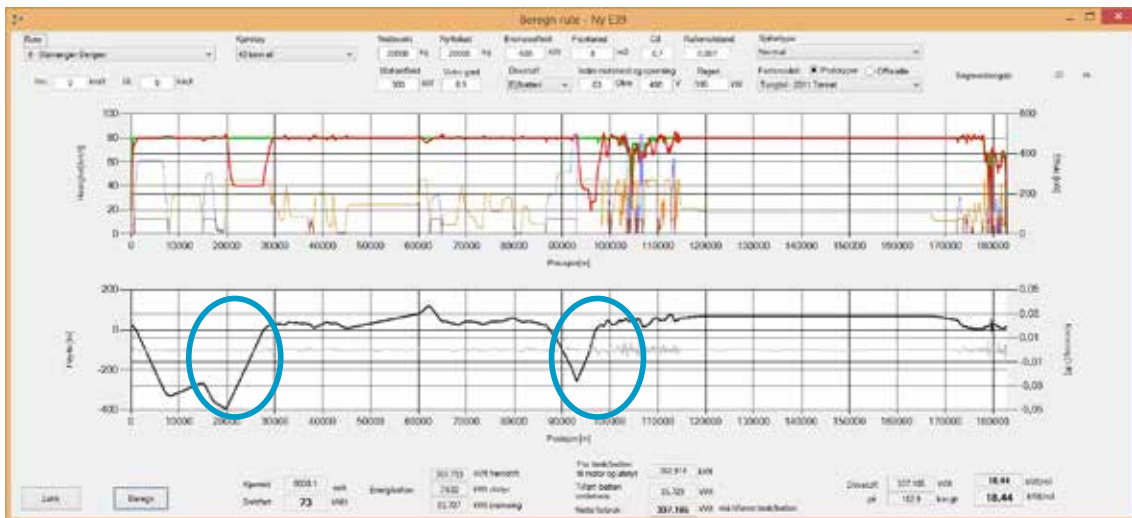
Tesla Model S selges med batteristørrelsene 75 kWh og 100 kWh. Foto: Tesla Motors

## 8%-scenariet

I dette scenariet har man plassert 15 kilometer med lading på det nokså horisontale strekket mellom 125 og 140 kilometer fra Stavanger i retning Bergen. Av 300 kW mottatt går 115 kWh til framdrift (kjøretøyet krever 102 kWh på hjulene for å holde 80 km/t). De øvrige 185 kW går til opplading av batteriet. Dette pågår i 0,188 time. Resultatet er at kraftforbruket reduseres fra 337 kWh i nullscenariet til 286 kWh. Altså en reduksjon på 51 kWh eller om lag 15%. Den nødvendige batteristørrelsen reduseres fra 480 kWh til i overkant av 400 kWh.

## 14%- scenariet

Når E39 er ferdig utbygd vil det være to dype tunneler i området. I dette eksemplet har vi tatt utgangspunkt i at man elektrifiserer når man kjører opp fra tunnelene, to strekninger på henholdsvis 10 og 5 kilometer, altså 15 kilometer til sammen. Dette tilsvarer 8% av avstanden i kilometer på strekningen fra Stavanger til Bergen, men på grunn av den nedsatte farten i motbakker vil det ta 14% av reisetida. Dette reduserer energiforbruket med en tredjedel sammenlignet med den rene batteriløsningen i nullscenariet, altså fra 337 til 226 kWh. Med utgangspunkt i regelen om at man bør ha en buffer på 30% av total batterikapasitet, reduseres behovet for batteri om bord i kjøretøy til omtrent 320 kWh. Her overføres nesten all ekstern kraft direkte fra infrastrukturen til motoren, og passerer ikke gjennom batteriet.



**Blå sirkel:** Med direkte drift opp av to tunneler kan man redusere nødvendig batterikapasitet med en tredjedel

**Figur 3:** en av energimodellberegningene i rapporten fra arbeidspakke 3.

### 33%-scenariet

Dette er scenariet som er i tråd med de generelle forutsetningene i de øvrige relevante arbeidspakkene i prosjektet. De samfunnsøkonomiske beregningene i nytte-kostnadsanalysen, livssyklusanalysen og tiltakskostnadsanalysene har alle som utgangspunkt at det etableres infrastruktur langs en tredjedel av den totale strekningen, og at kjøretøyene har batterier med 300 kWh slik at man har gode muligheter til å kjøre på siden av de elektrifiserte vegstrekningene.

I dette scenariet elektrifiseres 60 km av strekningen Stavanger–Bergen, som tilsvarer 33% av ruta og reisetiden. Dette gir et energibehov fra batteriet i kjøretøyet på kun 110 kWh. Med utgangspunkt i 70%-regelen for utlading av batterier, tilsvarer dette batteribehov på kun 160 kWh. Når vi i alle beregninger for øvrig har lagt til grunn at det benyttes et batteri på 300 kWh, vil et forbruk på kun 110 kWh på strekningen gi rikelig med fleksibilitet i forhold til klimatiske variasjoner, makslasting og kjøring utenom den elektriske infrastrukturen. Restkapasitet på 190 kWh på batteriet gir mulighet for å kjøre ca. 100 kilometer på batteri utenom det elektrifiserte vegnettet.<sup>4</sup>

Analysene fra arbeidspakke 3 viser at den optimale lokasjonen for plassering av ladeinfrastruktur er ved stigninger. Ikke fordi det er her det er størst kraftbehov, hvilket det selvsagt er, men fordi det er her man kjører med lavest fart. Tid tilkoblet ladeinfrastrukturen er den avgjørende faktoren for hvor mye kraft man får overført. Tap fra intern motstand i batteriet betyr mindre.

Før øvrig viser analysen at fullasting og vinterføre tapper mye energi:

- Hvis lasten øker fra 42 tonn til fullast på 50 tonn, får man 15% økning i elforbruk.
- Med 50% økt rullemotstand om vinteren, får man 20% økning i elforbruk.
- Full last 50 tonn og 50% økt rullemotstand på grunn av vinter betyr 38% økning i elforbruk.

<sup>4</sup> 300 kWh – 110 kWh = 190 kWh. 190 kWh / 1,8 kWh per km = 105 km.

På den annen side kan svært mye hentes inn gjennom nye typer av kjøretøy som har lavere luftmotstand enn de som benyttes i dag. Våre analyser har lagt til grunn at kjøretøyene har et forbruk på 1,8 kWh per km. Ut fra kunnskap tilegnet gjennom prosjektet anses det ikke som usannsynlig at dette kan forbedres med 0,5 kW til 1,3 kWh per km. I så fall nærmer man seg forbruket som oppgis for en Tesla Semi (1,2 kWh). Dette vil bety at kombinasjonen batteri med 300 kWh lagringskapasitet og 33% elektrifisering av vegstrekningen antakelig også vil være godt egnet på lengre dagsturer som Oslo–Trondheim, i den forstand at turen kan gjøres uten stopp for stasjonær lading.

Spørsmålet om tilgjengelig kraft langs vegen er også behandlet i arbeidspakke 3. Her er det store lokale variasjoner langs strekningen. Blant de 17 kraftselskapene som er netteiere langs E39, har 9 av dem på vår forespørsel oppgitt kostnadsestimater for å få lagt fram eller oppgradert nettet tilstrekkelig for elektrifisering av vegbanen. Det anslås at kostnadene for oppgradering langs E39 er i størrelsesorden 900–1 200 millioner kroner. Imidlertid har ELinGO-prosjektet som generelt utgangspunkt at kun 33% av vegstrekningen elektrifiseres. I praksis vil nok konkret lokalisering av strekninger bli en avveining mellom to forhold:

- Hvor det allerede er tilgjengelig elnett, som i dag er en viktig faktor i lokaliseringsvalg for ladestasjoner for buss og personbil.
- Hvor det er hensiktsmessig i forhold til topografi (motbakker).

Her skal det i tillegg nevnes at både teknologi og kostnader er relativt uavhengig av om man har tenkt å anlegge kjøreledning, skinne eller induktiv lading. Dette betyr også at man kan skifte ut teknologi i vegbanen på et senere tidspunkt uten at alt som tidligere er gjort mister sin verdi. Generell levetid for kraftnett er ca. 60–70 år.

## Regnskap – klimaeffekter, samfunnsøkonomi og tiltakskostnader

I arbeidspakke 4 er det utformet flere ulike «regnskap», som svarer på ulike spørsmål knyttet til elektrisk veg i en norsk ramme:

- I livsløpsanalysen er spørsmålet om elektrisk veg er et godt klimatiltak, uten tanke på økonomi.
- I nytte/kostnadsanalysen er spørsmålet om elektrisk veg er samfunnsøkonomisk lønnsomt.
- I tiltakskostnadsanalysen er det gitt at utslipp skal vekk, spørsmålet er om elektrisk veg er mer eller mindre kostbart enn andre alternativer for utslippsreduksjon.

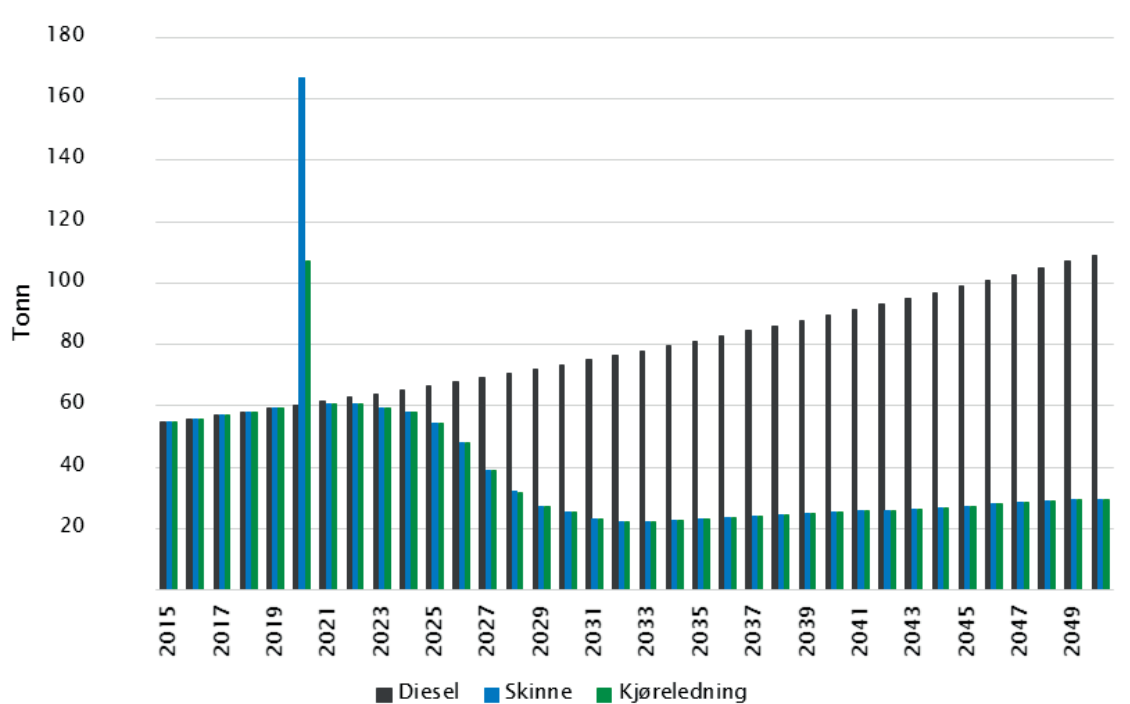
Elektrisk veg krever en betydelig utbygging av infrastruktur. De ulike regnskapene påvirkes i stor grad av hvor mange som bruker veginfrastrukturen. Hvor stor trafikk man har på en veg har derfor stor betydning for om det lønner seg å etablere elektrisk veg.

### Livsløpsanalyse

I en livsløpsanalyse, blir alle utslipp medregnet. Livsløpsanalysen er en rent fysisk regnskap, som i den grad det er mulig, summerer alle utslipp fra alle delprosesser i verdikjeden, uavhengig av opprinnelsesland. Rent praktisk blir analysen begrenset til et sett med indikatorer, som hver er representativ for en type miljøbelastning. I vår analyse har vi sett på utslipp av klimagasser, eller CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Vårt regnskap beskriver hvor mye klimagassutslippene blir redusert ved å bytte ut dagens teknologi (diesel) med elektrisk veg.

Utgangspunktet i livsløpsanalysen er en case med en transportmengde på E39 mellom Stavanger og Bergen på 40 000 kjøretøy i året, tilsvarende en årsdøgntrafikk (ÅDT) på 100. Videre antas en årlig vekst på 2% i tiden fram mot 2050. Videre antas det at den elektrifiserte vegstrekningen er fullt ut operativ innen 2020, og at alle de tunge kjøretøyene som trafikkerer strekningen er elektriske innen 2030 (på bakgrunn av at tunge kjøretøy som regel byttes ut etter ca. 4.5 år, og at man har økonomiske insentiver for å velge elektrisk).

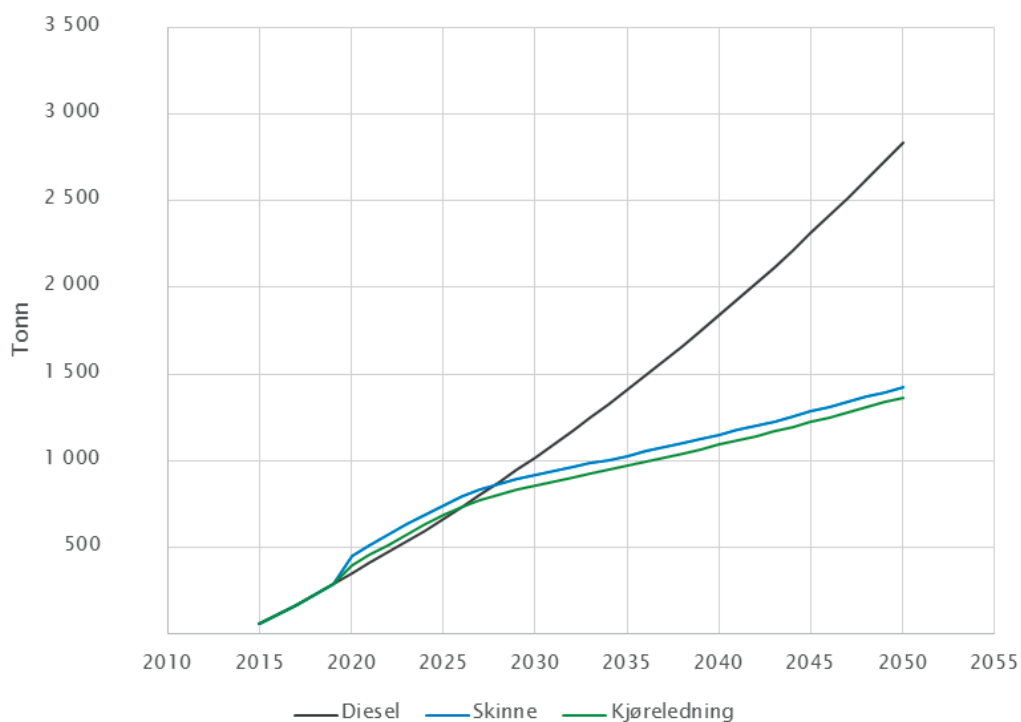
Figur 4 viser hvordan utslippene vil fordele seg over ulike år i et slikt scenario.



Figur 4: Årlige CO<sub>2</sub>-utslipp med diesel og elektrisk veg med 2% årlig trafikkvekst



I figur 4 vises utslippet fra referansecaset (diesel) i sort. Utslipp fra et system med kjøreledning er vist i grønt, utslipp fra et system med skinne er vist med blått. Som det framgår her vil man få store utslipp i byggeåret, og deretter lavere utslipp etter hvert som flere elektriske kjøretøy fases inn. Men det mest interessante her er det totale utslippsregnskapet. Dette er illustrert i figur 5:



**Figur 5: Samlede CO<sub>2</sub>-utslipp med diesel og elektrisk veg med 2% årlig trafikkvekst.**

Den sorte linjen viser utslipp ved fortsatt bruk av diesel. Den blå linjen er utslipp ved installering av skinne i vegbanen. Den grønne linjen viser utslipp ved installering av kjøreledning.

Som det framgår her, vil utslippene i forbindelse med etablering av veginfrastruktur være hentet inn innen 10 år, enten man velger skinne eller kjøreledning som teknologi for elektrisk veg. Resultatene viser at selv om man inkluderer alle utslipp i hele verdikjeden, så er det et betydelig potensiale for reduksjon av klimagassutslipp sett i forhold til fortsatt bruk av dieseldrevne kjøretøy. Figur 5 viser at vi allerede innen 10 år har en reel utslippsreduksjon, og av vi kan oppnå en årlig reduksjon i klimagassutslipp fra tungtransport på 65% innen 2030 og over 75% innen 2050.

I delrapport fra arbeidspakke 4.1/4.2 er det gjort sensitivitetsanalyser med høyere og lavere trafikkvekst enn antatt, henholdsvis 2,5% og 1,5% for å se hvilken betydning det får. Dette forandrer ikke det generelle bildet i særlig grad.

## Nytte-kostnadsanalyse

Det andre regnskapet er knyttet til samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved etablering av elektrisk veg. Dette er viktig grunnlagsinformasjon, men ikke avgjørende for om man bør satse på elektrisk veg eller ikke. Det er ingen usannsynlig utfordring at ingen nullutslippsalternativer, verken de man har i dag eller kan se for seg i framtiden, vil bli samfunnsøkonomisk lønnsomme når de sammenlignes med diesel.

Den samfunnsøkonomiske nytte-kostnadsanalysen er basert på de samme prinsipper og forutsetninger som Statens vegvesen og de øvrige transportetatene benytter i sine analyser av mulige framtidige samferdselsutbygginger. Her tallfester man etter beste evne alle virkninger av tiltaket i kroner og presenterer resultatet i form av netto nytte. Det dreier seg med andre ord om prissatte konsekvenser av et tiltak. Ikke-prissatte konsekvenser inngår ikke. Nyten av tiltaket skal gjenspeile konsekvensene av tiltaket sammenlignet med utfallet dersom det ikke ble gjennomført. Altså må et referansealternativ inngå i beregningen, og i dette tilfellet er det selvsagt at det blir dagens dieselbaserte tungtransport. Virkningene på offentlige budsjetter av de aktuelle alternativene blir beregnet, bedriftsøkonomisk lønnsomhet for de enkelte kommersielle aktørene beregnes ikke.

Selv om tidsperspektivet for innfasing av elektrisk godstransport på veg vil kunne være forskjellig for de ulike teknologiene, har man valgt å betrakte situasjonen på et tidspunkt når alle aktuelle alternativer antas å være operative, for eksempel ti år frem i tid. Sammenligningen av alternativene er basert på gjennomsnittlige årlige kostnader (annuiteter), altså de årlige kostnadene som tilsvarer nåverdien for de aktuelle kostnadskomponentene.

Det finnes få gode kilder på kostnader for selve infrastrukturen samtidig som de ulike teknologiene har ulik grad av teknologisk modenhet. Basert på det vi har kunnet finne i litteraturen og diskusjoner i konsortiet, ble det besluttet å gjøre analyser på grunnlag av kostnadsestimatene vist i tabell 3.

**Tabell 3:. Kostnadsestimater for bygging av elektrisk veg.**

	Lavt kostnadsestimat	Høyt kostnadsestimat
Kjøreledning	13 mill <sup>5</sup>	18 mill <sup>5</sup>
Skinne	18 mill <sup>6</sup>	26 mill <sup>5</sup>

Regneeksemplet som er brukt er basert på 100 kjøretøy som kjører strekningen Stavanger- Bergen tre ganger om døgnet i hvert av årets 220 yrkesdøgn. Dette tilsvarer en yrkesdøgntrafikk på 300, eller en årsdøgntrafikk (ÅDT) på 180. Det er her tatt utgangspunkt i at strekningen er 200 kilometer, som en grov avrundning. Resultat er ikke spesifikt for Bergen-Stavanger, men generelt for strekninger av samme lengde.

Tabell 4 nedenfor viser hvilke kostnadskategorier som inngår i en nytte-kostanalyse, samt resultatene for det dieselbaserte referansealternativet.

<sup>5</sup> Fraunhofer Institut für System und Innovationsvorschung (2017): *Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitung-Lkw*

<sup>6</sup> eRoadArlanda/Elways. 2018. Se Appendix rapport arbeidspakke 4.1/4.2

**Tabell 4: Resultater fra nytte-kostnadsanalyse for dagens dieseltransport (2016-kroner).**

Aktører	A0 Dieselbiler
Transportutøvere	357 123 280
Kapitalkostnader	61 806 405
Andre tidskostnader	205 040 500
Energikostnader	50 638 875
Andre distansekostnader	39 637 500
Operatørselskaper	0
Energileverandører	0
Det offentlige	-24 636 375
Investeringer i elveg	0
D&V for elveg	0
Avgiftsinntekter	-24 636 375
Samfunnet for øvrig	11 413 792
Trafikksikkerhet	0
CO <sub>2</sub> -kostnader transport	16 341 067
CO <sub>2</sub> -kostnader infrastruktur	0
Andre miljøkostnader	0
Skattekostnad	-4 927 275
<b>SUM kostnader</b>	<b>343 900 697</b>

Positive tall betyr kostnader, negative tall betyr inntekter eller besparelser

Tabell 5 viser kostnader for elektrisk veg i forhold til diesel i regneeksemplet i tabell 3.

**Tabell 5: Kostnadsøkning elektrisk veg med en ÅDT på 180.**

	Lavt kostnadsestimat	Høyt kostnadsestimat
Kjøreledning	Ca. 15% (390 700 084)	Ca. 20% (413 106 155)
Skinne	Ca. 15% (391 275 476)	Ca. 30% (444 106 611)

Som man ser er de ulike elektriske vegteknologiene omtrent 15-30% mer kostbare enn dieselalternativet, når man som i regneeksemplet har en ÅDT på vegen på 180. Oversikt over hvilke faktorer som er fordyrende finnes i delrapport 4.3, hvor man har gjort samme analyser som i tabell 3 for alle de fire alternativene. Kostnader til stasjonær infrastruktur i form av fyllestasjoner for diesel og elektriske ladestasjoner ved endepunktene er ikke lagt inn i regnestykkene.

Som nevnt ovenfor er ikke nødvendigvis samfunnsøkonomisk lønnsomhet avgjørende når premisset er at utslippene skal ned, og utslippene fra tungtransporten helst skal vekk. Likevel er det sterkt ønskelig at løsningene som tas i bruk er samfunnsøkonomisk lønnsomme, og ikke minst gjør det faktisk realisering langt mer realistisk.

Hva skal så til for at det skal bli samfunnsøkonomisk lønnsomt å investere i henholdsvis kjøreledning eller strømskinne på 33% av en strekning på 200 kilometer?

Her er det vurdert en rekke mulige faktorer, som høyere trafikk, lengre levetid på infrastruktur, langt høyere CO<sub>2</sub>-pris enn de 950 kroner per tonn som her er lagt til grunn, og bygging på ny veg framfor eksisterende veg. Blant disse faktorene er det først og fremst større trafikkgrunnlag som vil kunne gi samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

I tabell 6 er det angitt hvilket trafikkmessig dekningspunkt («break-even nivå») som kreves for at elektriske vegger skal kunne bli samfunnsøkonomisk lønnsomme.

**Tabell 6: Dekningspunkt ÅDT for samfunnsøkonomisk lønnsomhet.**

	Lavt kostnadsestimat	Høyt kostnadsestimat
Kjøreledning	6–700 kjøretøy	8–900 kjøretøy
Skinne	6–700 kjøretøy	1000–1200 kjøretøy

Med det laveste anslaget for kostnader på kjøreledning og skinne, kreves en ÅDT på 6-700 for at utbyggingen skal bli samfunnsøkonomisk lønnsom, altså ca. 4 ganger så mye som i analysecasen i nytte-kostnadsanalysen. Med det høyeste kostnadsanslaget for kjøreledning trengs 5 ganger så stor trafikk, omtrent 8-900. Med det høyeste kostnadsanslaget for skineteknologien trengs 6 eller 7 ganger så stor ÅDT, altså en ÅDT på 1000-1200 kjøretøy for å oppnå samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

I appendix III er det lagt ved en trafikktelling med prognoser for framtidig utvikling som omfatter de fleste hovedfartsårene i Sør-Norge. Her ser man at dette er et trafikknivå som finnes på en del strekninger i Norge og som det vil bli flere av i tiårene som kommer.

### Tiltakskostnader

Det tredje regnskapet er knyttet til såkalte tiltakskostnader, slik Miljødirektoratet definerer dem.<sup>7</sup>

Her er premisset at utslippene skal vekk. Beregning av tiltakskostnader gjøres for at man skal kunne sammenligne samfunnsøkonomiske kostnader ved ulike alternativer til fossilt drivstoff. Med andre ord, tiltakskostnader sammenligner og rangerer de ulike teknologiene for reduksjon i utslipp av drivhusgasser innbyrdes. Tanken er at man da prioriterer og iverksetter teknologiene med lavest kostnader først – etter prinsippet om hva som gir størst utslippskutt per krone.

Miljødirektoratet setter her Norge som systemgrensen. Det vil si at bare direkte utslipp i Norge teller med. Det vil for eksempel si at produksjonsutslipp fra kjøretøy ikke skal være med, med mindre det er kjøretøy som produseres i Norge.

Ved etablering av infrastruktur kan man tenke seg at utslipp fra dieselbruk på anleggsmaskinene skal være med, men altså ikke livsløpsutslippet fra for eksempel asfalt. Heller ikke tapte inntekter til staten i form av bortfall av drivstoffavgift tas med i beregningen.

Miljødirektoratet har delt tiltakskostnadene inn i tre tiltakspakker:

- Tiltakspakke 1 er i all hovedsak satt sammen av tiltak som ligger i kostnadskategorien «under 500 kr/tonn» og i gjennomføringskategorien «mindre krevende».
- Tiltakspakke 2 inkluderer, i tillegg til tiltakene i tiltakspakke 1, i all hovedsak tiltak som ligger i kostnadskategorien «500 - 1500 kr/tonn» og i gjennomføringskategorien «middels krevende».
- Tiltakspakke 3 inkluderer, i tillegg til tiltakene i tiltakspakke 1 og 2, tiltak som ligger i kostnadskategorien «over 1500 kr/tonn» og i gjennomføringskategorien «mer krevende».

For å gi et inntrykk av kostnadene innen de ulike tiltakspakkene i transportsektoren, gjengis en oversikt fra Miljødirektoratet (2014).<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Rapport M386. Klimatiltak og utslippsbaner mot 2030. Miljødirektoratet 2015.

<sup>8</sup> Rapport M229. Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling. Miljødirektoratet 2014.

Tabell 7: Tiltakskostnader innen transportsektoren

Gjennomførbarhet			
Kostnad	Forholdsvis enkelt	Middels krevende	Krevende
<b>Lav</b> < 500 kr/tonn	1 El- og hydrogenbiler, personbiler, lavt ambisjonsnivå (1,5 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 2 El-, hydrogendrift på varebiler, lastebiler og busser, lavt ambisjonsnivå (1,0 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 3 Hybridkjøretøy, personbiler. (280 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 4 Hybridkjøretøy, lastebiler. (190 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 5 Batteriferge (40 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 6 Batteri- og hybriddrift på skip (500 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)	7 Nullvekst for personbil-kilometer i de store byene i forhold til 2010 (500 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 8 Overføring av 5% gods fra vei til bane (120 00 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 9 El- og hydrogenbiler, personbiler, høyt ambisjonsnivå (3,3 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)	
<b>Medium</b> 500–1500 kr/tonn	10 + 10 %-poeng biodrivstoff til vei (1,1 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 11 10 % biodrivstoff til skip (340 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)	12 El-, hydrogendrift på varebiler, lastebiler og busser, lavt ambisjonsnivå (2,0 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 13 Overføring av 10 % gods fra vei til bane (240 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 14 +20 %-poeng biodrivstoff til vei (2,3 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 15 20 % biodrivstoff til skip. (680 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 16 10 % biodrivstoff til andre mobile kilder (200 000 CO <sub>2</sub> -ekv.) 17 10 % biodrivstoff til fly (130 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 18 Landstrøm til skip i havn. (200 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 19 Energieffektivisering skip (150 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)	20 Nullvekst for personbil-km i hele landet i forhold til 2010. (1,7 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 21 20 % biodrivstoff til fly (260 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)
<b>Høy</b> > 1500 kr/tonn	22 Elektrifisering gjenværende dieselstrekninger på jernbane (50 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)		23 10 % reduksjon av personbil-km ift. 2010 i hele landet (2,1 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 24 Overføring av 20 % gods fra vei til bane (480 00 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 25 + 40 %-poeng biodrivstoff til vei (4,6 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 26 40 % biodrivstoff til skip. (1,4 mill. tonn CO <sub>2</sub> -ekv.) 27 20 % biodrivstoff til andre mobile kilder (400 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv.)

Som vi snart skal se hevder elektrisk veg seg godt i «selskapet» av tiltak i tabellen ovenfor.

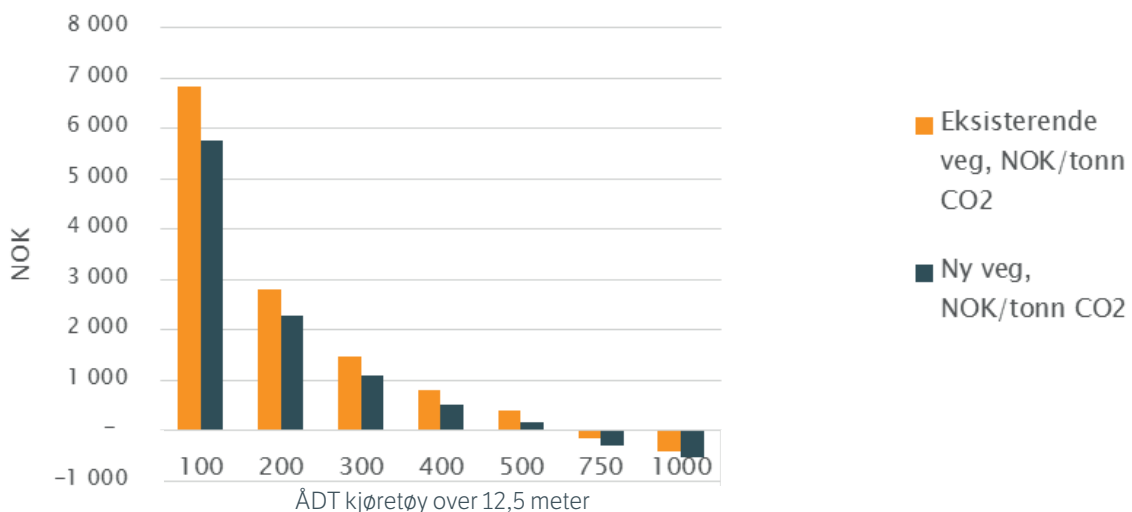
I senere beregninger fra Miljødirektoratet (2017) opereres det med en kostnadskategori mellom 500- og 1500 kr/tonn i forhold til målet om at 50% av nye lastebiler i 2030 skal være nullutslippskjøretøy. Tiltakskostnaden er imidlertid anslått til å være under 500 kr/tonn basert blant annet på følgende:

*«... for tunge lastebiler i langtransport eller med mer uforutsigbart kjøremønster vil infrastruktur for lading måtte bygges ut og dermed være en barriere for innfasing. Det er igangsatt flere testprosjekter for alternative måter å lade batterier på, som langs en skinne i veien eller med ledninger og pantograf. Slike løsninger antas å bli introdusert i markedet først nærmere 2030».*<sup>9</sup>

Tiltaket er anslått til å bidra med en utslippsreduksjon på 1,17 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter innen 2030. Potensialet ved en tidligere innfasing av elektrisk veg er antakelig høyere.

I ELinGO er det utført en analyse av tiltakskostnader basert på tilgjengelige data. Beregninger er utført for de tre ulike kostnadsnivåene vi har angitt for de ulike teknologiene: 13 millioner kroner per kilometer elektrisk infrastruktur i begge retninger (lavt kostnadsanslag for skinne og kjøreledning), 18 millioner kroner (høyt kostnadsanslag for kjøreledning) og 26 millioner kroner (høyt kostnadsanslag for skinne). For å forenkle terminologien, vil vi heretter benevne disse som henholdsvis lavt, middels og høyt kostnadsnivå. I delrapport 4.1/4.2 er det gjort analyser av alle disse tre alternativene.

Siden dette er en oppsummering, vil vi i det følgende kun presentere analysen for «middels kostnadsestimat», altså 18 millioner kroner per kilometer elektrifisering av vegbanen i begge kjøreretninger. Det skal nevnes at vår analyse av tiltakskostnader er noe forenklet sammenlignet med Miljødirektoratets. Men vi har ikke grunn til å tro at det påvirker resultatene i betydelig grad.



**Figur 6. Tiltakskostnader ved middels kostnadsestimat for elektrisk veg – 18 mill. NOK**

Figur 6 viser følgende:

- Langs den vertikale y-aksen har man kostnader i NOK.
- Langs den horisontale x-aksen har man ÅDT for kjøretøy over 12,5 meter.
- Søylene viser tiltakskostnader for elektrisk veg per tonn reduksjon av CO<sub>2</sub> ved ulike nivåer av ÅDT for tunge kjøretøy. De oransje søylene viser kostnader ved etablering på eksisterende veg, de sorte søylene viser kostnader ved etablering samtidig som ny veg bygges.

<sup>9</sup> Rapport M-782. Beregningsteknisk grunnlag for Meld. St. 41, Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid. Miljødirektoratet 2017.

En av forutsetningene her er at man kun trenger å elektrifisere en tredjedel av strekningen for at man har en elektrifisert vegstrekning. For oversikt over øvrige forutsetninger vises det til rapporten fra arbeidspakke 4.1/4.2.

Hva framgår så av figur 6? Av figuren framgår det at elektrisk veg er godt innenfor tiltakspakke 1 med en ÅDT på 500 for både nye og gamle veger. Med en ÅDT på 500 for nye veger er tiltakskostnaden 174 kroner per tonn CO<sub>2</sub>, for eksisterende veger er tiltakskostnaden 389 kroner per tonn CO<sub>2</sub>. Spørsmålet man så kan stille seg, er om ÅDT på 500 for tunge kjøretøy er et høyt eller lavt trafikk tall i en norsk sammenheng.

### Trafikktall (ÅDT) for tungtransport

I appendix III er det gitt en oversikt over trafikktall for tunge kjøretøy (definert som kjøretøy over 12,5 meter) samt trafikkprognoser for årene 2030 og 2045. Her er det anslått en generell vekst på 2% årlig i godstransporten på veg, i tråd med inneværende NTP. 2030 er valgt fordi det er et merkeår i forhold til klimaforpliktelser. 2045 er valgt fordi man ved dimensjonering av nye vegprosjekter vanligvis tar utgangspunkt i trafikknivået omtrent 25 år fram i tid.

Under oppsummeres hovedtrekkene ved trafikktellingene og vurderingene av hvilken tiltaksklasse vegstrekningene faller inn under. Vi er litt konservative i slutningene, da ÅDT-tallene vi har også inkluderer tunge transporter som ikke skal langt av sted. Men trafikkellepunter innenfor kommunegrensene for de byene som er nevnt, er luket vekk.

- **E39 fra Trondheim til Bergen:** i dag (2017-tall) har man i i all hovedsak trafikk tall under 500, og strekningen faller inn under tiltaksklasse 2–3 (henholdsvis 500–1500 kroner og over 1500 kroner i tiltakskostnad per tonn CO<sub>2</sub>). Imidlertid virker det sannsynlig at trafikkgrunnlaget vil styrkes betydelig som en følge av kombinasjonen generell trafikkvekst og Ferjefri E39-prosjektet, som i tillegg til ferjeavløsninger også innebærer betydelig vegutbedring.
- **E 39 Bergen–Stavanger:** her er trafikkgrunnlaget noe bedre enn nord for Bergen. Ut fra et konservativt anslag plasserer vi denne innenfor tiltaksklasse 2 i dag. Ut fra forventet trafikkvekst og åpningen av Rogfast i 2026 er det godt grunnlag for å anta at strekningen vil være innen tiltaksklasse 1 innen 2030.
- **E39 Stavanger–Kristiansand:** med en ÅDT på 599 ved Teistedalstunnelen som laveste notering, er det mulig at den sørligste biten av E39 allerede i dag har et trafikkgrunnlag innen rammen av tiltaksklasse 1.
- **E18 Kristiansand–Oslo:** med en gjennomsnittlig ÅDT på 1823 ved trafikkellepunterne og 872 som laveste notering, er det god grunn til å anta strekningen er innen tiltaksklasse 1 allerede i dag.
- **E6 Oslo–Svinesund:** her viser alle tellepunterne ÅDT mellom 2000 og 3000. Tiltaksklasse 1 allerede.
- **E6/E136 Oslo (Verven)–Vestnes:** her er det ÅDT-tall over 500 på tellepunterne langs E6, mens ÅDT tallene er rundt 250 på E136 nordvestover fra Dombås. Det er derfor mulig at E6-delen av strekningen allerede er innenfor tiltaksklasse 1, mens E136 antakelig ligger i tiltaksklasse 3.

- **E6/RV3 Oslo (Hvam)–Trondheim:** her er trafikkgrunnlaget nokså likt E6 sør for Dombås. Da det ikke er hensiktsmessig å bygge ut to elektriske vegalternativer mellom Trondheim og Oslo, kan man se de to alternativene reiserutene mellom Oslo og Trondheim i sammenheng. Dermed kan man regne strekningen Trondheim – Oslo som innenfor tiltaksklasse 1 allerede i dag.

Med utgangspunkt i kostnad ved andre tiltak og forventet vekst i tungtransport i årene framover framstår elektrisk veg som en relativt rimelig måte å redusere klimagassutslippene på ved moderate og optimistiske kostnadsanslag, og muligens også ved konservative kostnadsoverslag.

## Konklusjoner teknologi, energi og regnskap

Resultatene fra ELinGO peker i retning av følgende:

- Ulike teknologier for elektrisk veg har ulik grad av modenhet. Det finnes teknologi som kan tas i bruk relativt raskt og gi utslippsreduksjoner relativt raskt.
- Etablering av elektrisk infrastruktur langs 33% av en vegstrekning og 300 kWh batterier i kjøretøyet synes som en hensiktsmessig kombinasjon for norske forhold.
- Livsløpsanalysen tyder på at man vil få et gunstig klimagassregnskap ved å bygge elektrisk veg i Norge.
- Nytte-kostnadsanalysen tyder på at det samfunnsøkonomiske regnskapet kan gå opp med de trafikk tallene vi forventer i Sør-Norge for tiårene framover.
- Tiltakskostnadene tilsier at elektrisk veg kan være et svært gunstig alternativ sammenliknet med andre alternativer for å kutte klimagassutslipp fra den tunge vegtransporten.

Med lovende resultater fra de tre ulike regnskapene, er det naturlig å stille spørsmålet om hva som er veien videre for å realisere elektrisk veg i Norge.

## Vegen videre: Hva må til for å realisere elektrisk veg?

I prosjektet er det sett nærmere på rammebetingelser i vid forstand - herunder politiske rammebetingelser, roller, ansvar, lovverk, barrierer og muligheter både i forhold til et mulig demonstrasjonsprosjekt og en mulig realisering av et framtidig ELinGO scenario hvor godstransporten langs E39 (eller andre strekninger med tilstrekkelig trafikkgrunnlag) i hovedsak er elektrifisert.

### Systemutfordringer

Det eksisterer en rekke systemutfordringer for å realisere elektrisk veg. Godstransporten er en del av et større system. Det kan beskrives som et (sosio-teknisk) system bestående av en bestemt konfigurasjon av teknologi (bensin- og dieselmotorer), industri (lastebilprodusenter, logistikk), markeder (transportmarkedet, distribusjon og transporttjenester), politikk (gjennom lover og reguleringer), infrastruktur (veier, veistandarder, fyllestasjoner, verksted), med mer.

Sett som system er det en rekke forhold som kompliserer realiseringen av elektrisk veg. Systemendringer krever samspill mellom en rekke faktorer og aktører. Ulike aktører i systemet har ulike oppfatninger av teknologi og forventet teknologit utvikling, ulike interesser og ulik forståelse av problemer, utfordringer og løsninger. Systemer er også ofte stabile, de er først og fremst kjennetegnet av små inkrementelle endringer heller enn radikale endringer. For elektrisk veg – som kan ses på som en radikal systemisk endring av godstransporten - representerer dette en sentral utfordring, og er



kanskje den viktigste barrieren for å realisere et elektrifisert vegsystem, siden dette krever en tettere kopling mellom design av kjøretøy, kraftoverføring, vegdesign og tilkobling til nett. Elektrisk veg representerer med andre ord en radikal systemisk endring av godstransporten som i seg selv er en kompliserende faktor for en ønsket omstilling.

For politiske myndigheter utgjør dette et dilemma. Reguleringer skal som hovedregel være teknologinøytrale. I revidert nasjonalbudsjett er prinsippet om teknologinøytralitet retningsgivende for utformingen av avgiftssystemet:

*Et effektivt og robust avgiftssystem bør ha færrest mulig unntaks-, fritaks-, og refusjonsordninger. Særregler for bestemte typer teknologi er uheldig, og teknologinøytralitet bør derfor være et mål for utformingen av avgiftene over tid. Ved at avgiftssystemet priser de eksterne kostnadene, gis forbrukerne insentiver til å velge biler med mer klima- og miljøvennlig teknologi som gir lave utslipp. Støtte til klimavennlig teknologi bør gjøres ved å stimulere til lavere CO<sub>2</sub>-utslipp generelt, og ikke enkelte teknologier spesielt. Støtte til teknologier som over tid viser seg ikke å være levedyktige, gir feilinvesteringer og samfunnsøkonomisk tap.<sup>10</sup>*

Prinsippet om teknologinøytralitet kan ses som en annen hovedutfordring for realiseringen av elektrisk veg. En elektrifisering av E39 eller andre strekninger med tilstrekkelig trafikkgrunnlag (enten konduktivt eller induktivt), innebærer at myndighetene må gjøre et teknologivalg som vil være problematisk i forhold til teknologinøytralitetsprinsippet i offentlig forvaltning. Likevel er det slik at staten som aktør i stor grad har påvirket tidligere teknologivalg gjennom reguleringer, næringspolitikk og offentlig støtte til forskning og utvikling.

Det er imidlertid annerledes for et demonstrasjonsprosjekt. Et demonstrasjonsprosjekt behøver ikke å stride mot teknologinøytralitetsprinsippet. Tvert om, det åpner opp for en videre teknologitvikling og kan åpne opp for taktskifte for hurtigere innfasing av ny teknologi, og det åpner en teknologisk mulighet til å transformere godstransporten. Et demonstrasjonsprosjekt vil bidra til å:

- 1) Å klargjøre teknologienes modenhet (for eksempel hvordan de klarer seg i kaldere klima, betydningen av salt m.m.).
- 2) Demonstrere at konseptet kan løse et transportbehov og fungere for brukerne.
- 3) Vise hvilke trafikktyper og vegtyper som er egnet for elektrifisering og for ulike teknologier.
- 4) Tydeliggjøre kostnader for demonstrasjonsprosjekter.
- 5) Legge til rette for økt aksept.
- 6) Få uløste spørsmål på bordet.<sup>11</sup>

## Lovverk – ingen hindring (vel og merke med godvilje)

Det er få barrierer mot å etablere et demonstrasjonsprosjekt med eksisterende lovverk. For det første er hensynet til miljø (herunder klima) fastslått som et tungtveiende samfunnshensyn i Veilovens paragraf 1A:

*§ 1 a. Formålet med denne lova er å tryggje planlegging, bygging, vedlikehald og drift av offentlege og private vegar, slik at trafikken på dei kan gå på eit vis som trafikantane og samfunnet til ei kvar tid kan vere tente med. Det er ei overordna målsetting for vegstyremaktene å skape størst mogleg trygg og god avvikling av trafikken og ta omsyn til grannane, eit godt miljø og andre samfunnsinteresser elles.*

I forhold til det kjøretøytekniske vil eventuelle kjøretøy (modifiserte lastebiler med batteri, eventuelt hybridløsninger eller annet) i et demonstrasjonsprosjekt kunne godkjennes særskilt, med utgangspunkt i Forskrift om godkjenning av bil og tilhenger, forkortet Bilforskriften.

<sup>10</sup> Meld. St. 2 (2014–2015). Revidert nasjonalbudsjett 2015. Oslo: Finansdepartementet.

<sup>11</sup> Hugossen, B. et al. (2013: 16). Elektrifiserade vägar för tunga godstransporter. Underlag til färdplan. Rapport: WSP Analys & Strategi.

Hvilke paragrafer som vil være mest aktuelle vil avhenge av type og antall kjøretøy. Krav til trafiksikkerhet, brannsikkerhet og miljø (etter paragraf 1 i Bilforskriften) vil selvfølgelig måtte dokumenteres og etterleves. Ivaretas disse hensyn er godkjenning av kjøretøy til demonstrasjonsprosjekter først og fremst et spørsmål om politisk vilje.

Det samme kan sies å gjelde for infrastrukturen knyttet til vegbanen og omkringliggende områder som et demonstrasjonsprosjekt vil kreve inngrep i. Disse forhold reguleres etter Vegloven og det foreligger en rekke muligheter til å godkjenne nødvendig infrastruktur for et demonstrasjonsprosjekt med utgangspunkt i Veglovens paragrafer 32 og 30 - så lenge eventuelle krav til planlegging, bygging, vedlikehold og drift er ivaretatt, samt at ordinær trafikk kan foregå i tråd med det trafikantene og samfunnet er tjente med (etter Veglovens paragraf 1 a.). Greier en å ivareta ovenstående hensyn er også infrastrukturen knyttet til demonstrasjonsprosjekter først og fremst et spørsmål om politisk vilje. Samtidig er både Nasjonal transportplan og innstillingen fra transport- og kommunikasjonskomiteen meget klar på utfordringene knyttet til lovverk:

*«K o m i t e e n mener det er svært viktig å møte de nye mulighetene teknologien gir, på en offensiv måte. Det er viktig at lovverk ikke står i veien for utviklingen, og at det legges til rette for at det utvikles og tas i bruk ny teknologi.»<sup>12</sup>*

### Roller og ansvar – sentrale aktører

De spesifikke tekniske løsningene (avhengig av valgt elektrisk veg-teknologi og tilhørende kjøretøy som skal demonstreres) vil måtte ivareta en rekke krav innenfor gjeldende lovverk i nært samarbeid med vegmyndighetene. Uansett hvilket demonstrasjonsprosjekt som velges vil Statens vegvesen vegdirektoratet være en helt sentral - om ikke den sentrale aktøren - enten en er direkte med i et eller flere demonstrasjonsprosjekter eller ikke.

Ifølge Veilovens paragraf 9 er Statens vegvesen vegdirektoratets rolle politisk styrt av Samferdselsdepartementet:

*§ 9. Sentralstyremakt for riksvegar er eit vegdirektorat under leiing av ein vegdirektør. Kongen gir nærare føresegner om korleis Vegdirektoratet skal vere organisert, og kva styringsområde det skal ha, og gir instruks for vegdirektøren. Departementet kan gi føresegn om at styremakt som Vegdirektoratet eller regionvegkontoret har til å gjere vedtak som gjeld utbygging, drift og vedlikehald av bestemte riksvegar, skal leggjast til eit statleg utbyggingssselskap for veg.*

I stor grad vil deltakelse i - eller håndteringen av - eventuelle demonstrasjonsprosjekter derfor være betinget av politiske føringer. Et demonstrasjonsprosjekt vil (uavhengig av hvilken aktør) som er prosjektleder måtte inngå i forhandlinger med Statens vegvesen vegdirektoratet om særskilte nødvendige løyver og nødvendige godkjenninger av kjøretøy. Prosjektleder vil videre måtte inngå i regulære kontraktsforhandlinger om bygging, drift, vedlikehold og andre leveranser. En prosjektorganisering med Statens vegvesen vegdirektoratet som prosjektleder er derfor det mest naturlige for et demonstrasjonsprosjekt.

Finansieringen av et demonstrasjonsprosjekt vil være avhengig av statlig støtte. Enten gjennom direkte investerings- og driftsstøtte over statsbudsjettet, gjennom Enova støtte, gjennom utlysninger eller støtte via Norges forskningsråd. Videre vil det være naturlig med en kombinasjon av offentlig – og privat finansiering fra de ulike prosjektdeltakerne. Prosjektstøtte fra det planlagte CO<sub>2</sub>-fondet for godstransport er også en mulighet.

<sup>12</sup> Innst. 460 S (2016–2017). Innstilling fra transport- og kommunikasjonskomiteen om Nasjonal transportplan 2018–2019.



Foto: Siemens

Et demonstrasjonsprosjekt er i det nåværende ELinGO prosjektet tenkt - men ikke nødvendigvis - knyttet til prosjektet ferjefri og utbedret E39. Det foregår allerede faglige utredninger og planlegging etter plan- og bygningsloven på flere deler av strekningen. En mulighet for et demonstrasjonsprosjekt vil kunne være å integrere dette som et demonstrasjonsprosjekt under E39 paraplyen. Enten som et eget prosjekt eller som en integrert del (langs en strekning av E39).

En annen mulighet ville være et demonstrasjonsprosjekt med en lengre strekning med for eksempel overhengende kjøreledning knyttet opp mot pågående og planlagte prosjekter i Sverige og Tyskland. Et demonstrasjonsprosjekt i Norge vil kunne utfylle disse demonstrasjonsprosjektene. Mens demonstrasjonsprosjektene i Sverige og Tyskland tester ut ulike teknologier i innland, vil demonstrasjonsprosjekter i Norge kunne teste ut tilsvarende eller ulike (del)teknologier knyttet til elektrisk veg i et norsk klima og også andre nødvendige deler for en realisering av elektrisk veg, herunder organisering, offentlig – privat samarbeid, finansierings- og forretningsmodeller, med mere.

Gjennom slike demonstrasjonsprosjekter kan Norge bidra inn i en større internasjonal satsning for å løse den store x-en i transportsiftet - tungtransporten.

## **ELinGO-rapporter**

### **Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles**

Overview and electro-technical evaluation of the state-of-the-art for conductive and inductive power transfer technologies

Work package 2

### **Energy and infrastructure - demands and requirements**

Work Package 3

### **Estimations of climate mitigation potential and costs of electric roads in Norway**

Work Package 4.1/4.2

### **Nytte-kostnadsanalyser for alternative elforsyningsløsninger for godstransport på veg**

Arbeidspakke 4.3

### **ELinGO – på vei mot en transformasjon av tungtransporten?**

Rammebetingelser, barrierer og muligheter

Arbeidspakke 4.4

### **Realisation and industrialisation.**

Work package 5

### **Evaluation of constructability of dynamic charging systems for vehicles in Norway**

Appendix I

### **Small-scale model of Inductive charging system for long-haul trucks**

Appendix II

### **Tungtrafikkprognoser på utvalgte veger**

Appendix III

Delrapportene kan lastes ned på [www.elingo.no](http://www.elingo.no)





Støttet av Norges forskningsråd