

AV-RAPPORT 8/2023

Scenarier for utslippsfri kollektivtransport

Perspektiver, analyser og beregninger for
fremtidens kollektivtransport i Viken



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Viken fylkeskommune
Tittel på rapport:	Scenarier for utslippsfri kollektivtransport
Oppdragsnavn:	Scenarier for utslippsfri kollektivtransport
Oppdragsnummer:	638404-01
Utarbeidet av:	Utarbeidet av: Hanne Bertnes Norli og Jan Dietz (del 1, scenarier for utslippsfri kollektivtransport) Hanne Bertnes Norli, Kristine Wika Haraldsen, Harald Høyem og John Ingar Jenssen (del 2, rekkevidde og kostnader)
Oppdragsleder:	Hanne Bertnes Norli
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Viken fylkeskommune har som mål at all kollektivtransport skal være utslippsfri innen 2028. En bredt sammensatt ekspertgruppe har med støtte fra Asplan Viak og Dietz Foresight brukt scenariometodikk for å se på ulike utviklingsløp, og hvilke følger disse vil ha for måloppnåelse. Med utgangspunkt i resultatene fra to verksteder drøfter denne rapporten perspektiver for kollektivtransporten i regionen mot 2040 og 2060.

Videre er det gjort kostnadsberegninger for busstransporten i Viken i 2028, for de ulike drivlinjene batterielektrisk, hydrogen og biogass. Resultatene skal danne grunnlag for arbeid med drifts- og investeringsplaner i Viken og de tre nye fylkene som opprettes i 2024.

1.0	23. apr. 2023	Endelig rapport		
Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	HBN

Forord

Verden er i rask endring, og er preget av større usikkerhet enn på lenge. Omstillingen som det grønne skiftet innebærer, skaper både spennende muligheter og nye kompliserte utfordringer for transportsektoren og samfunnsplanleggingen. På oppdrag fra Viken fylkeskommune har Asplan Viak og Dietz Foresight gjennomført en utredning av ulike scenarier for utslippsfri kollektivtransport i Viken.

Arbeidet har vært delt i to faser. Det ble først gjennomført en verkstedsbasert scenarioprosess med bred deltakelse fra aktører i sektoren, der hovedoppgaven var å identifisere og drøfte trender og drivkrefter som påvirker rammebetingelsene for kollektivtransporten i Viken i fremtiden. Dette arbeidet ble ledet av Jan Dietz i Dietz Foresight. Basert på scenarioene har Asplan Viak deretter gjort beregninger av kostnader og rekkevidde for bussruter i regionen. Analysene er gjennomført av Kristine Wika Haraldsen, Harald Støen Høyem og John Ingar Jenssen. Oppdragsleder i Asplan Viak har vært Hanne Bertnes Norli, mens Øystein Berge har vært kvalitetssikrer.

Gjennom hele prosjektet har det vært et godt samarbeid med oppdragsansvarlig i Viken, Jonas Foss Blakstad, som sammen med Håvard Havro Bjørnstad og Trond Hammervoll har bidratt med gjennomføring av verksteder og gitt gode faglige innspill.

Vi vil rette en stor takk til deltagerne i scenariogruppen og til alle som velvillig stilte opp til dybdeintervju. Prosessen og rapporten ville ikke ha vært mulig uten kunnskapen og engasjementet til ressurspersonene som er nevnt i vedlegg 1 og 2. Vi vil for ordens skyld presisere at ingen av de medvirkende hefter for enkeltformuleringer i denne rapporten.

Oslo, 23.04.2023

Hanne Bertnes Norli

Oppdragsleder

Øystein Berge

Kvalitetssikrer

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1. Innledning	6
1.1. Bakgrunn og formål	6
2. Scenarier for utslippsfri kollektivtransport	7
2.1. Kunnskapsinnhenting og scenarioprosess	7
2.2. To verksteder med bred deltakelse	8
2.3. Tre scenarier for utslippsfri kollektivtransport i 2040	9
2.4. Strategiske implikasjoner for de nye fylkene	12
3. Rekkevidde og kostnader	21
3.1. Rekkevidde og energikostnader ved ulike drivlinjer	21
3.2. Dimensjonering av vognparken	27
3.3. Kostnader ved busstilbudet i Viken	32
4. Referanser	39
5. Vedlegg	41
5.1. Scenariegruppen - deltakere på verkstedene	41
5.2. Dybdeintervjuer	42
5.3. Rekkeviddemodell	43

Sammendrag

Tre scenarier for utslippsfri kollektivtransport i Viken

Scenariometodikk har vært brukt for å vurdere usikkerheten som knytter seg til den utslippsfrie kollektivtrafikken og prioriteringen av energikildene strøm, hydrogen og biogass. De strategiske valgene som må tas innen kort tid, vil være styrende for hva som skjer videre og ha konsekvenser som er følbare langt inn i fremtiden. Konkret handler det om hvilke valg Viken fylkeskommune og de tre nye fylkene må ta for å nå målet om utslippsfri kollektivtransport innen 2028.

Gjennom intervjuer og verksteder med bred deltakelse fra eksperter og fagfolk ble det utviklet tre såkalte what-if-scenarier for utslippsfri kollektivtransport i Viken:

1. Helelektrisk virkelighet
2. Gjennombrudd for hydrogen
3. Full (bio)gass

Scenariene er stiliserte og representerer kontraster. Scenariene viser rendyrkede utfall i 2040: Hva skjer hvis henholdsvis strøm, hydrogen og biogass blir dominerende i kollektivtransporten? Scenariene er blitt brukt til å få et mer fullstendig bilde av både usikkerheten i utviklingen og handlingsrommet for Viken og de tre nye fylkene.

Scenariene og oppsummeringene fra verkstedene har deretter dannet grunnlag for konkrete beregninger av kostnader for Viken.

Rapporten peker i retning av en forsterket strategisk dialog om kollektivtransportens fremtid i Østfold, Akershus, Buskerud og Oslo. Et mulig tiltak er å samarbeide om å overvåke trender og drivkrefter som kan endre rammebetingelsene for kollektivtransporten.

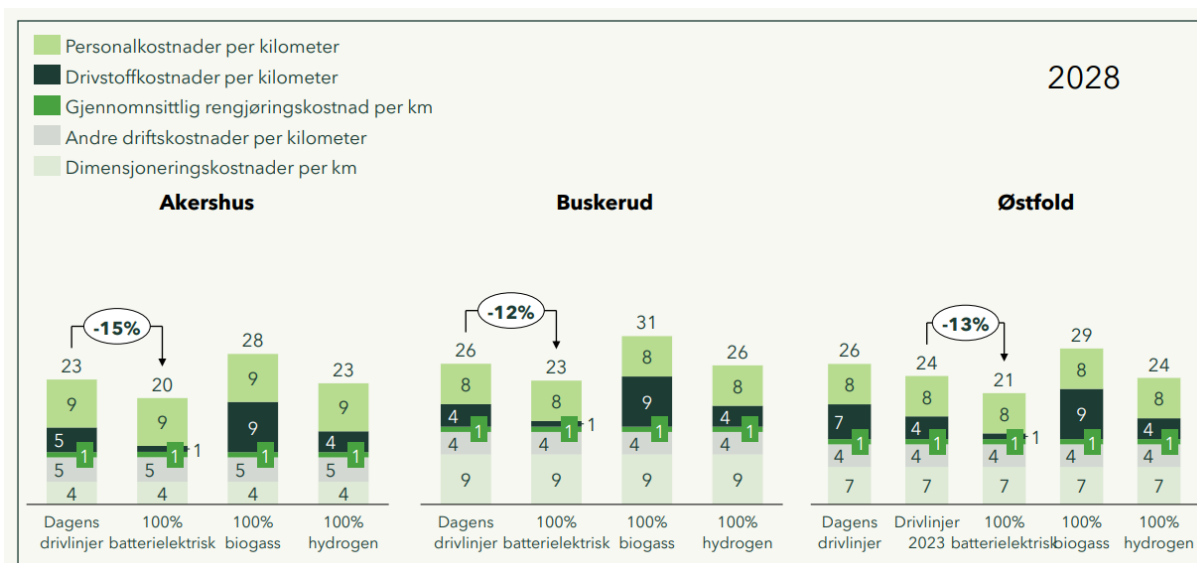
Nullutslipp krever ikke nødvendigvis økning av vognparken

Omlegging til 100 prosent elektrisk drift vil kreve en økning i vognparken, dvs antall busser som er nødvendig for å betjene markedet, på 1-6 prosent. Roland Berger (2015) estimerte at maksimal kjørelengde ved lading over natten var på 240 kilometer i 2015, som innebærer et behov for å øke vognparken 10-20 prosent gitt vår beregning. Oppdaterte tall fra dette prosjektet viser at rekkevidden kan økes til nesten 350 kilometer, som tilsier at man ikke behøver å øke vognparken mer enn 1-6 prosent. Resultatene vi får for elektriske kjøretøy stemmer derfor godt overens med de tallene vi finner i øvrige undersøkelser. Øvrige drivlinjer som er vurdert, har alle sammen en rekkevidde som langt

overstiger 350 kilometer. Vi vurderer derfor at øvrige drivlinjer som er analysert i prosjektet ikke gir behov for økning i vognparken. Dette betyr at en omlegging av bussparken til nullutslippsteknologi ikke nødvendigvis krever økning av vognparken, uavhengig av drivlinje.

Batterielektrisk er alternativet med lavest kostnad per km

Investeringskostnad i bussmateriell vil ifølge nye prognoser være lik på tvers av drivlinjer i 2028. Det er usikkerhet rundt denne prognosen, men trenden går i den retning og er lagt til grunn i våre analyser. Det er derfor drivstoffprisen som avgjør forskjell i kostnad per km for ulike drivlinjer. Biogass og andre former for biodrivstoff er alternativet med høyest drivstoffkostnad, og prisen forventes å øke grunnet økende etterspørsel og begrenset tilgang. Hydrogen ligger mellom batterielektrisk og biogass i drivstoffpris, og det er betydelig usikkerhet knyttet til både pris og tilgang innen 2028. Batterielektrisk drift er alternativet med lavest drivstoffkostnad, og lavest usikkerhet i pris og tilgang fremover. Vi kan forvente at batterielektrisk er alternativet som gir lavest kostnad per km for kollektivtransporten i Akershus, Buskerud og Østfold i 2028.



Figur S.1: Estimert produksjonskostnad per km, inkl. dimensjoneringskostnader, for dagens energimiks samt ulike scenarier i 2028. 2022-kr.

1. Innledning

1.1. Bakgrunn og formål

Viken fylkeskommune har det overordnede ansvaret for kollektivtrafikken i regionen, som administreres av selskapene Ruter As, Brakar As og Østfold kollektivtrafikk. Viken har vedtatt et mål om å bli en utslippsfri organisasjon innen 2028, og har behov for å avklare hvordan man best når dette målet innenfor kollektivtransportsektoren.

Mye er allerede gjort på feltet - ikke minst har administrasjonsselskapene gjennomført utredninger og analyser om temaet som grunnlag for sine anbudsprosesser. Denne rapporten bygger på kunnskapen fra tidligere utredninger. Det skal bemerkes at flere allerede tildelte tilbud har varighet langt utover 2028, slik at denne rapporten vil være et delbidrag til beslutninger om å nå mål om nullutslipp i 2028.

Viken fylkeskommune har ønsket å benytte fremsynsmetodikk og scenariometodikk for å se på ulike mulige utviklingsløp for batteribusser, hydrogenbusser og biogassbusser fremover mot 2028, 2040 og 2060. Samtidig har fylkeskommunen behov for konkrete beregninger av kostnader og rekkevidde for bussrutene i regionene, gitt ulike scenarier for energibærere i 2028.

Viken fylkeskommune skal oppløses, og Akershus, Buskerud og Østfold skal gjenopprettes fra 1. januar 2024. Viken fylkeskommune vil i 2023 utforme grunnlaget for drifts- og investeringsplanene som skal vedtas av de tre gjenoprettede fylkeskommunene.

Rapporten sammenfatter arbeidet med scenarier for utslippsfri kollektivtransport i Viken med et langt tidsperspektiv, og de mer konkrete analysene som Viken og de tre nye fylkene vil ha behov for i sitt budsjettarbeid.

2. Scenarier for utslippsfri kollektivtransport

2.1. Kunnskapsinnhenting og scenarioprosess

Scenarier er en metode som brukes for å ramme inn og undersøke usikkerheten i utviklingen. Scenarier bygger på en forståelse av så vel sikre (tunge) trender som usikre drivkrefter. I dette tilfelle har scenarioene vært benyttet til å vurdere de langsiktige konsekvensene av strategiske valg som må tas nå, men som kan ha uklare implikasjoner og som også må kunne fungere under endrede rammebetingelser. Tidsperspektivet har vært 2040, med et blikk også mot 2060. Målet om en fullstendig utslippsfri kollektivtrafikk i Viken (Østfold, Buskerud og Akershus) innen 2028 krever en allsidig belysning av fordeler og ulemper ved energikildene strøm, hydrogen og biogass.

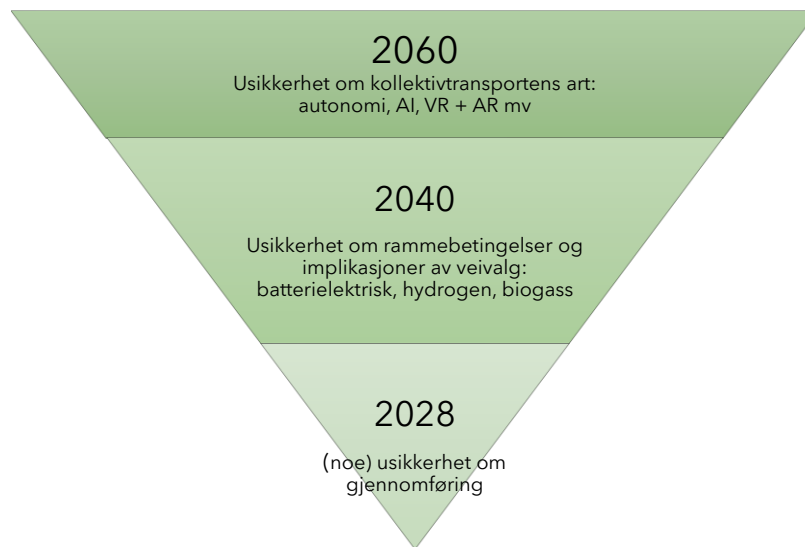
Transportsektoren er investeringstung, og levetiden for infrastruktur og anlegg er lang. Det samme er driftskontraktene som utgjør betydelige kostnader ved kollektivtransporten. Valg av løsninger for å nå målet i 2028, må derfor ses i et lengre tidsperspektiv.

I et 40-årsperspektiv vil en rekke makrotrender, eksempelvis forbundet med befolkningsutvikling, bosetningsmønstre og arbeidsmarkeder, kunne endre rammebetingelsene for kollektivtransport i Viken og Norge på grunnleggende vis. Både pandemien, krigen i Ukraina og kostnadsøkningen på drivstoff og strøm illustrerer samtidig hvor sammenvevd verden er blitt og hvor uforutsigbar utviklingen er. For kollektivtransporten er utviklingen av nye mobilitetsformer og rammebetingelsene for biltransport avgjørende for etterspørselen på lang sikt. I en situasjon der vi kan få radikale snarere enn inkrementelle endringer i samfunnet, teknologien og økonomien, vil tradisjonelle prognoseverktøy ikke kunne gi fullgode svar på hvilke transportløsninger som skal velges fremover.

Arbeidet med å utvikle scenarier for utslippsfri kollektivtransport skjedde gjennom en prosess bestående av to scenarioverksteder med bred deltakelse. En scenariogruppe med til sammen 40 personer deltok på de to verkstedene (se vedlegg). I scenariogruppen deltok representanter for fylket, de tre administrasjonsselskapene, operatører, energibransjen og fageksperter på ulike områder. Scenarioprosessen bygde på dialog, felles ideutvikling og gruppearbeid, med utforming og bruk av tre enkle, klassiske what if-scenarier. Det ble presisert at alle deltok i ideutviklingen på uavhengig basis, uten bundet mandat.

Som et ledd i forberedelsene til verkstedene ble det gjennomført 15 dybdeintervjuer med 17 ressurspersoner med inngående kjennskap til Viken, kollektivtransportsektoren og/eller energispørsmål (se vedlegg). Dybdeintervjuene ble brukt til å peile inn problemstillinger som er relevante for forståelsen av utfordringene både i et kortere og et lengre tidsperspektiv (2028, 2040 og 2060).

Formålet med scenarioprosessen var altså å drøfte konsekvenser av strategiske veivalg inn mot 2028 basert på scenarioer for 2040, og mot et bakteppe av mulige trender og drivkrefter som kan strekke seg enda lengre mot 2060. Figuren nedenfor illustrerer spennet i usikkerhet for de ulike tidsperspektivene.



2.2. To verksteder for utvikling av scenarioene

Det ble gjennomført to verksteder, over henholdsvis halvannen dag og en hel dag:

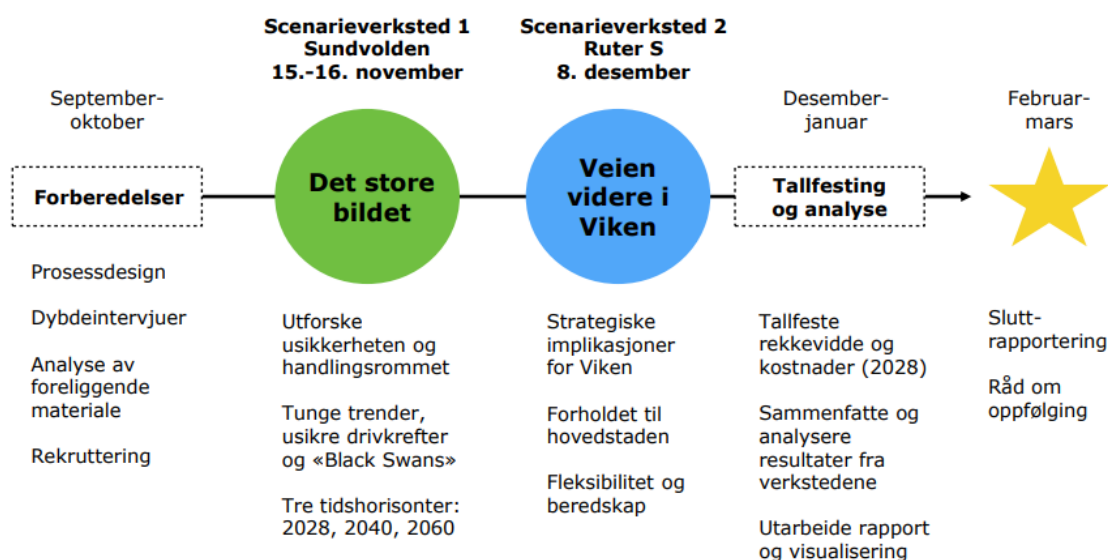
Scenarioverksted 1: Det store bildet

Hovedoppgaven på dette verkstedet var å utforske usikkerheten i utviklingen og påbegynne diskusjonen om handlingsrommet for Viken (Akershus, Østfold og Buskerud). Med utgangspunkt i forhåndsutarbeidede skisser ga deltagerne innhold til tre scenarioer som tar for seg hva gjennombrudd for henholdsvis elektriske batterier, hydrogen og biogass vil ha å si for oppnåelsen av målet om en helt utslippsfri kollektivtrafikk i 2028. Deltakerne identifiserte også tunge trender, usikre drivkrefter og såkalte Black Swans som

kan ha stor betydning for kollektivtrafikken sett i et lengre perspektiv (2040 og 2060), med tanke på å forstå noe av risikoen forbundet med langsiktige satsinger og investeringer.

Scenarioverksted 2: Veien videre i Viken

På dette verkstedet ble scenarioene aktivt brukt til å forstå hva ulike veivalg vil bety for Viken (Østfold, Buskerud og Akershus). Innsikter fra fremtidsdiskusjoner på både dette og det forrige verkstedet ble benyttet til å konkretisere muligheter, dilemmaer og problemer som kan bli viktige i tiden etter at Viken er blitt oppløst. Hvordan sikre en smidig og fremsynt videreutvikling av infrastrukturen? Hva slags beredskap for større endring i transportsystemet vil det være behov for? Deltagerne drøftet også samarbeidet mellom fylkene, forholdet til hovedstaden og samhandlingen mellom offentlig og privat sektor.



2.3. Tre scenarioer for utslippsfri kollektivtransport i 2040

Tre poengterte, stiliserte scenarioer for kollektivtransporten i Viken, med 2040 som tidsperspektiv, ble utformet og diskutert på de to scenarioverkstedene. Nedenfor oppsummerer vi resultatene fra verkstedene. Det omfatter en kort beskrivelse av scenarioene, hvilke trender og drivkrefter som har ført frem til utviklingen og hvilke

konsekvenser og mulige spenninger og dilemmaer de kan innebære. Det er viktig å presisere at dette er nettopp oppsummering av det som kom frem på verkstedene. Det er dermed et øyeblikksbilde av den samlede kunnskapen og kompetansen hos deltagerne, og den drøftingen og analysen som ble gjort over disse to dagene. Her kan man være enig eller uenig i enkelte påstander, men samlet sett vurderer vi at verkstedene, med den brede deltagelsen av ulike kompetanser, ga et godt bilde av de utfordringer og muligheter vi ser for kollektivtransporten fremover.

2.3.1. Scenario 1: Helelektrisk virkelighet

I dette scenarioet er kollektivtransporten i Viken blitt tilnærmet helelektrisk. Det er flere forklaringer på at det blir slik. Den viktigste er at problemene med energilagring er løst, vi har tilstrekkelig overføringskapasitet i strømmettet og tilgang på rimelig strøm. Kjernekraft har fått en renessanse, noe som styrker produksjonen av strøm. Politiske reguleringer er innført på nasjonalt og regionalt nivå, ofte også på EU-nivå. Videre er biogass tatt opp av andre markeder (tungtransport m.m.), og hydrogen har funnet sin plass i industrimarkedet.

Transportbildet i 2040 bærer preg av at kollektivtilbudet er stille, rent og behagelig. Ladeinfrastrukturen er fullt utbygget, og ladetjenester deles i utstrakt grad med annen transport. Kjøretøyparken er også endret, med flere mindre, fleksible og til dels autonome kjøretøy. En helelektrisk kjøretøypark åpner for at gatearealer i bysentrum i større grad deles av flere trafikanter – busser og mindre kjøretøy kan kjøre i blandet trafikk med gående og syklende.

Konsekvenser for kollektivtransporten i de tre fylkene vil være at investeringsbehovet på kort sikt øker, både m.h.t. bussmateriell og ladeinfrastruktur. Kollektivselskapene i dette scenarioet har fått en bredere rolle, med økt vekt på å gi et samlet mobilitetstilbud. Dette kan igjen berede grunnen for å etablere et felles administrasjonsselskap på tvers av de tre nye fylkene. Administrasjonsselskapene vil kunne få større innkjøpsmakt, noe som vil bidra til lavere priser på både strøm og materiell.

Spenninger og dilemmaer: Systemet hviler tungt på én energibærer og er derfor sårbart. Det er også tenkelig at en helelektrifisering innebærer at kollektivtransporten må prioriteres foran andre sektorer i kampen om elektrisiteten, noe som kan bli krevende politisk. En ensidig vektlegging av batterielektrisk teknologi kan også komme i konflikt med andre politiske mål, som næringsutvikling innen bioenergi eller hydrogenteknologi, og man kan få diskusjoner om privat frihet vs. offentlig styring. Sist, men ikke minst, vil det være diskusjoner om livsløpsanalyser og etiske betraktninger der noen kan hevde at batterielektriske løsninger ikke nødvendigvis er det mest bærekraftige valget.

2.3.2. Scenario 2: Gjennombrudd for hydrogen

I dette scenarioet har hydrogen fått et gjennombrudd i kollektivtransporten i Viken. Mye har skjedd for at dette er blitt en realitet. Teknologiutviklingen globalt har skutt fart, og man har fått en mer effektiv produksjon av hydrogen og en bedre utnyttelse av brenselceller. Utviklingen av batteriteknologi har av ulike grunner stoppet opp. EU har valgt å gå inn for hydrogen, og utformer krav som også Norge må følge. EU har tatt opp kampen med Kina om å bli ledende på hydrogen, med mål om å sikre europeisk kompetanse og europeiske arbeidsplasser knyttet til denne teknologiutviklingen. Den norske staten har innført insentiver for bruk av hydrogen. Hydrogen erstatter fossilt brensel også på andre områder enn transport, noe som forsterker hydrogenets posisjon.

Transportbildet i 2040 bærer preg av at hydrogen er blitt ledende innenfor kollektivtransporten; alle regionbusser og også langdistansebusser går på hydrogen, kun enkelte bybusser bruker batterielektrisk drivlinje. Bensinstasjonen fungerer som hydrogenstasjon og brukes av alle transportmidler. Ferger og hurtigbåter har forlatt diesel til fordel for hydrogen. Det at motorene bare slipper ut vann, hilses velkommen som ekstra miljøvennlig.

Konsekvenser for kollektivtransporten i de tre fylkene er blant annet at man har sluppet utbygging av ny ladeinfrastruktur, noe som ville ha vært nødvendig ved helelektrifisering og batterielektriske løsninger. Man får samtidig en sterk offentlig satsing på teknologiutvikling og produksjon, og med det økt offentlig styring. Dette er en verden der busser får høyere prioritet innenfor kollektivtransporten, og der det innføres nye strenge restriksjoner på bruk av personbil, særlig i bynære områder. Staten, fylket og kommunene får ansvaret for all kollektivtransport, inkludert langdistanse-/ekspres buss. Vi ser økt oppslutning om kollektivtransporten i Viken.

Spenninger og dilemmaer: Hydrogen er et eksplosivt og brennbart stoff, og hos publikum finner man derfor en vedvarende frykt for eller skepsis til teknologien. Enkelte vil mene det er uklokt å investere i hydrogenteknologi når man allerede har investert betydelig i andre energibærere. På samme måte som i «Helelektrisk virkelighet», ligger det en sårbarhet i at man er avhengig av én teknologi, noe som utfordrer beredskapen.

2.3.3. Scenario 3: Full (bio-)gass

I dette scenarioet har biogass fått en dominerende rolle i kollektivtransporten i Viken. Bakgrunnen er at det har skjedd en holdningsendring i synet på avfall, som anses som en ressurs som må utnyttes. Biogass anses fordelaktig i et livsløpsregnskap og inngår i et større gjennombrudd for sirkulærøkonomi i samfunnet og markedet. Biogass er blitt et

viktig bidrag til å løse energimangelen i verden og Europa, og i EU har man fått en rask overgang fra diesel til biogass i transportsektoren. Det er blitt utviklet brenselceller for biogass med null utslipp av partikler og NOX. Energitilgangen er knyttet mer direkte opp mot lokale ressurser, og transporten er derfor blitt effektivisert.

Transportbildet i 2040 preges av at biogass dominerer på all busstransport, inkludert langtransport og turvogner. Andelen autonome busser er mindre enn ekspertene i sin tid spådde, og biogassbussene har sjåfør av sikkerhetsmessige grunner, noe mange setter pris på. Biogass er blitt billig, og sambruk med tungtransport har fått ned kostnadene vesentlig.

For kollektivtransporten de tre fylkene er det en fordel at eksisterende infrastruktur kan utnyttes, og man sparer kostnader til nye investeringer. Biogass har vist seg å være en robust, sikker og velprøvd drivlinje, noe som gjør at fylkene og kollektivselskapene kan fokusere på videreutvikling av selve kollektivtilbudet. Biogass kan produseres og lagres lokalt mange steder i fylkene, noe som styrker driftsstabiliteten, forsyningssikkerheten og beredskapen. Det er også god tilgang på arealer til bussanlegg, fyllestasjoner og produksjon. Man kan også bruke andre former for gass - som naturgass fra Nordsjøen, og biogass kan benyttes til å lage strøm om det trengs. På den måten får man fleksibilitet i driften og styrket beredskap.

Spenninger og dilemmaer: Bruken av biogass kan oppleves som sterkt politisk styrt og drevet av målet om næringsutvikling snarere enn av hensynet til hva som gir det beste kollektivtilbudet til kundene. Viken blir stående alene med dette teknologivalget, ettersom Oslo og de andre fylkene velger elektrifisering. Kollektivtransporten blir mindre attraktiv sammenlignet med nullutslippsbiler, og det kan oppstå en lock-in på biogassteknologi som siden blir vanskelig eller kostbart å endre

2.4. Strategiske implikasjoner for de nye fylkene

Basert på scenarioene drøftet deltakerne i scenariogruppen de strategiske implikasjonene for infrastrukturen, utviklingen av mobilitetstjenester, beredskapen for kriser og større endringer og samspillet mellom offentlig og privat sektor. Deltakerne drøftet også konsekvensene for de enkelte delene av dagens Viken (Akershus, Buskerud og Østfold), det fremtidige samarbeidet mellom de tre fylkene og deres forhold til Oslo. Det har ikke vært mulig å gå i dybden på alle relevante problemstillinger. Her er noen hovedpoenger fra diskusjonene:

- En fremtid med stor grad av batterielektrisk drift av kollektivtransporten i Viken er mer sannsynlig enn alternativene, ikke minst fordi Oslo og Akershus langt på vei allerede har valgt denne teknologien. Det må også noteres at batterielektrisk er en teknologi som velges av andre byområder og for andre mobilitetsformer, som er i sterk utvikling internasjonalt og som har støtte gjennom reguleringer i EU.
- Beredskap er samtidig et hensyn det ikke kan tas lett på, og i et helelektrisk scenario er man mer sårbar for hendelser som påvirker energiforsyningen.
- Kampen om strømkapasiteten kan bli krevende for kollektivtransporten dersom man i Norge i samme tidsrom også skal gjennomføre en helelektrifisering av mange andre sektorer.
- Offentlig sektors rolle blir betydelig i alle scenarioer, gjennom insentiver, tilrettelegging og utbygging av nødvendig infrastruktur. Viktigst blir antakelig det offentliges rolle dersom man skal ha en stor satsing på hydrogen, som vil innebære betydelig investeringer i produksjon, infrastruktur, fyllestasjoner etc.
- De nye fylkene har i dag en noe ulik energimiks, og man oppfatter at Østfold, basert på tidligere politiske vedtak skiller seg ut med sitt ønske om næringsutvikling innen biogass. Dersom dette næringspolitiske målet opprettholdes kan det påvirke prioriteringer og valg knyttet til kollektivtrafikken.
- Scenariogruppen var delt med tanke på betydningen av å se kollektivtransportens behov i sammenheng med mål om utvikling av næring innen energiforsyning. Dette er i stor grad et politisk spørsmål, og det ble understreket at fagfolks oppgave vil være å synliggjøre konsekvensene av eventuelle synergier eller målkonflikter som kan oppstå når man skal forsøke å oppnå flere ting samtidig.

2.4.1. Seks lærdommer fra verkstedene

Scenariogruppen diskuterte tunge trender, usikre drivkrefter og mulige omslag i utviklingen i et lengre tidsperspektiv, med blikket rettet mot 2040 og 2060. Kan endringer i et 20- og 40-årsperspektiv påvirke hvordan målet om utslippsfri kollektivtransport i 2028 kan eller bør oppfattes, og i tilfelle hvordan? Hvilke lærdommer fra 2040 og 2060 er det viktig å ta med seg i forståelsen av 2028?

Disse diskusjonene favnet videre enn de tre energibærerne og temaet utslippsfri kollektivtransport, men innsiktene viser hvor sammenvevde ulike problemstillinger innen transportsektoren er. Vi oppsummerer her seks lærdommer fra verkstedene som Viken og de nye fylkene kan ta med seg i sitt arbeid med utvikling av bærekraftig mobilitet i regionen.

1. Usikker energitilgang

Også i et langt tidsperspektiv vil tilgang til energi være en kritisk faktor for transportsektoren og samfunnsutviklingen. Man kan anta at tilbudet (produksjonen) av fornybar energi vil øke, at distribusjonen vil bli mer effektiv (flere og bedre kraftkabler) og at energisparende tiltak vil ha effekt. Men i et noe lengre perspektiv kan man heller ikke utelukke at Norge og Viken vil oppleve ressursknapphet. Alle sektorer i samfunnet skal elektrifiseres, og det vil oppstå skarp konkurranse om den fornybare energien, både i Norge og ellers i Europa. Det norske kraftnettet er allerede under press, og overgangen til utslippsfri transport krever en utbygging av kapasiteten. Det er heller ikke mulig å se bort fra ytre sjokk som kan påvirke energitilgangen og energiprisene.

Å sørge for sikker og stabil tilgang på tilstrekkelig fornybar energi til kollektivtransporten, blir en hovedoppgave for norske myndigheter. Faren for ikke å ha nok energi, tilsier som et minimum at beredskapen i Viken trappes opp gjennom reserveløsninger i form av nødaggregater og kjøretøy som ikke går på elektrisitet. Alle energikilder, også biomasse/biostoff, må utnyttes og inngå i den samlede beredskapen i samfunnet. Vind og sol trenger et energilager, og hydrogen kan være en del av svaret.

2. Risiko ved én energibærer

Som tidligere konkludert, ser batterielektrisk strøm ut til å få gjennomslag og må følgelig regnes som en forutsetning for gjennomføringen av målet om utslippsfri kollektivtransport i Viken innen 2028. Hvis batterier står igjen som den eneste eller den helt dominerende energibæreren, øker til gjengjeld risikoen på lengre sikt. Transportsystemet blir mer sårbart. Den mulige energiknappheten vi har pekt på i det foregående, henger sammen med og er en del av en generell ressursknapphet som også omfatter mineraler og arealer. Med blikket rettet mot 2040 og 2060, er det ikke vanskelig å forestille seg at det kan oppstå problemer med tilgangen på sjeldne mineraler, noe som kan føre til leveringsproblemer for batterier til busser, og at det kan bli krevende å frigjøre nye arealer til ladestasjoner.

Risikoen og sårbarheten understreker behovet for å arbeide med beredskapen og robustheten i transportsystemet. Det betyr at Viken i 2028 og senere trolig vil trenge alle tre energiformer for å ta ned risikoen, også HVO100 (biodiesel).

3. En mer kundetilpasset mobilitetsutvikling

For at samfunnet skal nå klimamålene, må flere enkeltpersoner og organisasjoner velge bærekraftige mobilitetsløsninger. Sett i lys av både målet om utslippsfri kollektivtrafikk i 2028 og publikums voksende forventning om fleksibilitet, effektivitet og bekvemmelige

reiser, må kollektivselskapene fortsette å utvikle kundetilpassede mobilitetstilbud. Det må bli lettere for folk å reise kollektivt, og det må bli enklere å bytte mellom transportmidler og benytte nye mobilitetstjenester.

I Viken betyr dette at det er behov for både en større satsing på de tunge rutene og et sett med mindre og mer fleksible løsninger som mater inn mot de tunge rutene.

Samtidig kan dette medføre krevende avveininger mellom teknologiske løsninger og infrastrukturinvesteringer for å nå klimamål, og mer operative kostnader knyttet til selve kundetilbudet (som frekvens, kapasitet, komfort og pris). For å legge grunnlag for gode strategiske valg og beslutninger, vil det være behov for løpende kunnskapsinnhenting, videreutvikling av analysemetoder og en betydelig samordning mellom aktørene i sektoren. Et felles system for overvåking av trender og omverdensanalyse kan være ett av flere aktuelle tiltak som kan bidra til å løfte kunnskapen på tvers av aktørene i sektoren.

4. Uklarhet om fremtidige reisebehov og reisevaner

I et 20- og 40-årsperspektiv (2040/2060) kan det inntreffe demografiske endringer som påvirker etterspørselen og transportbehovet på en mer gjennomgripende måte. Hvis befolkningsveksten i Viken stagnerer, svekkes behovet for å bygge ut kollektivtransporten. Dermed kan behovet for nye store planlagte investeringer av typen nasjonal tog tunnel og T-banetunnel falle bort, og faren for offentlige feilinvesteringer øker. Befolkningsveksten påvirkes samtidig sterkt av utviklingen utenfor Norge. En mulig kraftigere befolkningsvekst som følge av migrasjon og fortsatt sentralisering gjør det også vanskeligere å planlegge kollektivtilbudet, men vil samtidig bidra til økt markedsgrunnlag for kollektivtransporten.

Energiknappheten vi har pekt på, kan også utløse langt strengere krav om energisparing og energieffektivitet, restriksjoner på reiser i overbelastede strøk og på spesielle tider av døgnet, og i neste omgang redusert samlet reisevirksomhet i samfunnet. Fjernarbeid og nye bo- og samværsformer kan trekke i samme retning. I et lengre perspektiv er det mulig å se for seg færre motoriserte reiser og færre lange reiser. Det er uklart hvordan slike utviklingstrekk slår ut. Kollektivtransporten kan enten bli viktigere eller bli utkonkurrert av utslippsfrie privatbiler og/eller bildeling og andre mobilitetsformer.

Usikkerheten om fremtidige reisebehov og reisevaner er betydelig. Kollektivtransporten spiller en ekstra viktig rolle på Østlandet og i Viken (Østfold, Akershus og Buskerud), som har den største befolkningskonsentrasjonen og befolkningstettheten i Norge. Hva som er bærekraftig transport, vidt forstått og vurdert i et lengre perspektiv, er ikke åpenbart. Å se mot 2028 er nyttig, men ikke tilstrekkelig.

5. Autonomi «endrer alt» - men ikke ennå

Autonome transportløsninger har vært et samtaletema i flere år, men gjennombruddet ser ut til å ta lengre tid enn mange har trodd. Men når eller hvis gjennombruddet kommer, vil det kunne revolusjonere transporten. Autonomi vil kunne ha en like stor effekt på organiseringen av transport som internett og digitalisering har hatt på informasjonsflyten og kommunikasjonsformene i samfunnet. Selvkjørende biler og busser representerer spennende muligheter, men vil også kunne undergrave satsingen på kollektivtransport.

Viken og hovedstadsområdet har i dag ingen virkelig beredskap for de omveltningene autonom transport kan innebære, selv om det har vært gjennomført spennende pilotprosjekter i regi av Ruter og Brakar. Det vil bli nødvendig å tenke helt nytt om forflytningen om mennesker, varer og tjenester. Ingen av de tre fylkene kan klare denne oppgaven på egenhånd - den må løses sammen. Jo tidligere den strategiske tenkningen kommer i gang, desto lettere vil det være å unngå feilvurderinger og feilprioriteringer i kollektivtransporten.

6. Behovet for helhetstenkning og samordning øker

Analysen av endringer som kan tenkes å inntreffe i et 20- og 40-årsperspektiv, underbygger behovet for samordning. Transportsektoren er fragmentert allerede i dag. Viken vil snart bli splittet opp i tre fylker, og oppgavene fremover kommer til å bli større og mer komplekse. Hverken Viken eller landet som helhet er i dag godt nok rustet til å håndtere kompleksiteten og foreta krevende avveininger om fremtidens bærekraftige mobilitetsløsninger. De store ressursene i sektoren ligger hos de statlige transportvirksomhetene Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet, Kystverket, Avinor og Nye Veier. Samtidig har kommuner, fylkeskommuner og kollektivselskaper et sentralt ansvar for å bidra til en bærekraftig utvikling av transportsystemene, ikke minst for kollektivtransporten. Mange i scenariogruppen etterlyser en sterkere statlig innsats for å sikre videre bærekraftig utvikling av kollektivtilbudet i byer og regioner

2.5. Råd om veien videre

De to scenarioverkstedene fikk frem en rekke forhold som det er verdt å ta med seg videre i utviklingen av kollektivtransporten i Viken. Noe av det som kom frem, er kanskje kjent for enkelte, mens andre momenter sannsynligvis har vært nye. Det viktigste ved slike åpne diskusjoner om en ukjent fremtid, er å få en felles forståelse av hvilke drivkrefter som har størst innflytelse. Diskusjonene belyste både hva som er sikkert og hva som er usikkert knyttet til kollektivtransportens utvikling. Denne innsikten får betydning for de valgene som skal tas nå.

Avslutningsvis drøftet scenariogruppen veien videre for Viken og de tre fylkene som skal gjenoppstå. Hvordan motvirke silotenkning, «smørbrødlister» og en fragmentert oppfølging? Hvordan sikre langsiktig, helhetlig tenkning? Det var enighet om at det er viktig med en felles gjennomtenkning av hva som bør skje i 2023, mens Viken fylkeskommune fortsatt fungerer, og i perioden 2024-2028, når Østfold, Akershus og Buskerud har ansvaret for å fullføre arbeidet med å gjøre kollektivtransporten utslippsfri.

Det er nødvendig å løfte blikket mot horisonten. Scenariogruppen reflekterte derfor også over hvordan usikkerheten i et lengre perspektiv (2040/2060) kan håndteres.

Utslippsfri kollektivtransport krever tiltak og koordinering:

Kollektivselskapene har allerede tatt lange steg i retning av å gjøre kollektivtransporten utslippsfri, og har gode strategier og planer for å bli helt utslippsfrie. Det offisielle målet om en fullstendig utslippsfri kollektivtransport i Viken innen 2028 krever likevel årvåkenhet og et fortsatt nært samarbeid, både mellom de tre fylkene og hovedstaden, og mellom kollektivselskapene ØKT, Brakar og Ruter. Ennå mangler en samlet oversikt over barrierer, utgifter og gjenstående oppgaver i Akershus, Østfold og Buskerud. I dag (2022/2023) definerer de tre fylkene nullutslipp på ulike måter.

Det er behov for en mer systematisk tilnærming til gjennomføringen, trolig også noen nye grep. Infrastrukturen må videreutvikles. Det må settes av flere arealer til ladning og fylling av kjøretøyer, både i urbane og landlige områder. Nye forretningsmodeller for energifylling og lading, for eksempel sett i sammenheng med samlet behov i transportsektoren, bør utforskes. Batteribusser er i dag for tunge, og det må jobbes med å forsterke broer og andre overbygg. Så vel livsløpsutslipp og -kostnader som indirekte kostnader ved investeringer (inkludert lade- og fyllinfrastruktur) og utgifter til bussanlegg og energiproduksjon må tas med i beregningen. Viken trenger skalerbare løsninger, og det er bare 5 år til 2028. Dette er en oppgave som må løses i fellesskap.

Persontransport i et helhetlig perspektiv:

Persontransport/mobilitet krever et helhetlig perspektiv, og transportformene (tog, bil, sykkel, T-bane, buss, fly, båt og buss og nye mobilitetsformer) kan ikke behandles hver for seg. Som det har vært sagt: Klimamålet er en port vi alle må gjennom, det er ikke noe vi kan velge bort (Miljødirektoratet). Fremtidens persontransport må bygges på nullutslippsløsninger. Det viktigste for å nå klimamålet, er å få flere til å velge miljøvennlige transportformer. Det betyr også at energieffektivitet blir viktigere, en utfordring som handler om langt mer enn transport. Transport må i større grad planlegges i sammenheng med energi og by- og stedsutvikling.

Utnytte energiformenes fortrinn:

Det er viktig å benytte energiformene der de har fortrinn, også fordi energiprisene generelt ser ut til å stige. El er velegnet for busser, mens biogass kan brukes til å produsere varme direkte. Strøm kan eventuelt produseres på returvarmen. Viken har rikelig med biogass, og vil kunne få enda mer i fremtiden, og det er derfor avgjørende at biogassen håndteres slik at den ikke går til spille. Biogass må utnyttes i et helhetlig, sirkulært perspektiv. Hydrogen kan passe godt til langtransport og tungtransport.

Økt sårbarhet:

Det er usikkerhet og delte meninger om den fremtidige balansen mellom og bruken av strøm, hydrogen og biogass, men de fleste holder en knapp på batterielektrisk strøm. Om alt eller det meste legges på én energibærer (strøm), slik det nå ser ut til, øker både effektiviteten og sårbarheten i transportsystemet. En stor oppgave fremover blir å gjøre transportsystemet sterkere, mer fleksibelt og mer motstandsdyktig.

Arven etter Viken:

Kompetansen som er bygget opp i Viken, må bevares. Det store fagmiljøet i Viken i dag er svært kompetent, og bredt sammensatt. Når fylket nå oppløses, er det fare for at dette kunnskapsmiljøet forvitrer, og at de relativt sett mindre gruppene i de nye fylkene ikke vil kunne spesialisere seg i samme grad. Derfor bør man tilstrebe et tett samarbeid og en klar ansvarsfordeling også i fortsettelsen, slik at kunnskapsmiljøet kan beholdes tilnærmet som det er i dag.

Utfordringen med manglende sømløshet vil bestå når fylkene går fra hverandre, og kan bli enda mer krevende. Flere i scenariogruppen pekte på behovet for enklere pris- og betalingsløsninger, på tvers av fylker og regioner.

Enkelte i scenariogruppen understreket også betydningen av å gi kollektivselskapene frihet til å utvikle nye løsninger og utnytte selskapenes innovasjonskraft. En av fordelene med mindre fylker er at det er enklere å teste ut, pilotere og iverksette tiltak og ideer.

Ved sammenslåing og deretter oppsplittelse har aktørene fått erfaring med nye arbeidsformer og samarbeidsformer. Fylkene og selskapene bør se på hva som har vært mest vellykket og hva som har vært mindre vellykket. Deretter kan man lære av feilene som er gjort, og ta vare på det som er bra. Dette fordrer god kommunikasjon mellom aktørene.

Erfaringen viser også at det kan være behov for et klarere skille mellom innovasjon/utvikling og vanlig drift i transportselskapene. Et slikt skille vil antagelig gjøre

det enklere å jobbe systematisk med fremtidige kundebehov, internasjonale trender, nye forretningsmodeller m.v.

Arbeidet med Nasjonal transportplan (NTP) må forbedres:

Scenariogruppen drøftet NTP, og det synes å være enighet om at arbeidet med planene kan forbedres. Kostnadsutvikling og krevende plan- og utredningsprosesser har bidratt til at staten ligger betydelig på etterskudd med de store samferdselsinvesteringene i forhold til det som er blitt lansert i NTP (Oslo-navet, InterCity, Ringeriksbanen osv.). Med dagens økonomiske perspektiver legges det i økende grad vekt på å få mer ut av det man allerede har, og det kan ikke forventes igangsettelse av nye store prosjekter.

Fylkene og kommunene i Viken bør samarbeide om å få frem tydeligere prioriteringer i NTP-arbeidet, og bidra til at de store samfunnsmålene som bl.a. gjelder utslippskutt, settes øverst. Klima- og miljømål er riktignok en bærebjelke i NTP, men målene er ennå ikke satt i tydelig sammenheng med kollektivtransporten. I tiden som kommer, bør transportvirksomhetene og fylkeskommunen(e) samarbeide tettere om NTP. I dag er det for mye suboptimalisering og kamp mellom regioner og mellom etater, noe som fører til at de store samfunnsspørsmålene drukner underveis.

Behov for løpende strategisk dialog:

Rapporten har vist at målet om utslippsfri kollektivtransport i 2028 ikke kan vurderes løst fra utfordringer og muligheter sett i et lengre tidsperspektiv (2040 og 2060). Kollektivtransporten er i støpeskjeen, og den teknologiske og samfunnsmessige utviklingen går stadig raskere. Det er behov for en løpende (regelmessig) strategisk dialog om kollektivtransportens vilkår i Viken, med aktiv bruk av scenarioer, indikatorer og «Horizon Scanning» (omverdensanalyse og overvåkning). Dialogen bør omfatte Østfold, Akershus, Buskerud og Oslo, og bør foregå på både faglig og politisk nivå.

Aktørene vil ha nytte av et felles system for overvåkning av trender og drivkrefter. Indikatorene kan knyttes til bl.a. følgende dimensjoner: (i) elektrifiseringen av samfunnet, herunder konkurransen om energi (kraft), (ii) rammebetingelsene for biltransport, (iii) utviklingen av nye mobilitetsformer, (iv) energipolitikken i EU og (v) holdninger til sirkulærøkonomi. Det vil også være fruktbart å bruke «Horizon Scanning» for å oppdage svake signaler («weak signals») som kan ha betydning for forståelsen av fremtidig reiseadferd. Det er naturlig at Viken fylkeskommune tar initiativet til etablering av et felles system for løpende strategisk dialog og systematisk overvåkning av trender og drivkrefter.

Et annet område der samarbeidet bør fortsette er knyttet til innretning av busskontakter for å fremme innovasjon, og for å sikre at ressursene brukes til det beste for samfunnet. En

tidligere utredning for Brakar peker på et behov for nærere samarbeid mellom myndigheter og operatør i valg av bussmateriell og kontinuerlig innfasing av ny teknologi (Haraldsen mfl. 2021). Flere kilder i det prosjektet pekte på at innfasing av nytt materiell i løpet av kontraktperioden kan være fordelaktig sammenliknet med å innføre alt nytt materiell fra oppstart av kontrakt. Dersom nytt materiell innfases gradvis, vil en kunne utnytte ny teknologi kontinuerlig. Det vil imidlertid kreve endringer i håndtering av bussmateriell ved kontraktens slutt. Uavhengig av dette kan insentiver utvikles eller videreutvikles slik at det lønner seg for operatøren å ta i bruk ny teknologi som gir trafikantene et bedre tilbud. Innovative anskaffelser er et komplekst fagfelt som er i stadig utvikling, og hvilken kontraktstype som egner seg avhenger av flere forhold, som for eksempel grad av modenhet i markedet for ny teknologi.

3. Rekkevidde og kostnader

Med resultatene fra scenarioverkstedene som grunnlag skal vi nå se nærmere på mer konkrete beregninger av det som vil bety noe for Viken og de tre nye fylkenes drifts, -og investeringsbehov i neste økonomiplanperiode.

I dette kapitlet presenterer vi metode og resultater for tallfesting av rekkevidde og kostnader ved ulike utviklingsløp i ulike scenarioer, basert på gitte usikkerhetsdrivere.

I tillegg til informasjon fra intervjuer og workshopene, har vi innhentet data fra kollektivselskapene i Viken og andre kilder som grunnlag for å vurdere teknologiske løsninger tilpasset busslinjene og for å beregne kostnader. Selv om nullutslipps energibærere kan oppfattes å være frakoblet fossile energikilder og priser, så er de i virkeligheten svært tett koblet til disse. Det er derfor naturlig å se til IEA sine 4 scenarioer (2021) for utvikling av det globale energimarkedet. For utvikling av energibærere som baserer sin produksjon på elektrisitet er det relevant å se til framskrivinger av energiprisene i EU siden Norge er så tett knyttet til dette markedet med overføringskabler.

For å tallfeste kostnader knyttet til drift og investeringer i de ulike scenarioene, anvender vi en kostnadsmodell for kollektivtransport som er benyttet i en rekke tidligere prosjekter. Utviklingsbanene og behandlingen av usikkerhetsdriverne benyttes til tallfesting av rekkevidde i ulike scenarioer. Dette benyttes videre til å beregne faktorer for energibehov, energikostnader og dimensjonering av bussparken (som blant annet avhenger av ladehastighet og rekkevidde) som inngår i kostnadsberegningene.

3.1. Rekkevidde og energikostnader ved ulike drivlinjer

Det er en rekke teknologiske fremskritt som sannsynligvis vil øke rekkevidden til veigående kjøretøy i de kommende tiårene. Noen av de viktigste måtene teknologi forventes å forbedre egenskapene til veigående kjøretøy inkluderer:

- **Autonom kjøring:** Autonome kjøreteknologier, som selvkjørende biler, forventes å bli mer utbredt i løpet av de neste tiårene. Disse teknologiene har potensialet til å forbedre sikkerheten, redusere trafikkbelastningen og øke rekkevidden til veigående kjøretøy ved å gjøre dem i stand til å operere mer effektivt og med færre menneskelige feil.

- Forbedrede batterier: Fremskritt innen batteriteknologi forventes å øke rekkevidden til elektriske kjøretøy, noe som gjør dem mer praktiske for langdistansereiser. Dette vil gjøre det mulig for veigående kjøretøy å nå mer avsidesliggende områder som tidligere kan ha vært vanskelig tilgjengelig.
- Bedre infrastruktur: Forbedret infrastruktur, som ladestasjoner og bensinstasjoner, vil gjøre det lettere for veigående kjøretøy å reise lengre avstander. Dette kan omfatte utvikling av hurtigladenettverk for elektriske kjøretøy og utvidelse av drivstoffstasjoner for hydrogenbrenselceller.
- Økt effektivitet: Teknologiske fremskritt forventes også å forbedre drivstoffeffektiviteten til veigående kjøretøy, noe som vil øke rekkevidden ved å la dem gå lenger på en enkelt tank med drivstoff eller batterilading.

Samlet sett forventes disse teknologiske fremskritt å øke rekkevidden til veigående kjøretøy betydelig i de kommende tiårene. Dette gjør det enklere og mer praktisk for folk å reise lengre avstander, og det forenkler planlegging og optimering av rutetabeller.

3.1.1. Usikkerhet knyttet til tilgang på biodrivstoff

Frem mot 2040 vil markedsprisen for bioenergi bli påvirket av en rekke faktorer, inkludert etterspørsel, tilbud og konkurranse. Etterspørselen etter bioenergi vil sannsynligvis øke i de kommende tiårene på grunn av økende bekymring for klimaendringer og behovet for å redusere avhengigheten av fossilt brensel. Ettersom etterspørselen etter bioenergi øker, vil prisen sannsynligvis også øke, ettersom produsentene vil kunne ta mer betalt for produktene sine.

Markedsprisen for bioenergi vil imidlertid også påvirkes av tilbud og konkurranse. Dersom det er et overskudd av bioenergi tilgjengelig på markedet, vil prisen gå ned, da produsentene må konkurrere med hverandre for å selge produktene sine. På den annen side, hvis det er mangel på bioenergi, vil prisen øke ettersom produsentene vil ha større forhandlingsmakt.

I tillegg til etterspørsel, tilbud og konkurranse, inkluderer andre faktorer som kan påvirke markedsprisen for bioenergi i 2040 teknologisk utvikling, politiske beslutninger og økonomiske forhold. Det er vanskelig å forutsi med sikkerhet hvordan disse faktorene vil utvikle seg i de kommende tiårene, men det er sannsynlig at markedsprisen for bioenergi vil bli påvirket av en kombinasjon av disse og andre faktorer.

3.1.2. Rekkevidde for ulike drivlinjer

Med utgangspunkt i dagens drivstoffkostnader og busser som finnes på markedet har vi satt opp en rekkeviddetabell for ulike energibærere. Rekkevidden avhenger også av de ulike teknologienes virkningsgrad, hvor eksempelvis bruk av biogass har noe lavere virkningsgrad enn bruk av naturgass (~1-2%). De ulike energibærerne har også ulikt energiinnhold per liter og dermed vil eksempelvis 1 liter autodiesel inneholde mer energi enn 1 liter biodiesel av typen HVO (Hydrogenated Vegetable Oil). En buss er normalt ganske romslig i forhold til lagringsplass for drivstoff og det er batteriteknologi og komprimert gass som først støter på problematikk i forhold til energibærerens volumbehov.

Tabellen under sammenligner maksimal mulig kjørelengde for ulike energibærere. Maksimal rekkevidde avviker fra realistisk rekkevidde, men viser et potensiale. Eksempelvis er maksimal rekkevidde for elektrisk buss med stort batteri 527 km (Tabell 3-1), mens praktisk maksimal rekkevidde gitt rutelengde på 200 km per dag og 470 kWh lagringskapasitet, er 336 km. For dagens busser har vi basert oss på tilgjengelig data omkring lagringskapasitet av de aktuelle energibærere.

Tabell 3-1: Maksimale kjørelengder basert på volum av energilageret (ca. 1800 liter). For busser med diesel eller biodiesel (HVO og FAME) har vi tatt utgangspunkt i største oppgitte tankvolum for busstypen.

Buss 12m	Forbruk kWh/km	Maks energilager	Vol. maks energilager	Rekkevidde maksimalt
Elektrisk stort batteri	1.40	738 kWh	2950	527 km
Bio HVO	3.12	5 718 kWh	600	1 835 km
Bio FAME	4.23	5 454 kWh	600	1 289 km
PEMFC (hydrogen)	3.30	1 201 kWh	1840	1 318 km
Diesel	3.59	5 976 kWh	600	1 664 km
CBG (Biogass)	4.10	885 kWh	1827	755 km
LBG (Flytende biogass)	4.10	5 658 kWh	1800	1 380 km

For sammenligning av energiforbruk og energikostnader har vi basert oss på en standard rutelengde pr dag pr buss. For flere tidligere komparative undersøkelser for buss er det benyttet en rutelengde per dag på 200 km og en årlig kjørelengde på 80.000 km (Roland Berger, 2015 og Hagman, 2017). Med utgangspunkt i denne kjørelengden har vi satt opp en tabell for energi- og lagringsbehov under. Merk at dette har betydning for praktisk maksimal rekkevidde for bussene. For eksempel vil en buss med batterielektrisk drivlinje med den batterikapasiteten som her angis, ha en rekkevidde på 336 km. Dette er i tråd med Ruters anslag om at realistisk rekkevidde ofte vil være 310-360 kilometer for en elbuss.

Tabellen under sammenligner de ulike energibærerne og fremdriftsteknologiene med hverandre på volumbehov, energibehov og energikostnad. Det viser seg at alle typer energibærere dekker energibehovet for en standardrute på 200 km. Dersom en benytter mindre batterier i elbusser, eksempelvis 125 kWh, har bussene ikke stor nok rekkevidde og må lades underveis, men større varianter, som 470 kWh batteri, vil dekke behovet.

Tabell 3-2: Energipriser og energibehov for ulike drivlinjer basert på forbruk og rekkevidde i tabell 3.1.

Buss 12m	Enhetspriser kr/kWh	Energibehov 200 km	Behov volum energilagere
Elektrisk stort batteri 470 kWh	0.76 ¹	143 kWh	1 880 liter
Bio HVO	2.61	623 kWh	61 liter
Bio FAME	1.72	846 kWh	99 liter
PEMFC (hydrogen)	1.19	660 kWh	1 440 liter
Diesel	1.27	718 kWh	73 liter
CBG (Biogass)	2.29	820 kWh	1 390 liter
LBG (Flytende biogass)	2.59	820 kWh	261 liter

Det er stor variasjon i energikostnadene og det mest kostbare alternativet er biodiesel (HVO), som følge av at prisen på bioenergi har blitt drevet opp de senere år grunnet stor etterspørsel. Rimeligst er alternativet med batteri og elektrisitet selv med uvanlig høye strømkostnader. Alternativet med hydrogen gir også en lav energikostnad.

3.1.3. Kostnader ved infrastruktur

Tabellen under oppsummerer anslag på innkjøpskostnader per buss ved ulike drivlinjer.

Tabell 3-3: Innkjøpskostnader for busser med ulike energibærere. Kilde: Ruter.

Buss 12m	Innkjøpskostnader pr buss
Elektrisk stort batteri 470 kWh	kr 4 978 720
Bio HVO	kr 2 500 000
PEMFC (Hydrogen)	kr 5 205 958
Diesel	kr 2 500 000
CBG (Biogass)	kr 3 200 000

I tillegg til innkjøpskostnader for bussmateriell kommer infrastrukturkostnader knyttet til anlegg for fylling/lading. Infrastrukturkostnadene pr buss blir lavere når en oppskalere antall busser som skal benytte anleggene. Utbygging av infrastruktur til biodiesel (HVO og

¹ El-spotprisen i Q4 var på kr 1,7 pr kWh, i februar ned til kr 1,14 pr kWh mens gj.snitt tidligere år nok ligger på kr 0,67 pr kWh. Dette er noe opp fra prisen før Ukraina-krigen og stemmer med fremskrivingene fra NVE.

FAME) er ikke tatt med da det antas at disse energibærerne kan benyttes i dagens eksisterende tank infrastruktur for oljebaserte drivstoff.

Biogass: For en mindre flåte busser antas det at eksisterende CNG-infrastruktur kan benyttes hvis nærhet til busselskapets base, men ved større avstander bør etablering av egen infrastruktur vurderes. I 2019 ble CNG-anlegg stort nok til å forsyne 100 busser anslått av GNI (Gas Networks Ireland) til å koste om lag € 1,4m, for 22 busser £0.96m og på basis av dette anslås et fylleanlegg for CNG å koste € 1.25m av Department of Transport, Tourism & Sport, Irland. Basert på dette anslår vi infrastrukturkostnadene til anlegg til om lag kr 233 000 kr per buss for biogass og 1 074 000 kr per buss for flytende biogass, gitt 50 busser.

Hydrogen: Innhentet data fra tysk prosjekt (H2 Mobility Deutschland og dens industrielle aksjonærer Air Liquide, Daimler Truck, Hyundai, Linde, OMV, Shell og TotalEnergies) med utbygging av 330 hydrogenfyllestasjoner med en total kostnad på € 110m. Det finnes også tall fra norske prosjekter. Vi har tatt utgangspunkt i at det skal være en fyllestasjon uten egenproduksjon av hydrogen (det er en vesentlig prisdifferanse på MNOK 21). Basert på dette anslår vi infrastrukturkostnadene til anlegg til om lag kr 180 000 kr per buss ved bruk av hydrogen, gitt 50 busser.

Lading: Det finnes flere strategier for lading av elektrisk buss og blant disse er

1. Depotlading -bussen lades over natten ved ett felles ladeanlegg. Krever at batteriet er stort nok til å dekke dagsbehov på omkring 200 km pr dag.
2. Klattlading -bussen lader på bestemte steder underveis på ruta
3. Batteribytte -bussen bytter hele batteripakken på bestemte steder på ruta

Vi har fokusert på strategi nr 1, Depotlading. Dette valget har vi gjort fordi det til forskjell fra tidlige versjoner av el-busser nå er mulig å få ganske store batteripakker til ordinære 12m bybusser. Dette gir god dekning for de aller fleste dagsbehov. Ruter anslår at infrastrukturkostnadene til anlegg ligger på 400-600 000 per buss.

3.1.4. Prognoser prisutvikling

Innkjøpskostnader Buss: Den fremtidige utviklingen i kostnader for de beskrevne teknologiene er hentet fra rapporten «Report on Diesel-and Alternative-Fuel Bus Trials» 2019 og Jernbanedirektoratets «Nullfib delmål 4: hydrogen, biogass og biodiesel», 2019. Tabellen under viser innkjøpskostnader for busser med ulike drivlinjer relativt til prisen på en vanlig buss drevet av diesel. Vi ser at i 2022 var innkjøpskostnadene høyere for alle andre drivlinjer sammenliknet med en buss drevet av diesel. Disse prognosene viser at dette vil være endret allerede i 2028, slik at innkjøpskostnaden per buss er lik uavhengig

av drivlinje. Hvis dette blir virkelighet, så innebærer det at investeringskostnaden knyttet til bussmateriell er uavhengig av drivlinje i 2028. Ruter tror ikke utviklingen vil gå så raskt, men at prisene vil være om lag som i dag, se tabell 3.3, og at elbusser vil bli relativt billigere med et konkret anslag på 3 209 680 kr per buss i 2028. Vår vurdering er at tross usikkerhet rundt dette, går trenden i retning av mer like priser på bussmateriell i 2028. Vi har derfor lagt det til grunn i vår analyse.

Tabell 3-4: Innkjøpskostnader for busser med ulike drivlinjer relativt til prisen på en buss drevet av diesel.
Kilde: Byrne Ó Cléirigh, 2019.

Prisutvikling 2022-2040

	2022	2028	2040
Innkjøpskostnader buss			
El-buss	196 %	100 %	100 %
Buss drevet av olje	100 %	100 %	100 %
Buss drevet av gass	115 %	100 %	100 %
Buss med brenselcelle	228 %	100 %	150 %

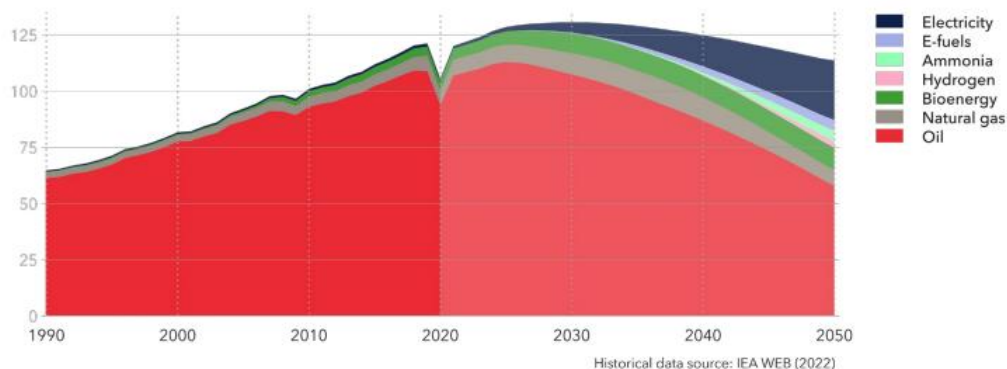
Energikostnader og energimiks: Vi ser at prognoser laget så sent som i 2017 er betydelig utdaterte i forhold til både teknologiutvikling og energipriser (Aarhaug mfl, 2017) som følge av både den verdensomspennende koronaepidemien og den pågående krigen i Ukraina.

Fremskrivninger av tilgjengelighet og pris på energibærere er gjort av DNV GL i «Energy transition outlook 2022», og konklusjonene her er at det i stor grad vil bli fossil olje/gass og elektrisitet som er de dominerende energibærerne, med biodrivstoff og til en viss grad hydrogen som supplement:

FIGURE 1.3

World transport sector energy demand by carrier

Units: EJ/yr

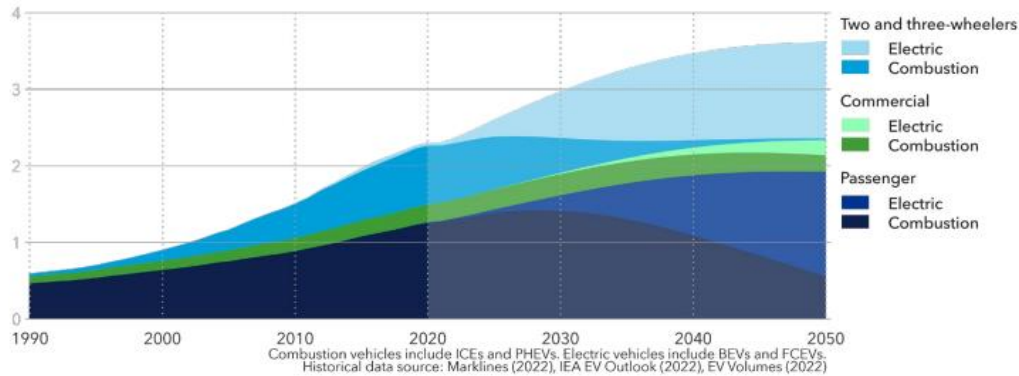


For personbiltrafikk (Passenger) vil elektrisk fremdriftssystem nærme seg 50 % i 2040 men bare ha mellom 5 og 10 % andel i 2028:

FIGURE 1.8

World number of road vehicles by type and drivetrain

Units: Billion vehicles



For hydrogendrevne kjøretøy er utsiktene ikke like optimistiske. Dette grunnet at kjøretøy drevet av brenselceller (FCEV's) kun kan oppnå en total (well-to-wheel) effektivitet på 25% - 35%, signifikant lavere enn 70% - 90% for batteridrevne kjøretøy (BEVs) og vil kun bli benyttet i unntaksvise tilfeller der hvor lang rekkevidde uten å etterfylle drivstoff underveis er av overordnet betydning.

3.2. Dimensjonering av vognparken

Dette delkapitlet dokumenterer beregninger av behov for endret vognpark, dvs antall busser, ved bruk av ulike drivlinjer. Først redegjøres det for metoden og forutsetningene som er benyttet. Deretter gjennomgås resultatene. Beregningen som gjennomføres er i utgangspunktet uavhengig av hvilken drivlinje som benyttes. Elektrisitet er imidlertid den drivlinje som har lavest rekkevidde og relativt sett de største utfordringene i dag. I drøfting av forutsetninger og resultater legger vi derfor størst vekt på denne drivlinjen.

3.2.1. Metode og forutsetninger

Det gjøres en rekke forenkende forutsetninger for å kunne gjennomføre beregningen. Noen av de mest sentrale er som følger:

- Beregningen gjennomføres først isolert per rute og deretter summeres det totalt opp til en samlet vognpark. Dette gjør at man i noen grad mister effekten av optimaliseringsmuligheter mellom ruter. Hvis det er «slakk» i en rute som at en

vogn er ferdig før rushperioden er ferdig og kan overføres til en annen rute, kommer ikke dette fullstendig frem.

- Vi tar utgangspunkt i en avgangsfrekvens per time og en gjennomsnittlig lengde per rute. Hver enkelt rute kan ha litt ulike varianter med ulike lengder, mens vi setter dette sammen til et gjennomsnitt. Dette kan selvsagt påvirke beregningene i noen grad om det er en stor forskjell på variantene. Ved å se på avgangsfrekvens og ikke konkrete rutetider vil man også kunne minste noe av potensiale med kryssbruk av materiell på forskjellige ruter.
- Vi antar at man kjører busser med tyngre batteripakker og at disse krever en ladetid på 4-5 timer for 300 kwh. Det vil dermed ikke være mulig å lade opp bussene fra bruk i rush til starten på «lavperioden», men bussene i rush kan lades fulle til neste rushperiode.
- Vi ser ikke på passasjerkapasiteten

Vi forsøker å drøfte konsekvensen av disse forutsetningene underveis i notatet. Til sist gir vi en samlet vurdering av hvor godt beregningen kan generaliseres.

Vi antar at tidsperioden med høyest frekvens er dimensjonerende for vognparken slik at vognbehovet som estimeres for denne perioden bestemmer hvor mange busser som må kjøpes inn totalt. Modellen er relativt enkel og er ment til å kunne vise hvilke størrelsesorden man kan forvente endringer i vognparken innenfor og kunne sammenligne ulike drivlinjer relativt til hverandre.

Beregningen benytter statistikk over lengde, frekvens og hastighet på hver enkelt linje. Deretter estimeres det et vognbehov i dagens situasjon og med ny drivlengde etter følgende metode:

- **Dagens vognbehov** estimeres ut fra frekvens i dimensjonerende time, samt hastighet og rutelengde.
- **Antall kjørte kilometer per buss** beregnes ved å estimere total ruteproduksjon per dag og dividere dette på estimert antall vogner.
- **Nytt vognbehov** estimeres ved å skalere opp vognparken basert på eventuelt lavere rekkevidde på nye drivlinjer sammenlignet med antall kjørte kilometer per buss.

Beregningen er veldig forenklet og alle resultater vises på et overordnet nivå. I tillegg er det nødvendig å legge på enkelte «kalibreringsfaktorer» for at modellen skal treffe godt

med observerte data. En begrensning ved modellen er at den ser på hver enkelt rute isolert sett, mens ruteplanleggere i praksis estimerer vognbehov basert på samtlige ruter. En buss kan benyttes på flere ruter avhengig av den faktiske tidtabellen. Samtidig vil den konkrete utformingen av rutetabellen kunne gjøre det nødvendig med flere busser enn det vi estimerer. Til sist er skoleruter også en utfordring da disse er spesialiserte ruter som kun går deler av driftsdøgnet.

Samlet sett bør man derfor først og fremst legge vekt på de relative endringene modellen estimerer, fremfor å sammenligne det konkrete tallet på hver enkelt rute.

3.2.2. Data og ytterligere forutsetninger

Tabell 3-5 viser forutsetningene som er lagt til grunn i analysen separat per selskap, samt de kalibreringsfaktorene som er lagt inn. Vi antar 6-timers rush og 12-timers lavtrafikk for til sammen 18 timers driftsdøgn².

Tabell 3-5. Forutsetninger

Variabel	Enhet	Ruter	ØKT	Brakar
Timer rush	Timer/døgn	6	6	6
Timer lav	Timer/døgn	12	12	12
Antall busser	Busser	754	297	327
Kjørelengde per buss	Vognkilometer	228	N/A	N/A
Kalibrering busser	%	-17 %	-30 %	50 %
Kalibrering hastighet	%	N/A	N/A	-44 %
Kalibrering kjørelengde	%	-23 %	N/A	N/A

Antall busser er oversendt fra de ulike kollektivselskapene. Videre er det gjort en kalibrering for å gjøre beregningene sammenlignbare med observerte tall. Det er først og fremst gjennomført en kalibrering for at vognparken skal stemme. For Ruters del stemmer estimert vognbehov rimelig godt overens med observerte tall, der en justering på -17 % er gjennomført. Videre er kjørelengden justert ned med 23 % for å stemme overens med observerte tall. Denne justeringen er gjennomført etter at vognparken er kalibrert, slik at man ikke dobbeltteller. Behovet oppstår sannsynligvis fordi vi har antatt 18-timers driftsdøgn for samtlige ruter, mens dette sannsynligvis varierer noe. At kjørelengden må justeres ned tyder på at det er flere som har noe kortere driftsdøgn enn de som har lengre

² For elbusser: Dette gir 6 timer til lading og posisjonskjøring. En vanlig rutebuss vil kunne lades fullt på 4-5 timer, slik at opplegget bør være mulig å drifte innen de forutsetningene vi har lagt til grunn.

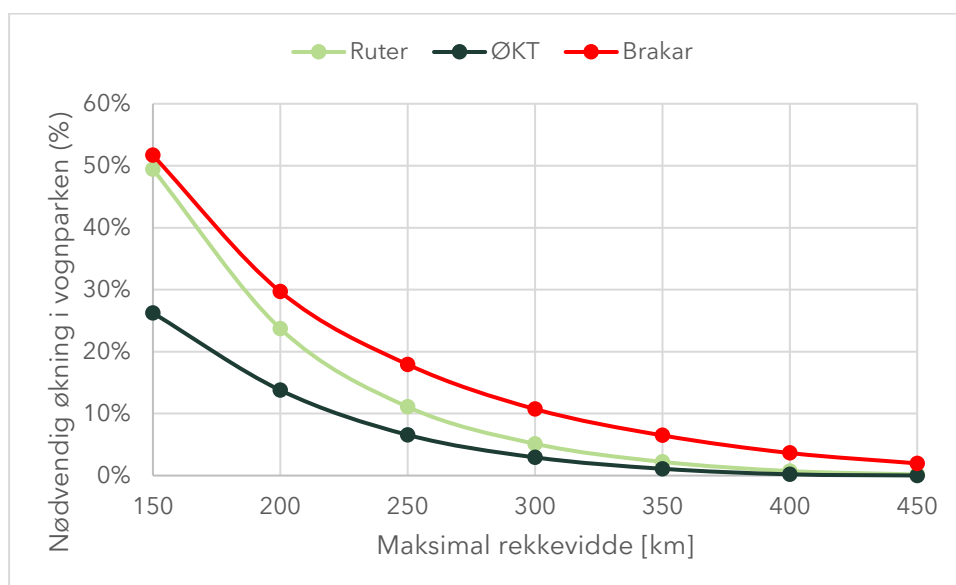
enn 18 timer (hensyntatt rutelengde og frekvens). Det er kun for Ruter at kjørelengden er kalibrert, da vi her har sammenligningsgrunnlag fra Roland Berger (2015).

For ØKT er vognparken justert ned med 30 %. Det er en rekke skoleruter i ØKTs data og det er antatt at disse har 1 avgang morgen og 1 avgang ettermiddag. Enkelte ruter i grunnlagsmaterialet er merket med «få avganger per dag» og disse er gitt 5 avganger per dag.

For Brakar er vognparken justert betraktelig opp for å treffe på observert antall vogner. Et viktig element i beregningen er gjennomsnittshastighet, og dette er kun tilgjengelig på overordnet nivå for Brakar. Dette gjør trolig at beregningen blir noe mindre treffsikker og lange ruter med mange kilometer og høy hastighet får dermed en for stor vekt i beregningen. Buskerud er et område med store avstander mellom de ulike rutene og dette kan betyr at metoden underestimerer i vognbehovet i dagens situasjon. En buss kan for eksempel benyttes på flere ruter, og dermed få en høyere kjørelengde enn hva vi observerer når beregningen gjøres per rute. Det er følgelig viktig å se på de relative forskjellene snarere enn det absolutte nivået. Samtidig er det viktig å påpeke at usikkerheten er størst for Brakar.

3.2.3. Resultater

Figuren under viser estimert nødvendig økning i vognparken er maksimal rekkevidde for batterielektrisk drivlinje separat for Ruter, ØKT og Brakar. Usikkerheten er størst knyttet til data fra Brakar.



Figur 3.1. Estimert nødvendig økning i vognpark etter maksimal rekkevidde på batterielektrisk drivlinje.

Analysen viser at behovet vil være fallende ned mot ca. 400-450 kilometers rekkevidde da økningen i vognpark vil være svært liten. Dette samsvarer ganske godt med funn fra Roland Berger (2015) der det anslås at maksimal kjørelengde for regionbussene til Ruter er 400 km.

ØKT har noe lavere kurve enn de to øvrige, som skyldes at det er flere kortere ruter her (vektet for frekvens) enn i de øvrige fylkene. I materialet fra ØKT er det en rekke skoleruter hvorav flere er relativt korte. Dette kan til en viss grad underestimere vognbehovet da vi gjør beregningene separat per linje³.

Brakar har en høyere estimert kurve enn både Ruter og ØKT som skyldes høyere estimert kjørelengde per buss. ØKT har den laveste snittlengden, Ruter har noe høyere mens Brakar har den høyeste som også gir størst behov for økt vognpark.

3.2.4. Diskusjon

Vi gjennomgår nå resultatene og diskutere dem opp mot de forskjellige drivlinjene som er vurdert. Vi supplerer også med informasjon fra øvrige studier der dette er aktuelt. Vi fokuserer først og fremst på elektrisitet da denne drivlinje relativt sett har de største utfordringene i dag. Øvrige drivlinjer omtales på overordnet nivå.

Vi gjennomgår først tidligere studier som peker på ytterligere faktorer som kan påvirke vognbehovet. Deretter sammenligner vi våre resultater med det som er estimert tidligere.

Det er gjennomført en rekke andre undersøkelser knyttet til effekten av drivlinjer på vognpark. Det er først og fremst elektriske busser som er vurdert, da disse har den laveste rekkevidden av andre drivlinjer enn diesel. Vi gjennomgår nå enkelte funn som er gjort. De peker både på ekstra faktorer som kan påvirke vognbehovet samt andre estimater på endret vognpark.

Selv om den er noen år gammel har en studie utført av Roland Berger (2015) for Ruter pekt på en rekke faktorer som kan være relevante:

- Bussene kan ha opptil 30 % lavere rekkevidde om vinteren sammenlignet med sommeren dersom bussens batteri også brukes til oppvarming. Dette vil føre til at rekkevidden faller. Dette tar vi hensyn til i tallene som benyttes i beregningen. Gitt våre analyser, gir dette mellom 1-6 % økning i vognbehovet.

³ I beregningen gjøres det ingen avrunding opp til nærmeste heltall, slik at man kan ha «0.1» busser på en linje for til en viss grad å motvirke denne problemstillingen.

- Store batterier gir mindre kapasitet om bord og dette kan igjen øke behovet for flere vogner i perioder der bussene er fulle. Hvorvidt denne faktoren gjør seg gjeldende, avhenger selvsagt av dagens belegg og vil kanskje først og fremst være relevant for by busser. Det kan også utvikles nye batterityper eller bussdesign som gjør effekten mindre betydningsfull.
- Redusert oppetid som en følge av lengre vedlikeholdstid kan gi behov for en større vognpark. Gjennom intervjuer med en rekke aktører påpekte Roland Berger (2015) at årsaken til høyer nedetid er begrensninger i forsyningskjeden for reservedeler. På lang sikt vil dette trolig være et mindre problem dersom et større marked for elbusser etableres.

I en nyere studie av Miljødirektoratet (Miljødirektoratet, 2022) trekkes det frem at en rekke aktører mener bedre batterikapasitet og optimalisert driftsopplegg gjør det mulig å betjene samme rutetilbud med 0-5 % flere busser der det tidligere er anslått en nødvendig økning på 10-20 %. De peker også på at ytterligere effektiviseringspotensial i ruteopplegget kan bidra til å redusere behovet enda mer når det i større grad tilpasses elektriske fremfor dieseldrevne busser.

Ruter gjennomførte i 2018 en studie der man vurderte kostnader ved overgang til nullutslippsbusser. Her gjorde man illustrerende beregninger med 10 - 12 % flere busser ved bruk av elektrisk drivlinje. Det dokumenteres ikke direkte hvor disse parameterne hentes fra, men det tyder på at de ulike anslagene ligger relativt tett opp til hverandre.

Roland Berger (2015) estimerte at maksimal kjørelengde ved lading over natten var på 240 kilometer i 2015, som tilsvarer en 10-20 % økning gitt vår beregning. Oppdaterte tall fra dette prosjektet viser at rekkevidden kan økes til nesten 350 kilometer, som tilsier at man ikke behøver å øke vognparken mer enn 1-6 %. Resultatene vi får for elektriske kjøretøy stemmer derfor godt overens med de tallene vi finner i øvrige undersøkelser.

Øvrige drivlinjer som er vurdert har alle sammen en rekkevidde som langt overstiger 350 kilometer. Vi vurderer derfor at øvrige drivlinjer som er analysert i prosjektet ikke gir behov for økning i vognparken.

3.3. Kostnader ved busstilbudet i Viken

I dette kapitlet benytter vi resultatene fra delkapitlene over til å anslå kostnader knyttet til busstilbudet i Viken for dagens situasjon, samt ulike scenarier for fremtiden.

3.3.1. Kort om data og kostnadsmodellen

For å tallfeste kostnader knyttet til drift og investeringer i de ulike scenariene, anvender vi en kostnadsmodell for kollektivtransport som er benyttet i en rekke tidligere prosjekter. Modellen er basert på Bekken (2004), men er videreutviklet i flere omganger og dokumentert av Betanzo og Haraldsen (2016).

Kostnadsmodellen kan beregne produksjonsavhengige kostnader og kapitalkostnader gitt data fra Brakar, Ruter og Østfold kollektivtrafikk. Sammen med estimerte driftsinntekter gir modellen oss estimert tilskuddsbehov for kollektivtrafikken. Modellen kan også beregne driftsutgifter for øvrige transportmidler basert på enkle forutsetninger og eksterne datakilder. I tillegg kan den beregne investeringskostnader knyttet til eksisterende infrastruktur, og det kan gis en forenklet oversikt over samfunnskostnadene.

For alle scenarioer legger vi til grunn at kostnader knyttet til produksjon av selve energien er lagt utenom samferdselsbudsjettene. Basert på tidligere erfaringer bl a EU-finansierte hydrogenbusser i Ruter-regi, der det også ble etablert egenproduksjon av hydrogen har det blitt stilt spørsmål ved denne forutsetningen. Vi vurderer likevel at det mest riktige er å behandle de tre drivmidlene likt. Vi legger derfor til grunn at det enten bør være et kommersielt grunnlag for hydrogenproduksjon, eller at en eventuell satsing på hydrogen finansieres over andre offentlige budsjetter.

Tabellen under viser inngangsdata fra kollektivselskapene, som er basert på produksjonsdata fra 2021 og anslag for inntekt per reise i 2022 for å ekskludere effekten av koronapandemien som var sterkere i 2021 enn i 2022.

Tabell 3-6: Input til kostnadsberegninger. Input fra kollektivselskapene og deres årsrapporter, samt befolkning fra SSB.

	Akershus	Buskerud	Østfold
Befolkning	657 470	298 309	313 451
Hastighet	32	36	36
Gjennomsnittlig antall sitteplasser	50	44	44
Totalt antall plasser	68.5	60	60
Snitt belegg buss (antall plasser i bruk)	12	11	12
Snitt billettinntekt	14	12	19
Antall busser	864	327	297
Vognkm	51 000 000	12 680 898	12 500 000
Andel diesel	87.6 %	81.0 %	37.0 %
Andel el	6.6 %	17.0 %	13.0 %
Andel biogass	5.8 %	2.0 %	50.0 %

Først benytter vi modellen til å estimere produksjonsavhengige kostnader gitt dagens miks av drivlinjer. Fordi modellen estimerer normerte kostnader, vil ikke estimatene samsvare fullt ut med selskapenes egne kostnadstall, men de er sammenliknbare på tvers av områder, drivlinjer og tidsperioder. Personalkostnad per km avhenger av gjennomsnittlig hastighet og er derfor estimert noe lavere i Buskerud og Østfold enn i Akershus. Drivstoffkostnadene avhenger av dagens drivlinjer, se andel diesel, el og biogass i tabellen over. Fordi Østfold har høyest andel biogass, har de også høyest estimert drivstoffkostnad per km fordi prisen på biogass er høyere enn diesel og el. Estimert drivstoffkostnad per km er lavest i Buskerud fordi andelen el er høyest der. Gjennomsnittlig rengjøringskostnad per km er lik på tvers av områdene. Andre driftskostnader er estimert basert på gjennomsnittlig hastighet og antall plasser per buss. Estimerte kostnader er høyest for Akershus fordi hastigheten her er lavere og bussene større i gjennomsnitt sammenliknet med de andre områdene. Estimerte produksjonsavhengige kostnader per km er med andre ord avhengige av input om hastighet og plasser per buss, i tillegg til dagens miks av drivlinjer. Merk at det kan være kostnader som kollektivselskapene regner som driftsavhengige, men som ikke er inkludert i våre beregninger. Det viktige i våre beregninger er at de kan sammenliknes på tvers av drivlinjer og områder.

Tabell 3-7: Estimerte produksjonsavhengige kostnader per km gitt dagens miks av drivlinjer.

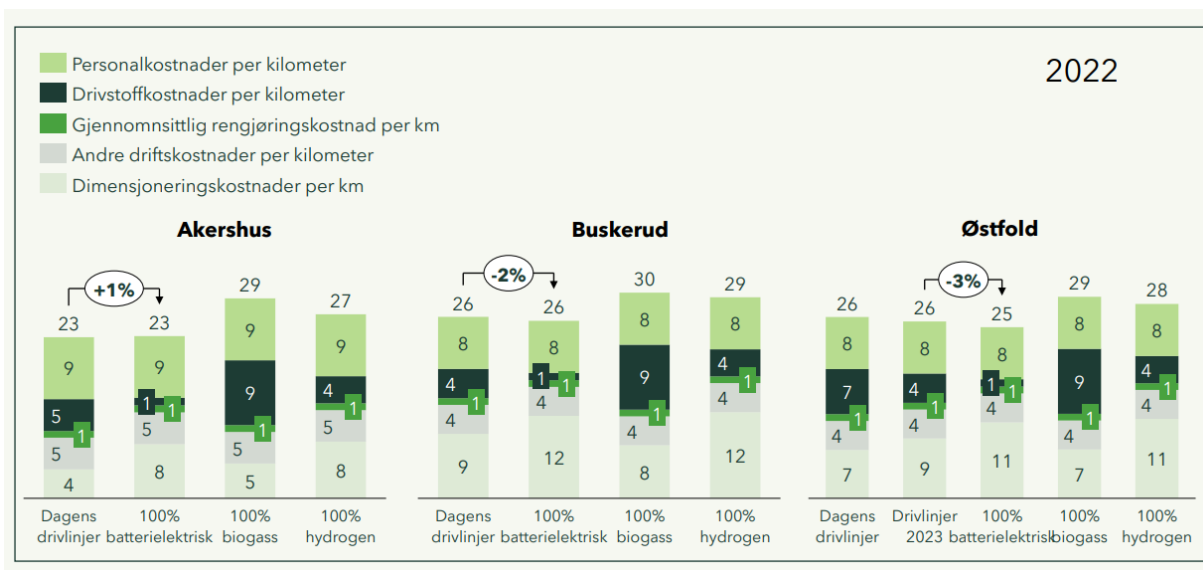
Kostnadskomponenter per km	Akershus	Buskerud	Østfold
Personalkostnader	8.9	7.5	7.5
Drivstoffkostnader	4.6	4.1	6.5
Gjennomsnittlig rengjøringskostnad	1.0	1.0	1.0
Andre driftskostnader	4.6	4.2	4.2
<i>Totale produksjonsavhengige kostnader per km</i>	<i>19.1</i>	<i>16.7</i>	<i>19.2</i>

3.3.2. Kostnader ved ulike scenarier i dag

Vi anvender de estimerte produksjonsavhengige kostnadene fra dagens situasjon og sammenlikner dette mot estimerer gitt 100 prosent elektriske busser, 100 prosent biogass og 100 prosent hydrogen. Vi inkluderer dimensjoneringskostnad per km for å ta hensyn til at bussmateriellet har betydelige forskjeller i pris for de ulike drivlinjene. Disse kostnadene

avhenger av innkjøpskostnader presentert i tabell 3.3⁴ og antall busser i tabell 3.6. Resultatene er presentert i figur 3.2. I tillegg vil det være infrastrukturkostnader pr buss knyttet til innføring av nye drivlinjer, se avsnitt 3.1.3.

Resultatene viser at 100 prosent el er det alternative scenariet med lavest kostnad per km. På grunn av økte dimensjoneringskostnader til bussmateriell, er kostnaden per km om lag 1 prosent høyere enn ved dagens miks av drivlinjer i Akershus. I Østfold er dimensjoneringskostnadene allerede høye grunnet den høye andelen biogass, og dermed er estimerte kostnader per km lavere ved 100 prosent el enn i dagens situasjon, og fra 2023 når andelen biogass øker ytterligere.



Figur 3.2: Estimert produksjonskostnad per km, inkl. dimensjoneringskostnader, for dagens energimiks samt ulike scenarier i 2022. 2022-kr.

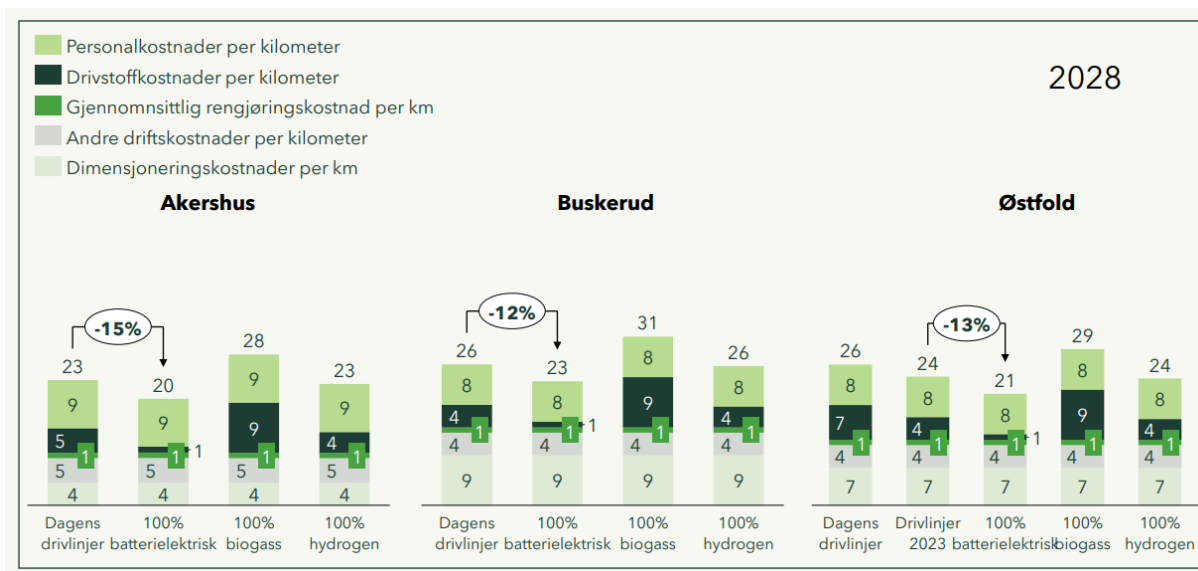
3.3.3. Kostnader ved ulike scenarier i 2028

Vi så i kapittel 3.1.4 at prognoser for innkjøpskostnader for buss tyder på at investeringskostnadene i bussmateriell vil være uavhengig av drivlinje allerede i 2028. Dette er det imidlertid knyttet stor usikkerhet til. Ruter mener eksempelvis at skillet mellom drivlinjene vil være som i dag, men at elbusser vil bli billigere sammenliknet med alternativene. Videre så vi i kapittel 3.2.4 at også dimensjoneringen av bussparken kan være uavhengig av drivlinje i 2028. For scenariet med 100 prosent elektrisk drift har vi estimert en økning på 0-4 prosent i nødvendig vognpark, mens ingen dimensjonering er

⁴ Kostnaden fordeles på 12 år med en amortiseringsfaktor på 0,11.

nødvendig i de andre scenariene. Hvis dette blir virkelighet, så innebærer det at investeringskostnaden knyttet til bussmateriell, og dermed dimensjoneringskostnaden, kan være lik i alle scenariene. Gitt usikkerheten knyttet til innkjøpskostnader for bussmateriell, tar vi utgangspunkt i lik innkjøpskostnad på tvers av drivlinjer i beregningene under. Dersom forholdet mellom drivlinjenes innkjøpskostnader forblir som i dag, eller at elbusser blir relativt billigere, vil det forsterke konklusjonen om at el er det alternativet som kommer ut med lavest kostnad.

Figuren under viser estimert produksjonskostnad per km, inkl. like dimensjoneringskostnader, for dagens energimiks samt ulike scenarier i 2028. Vi ser at 100 prosent batterielektrisk er alternativet med lavest estimert kostnad per km. Kostnaden er 12-15 prosent lavere enn ved dagens miks av drivlinjer. Drivstoffkostnaden som er lagt til grunn her er 1,06 kr per km for el. Som vi skal se nærmere på under, er det betydelig forskjell i usikkerheten knyttet til fremtidig pris og tilgang på de ulike drivlinjene.

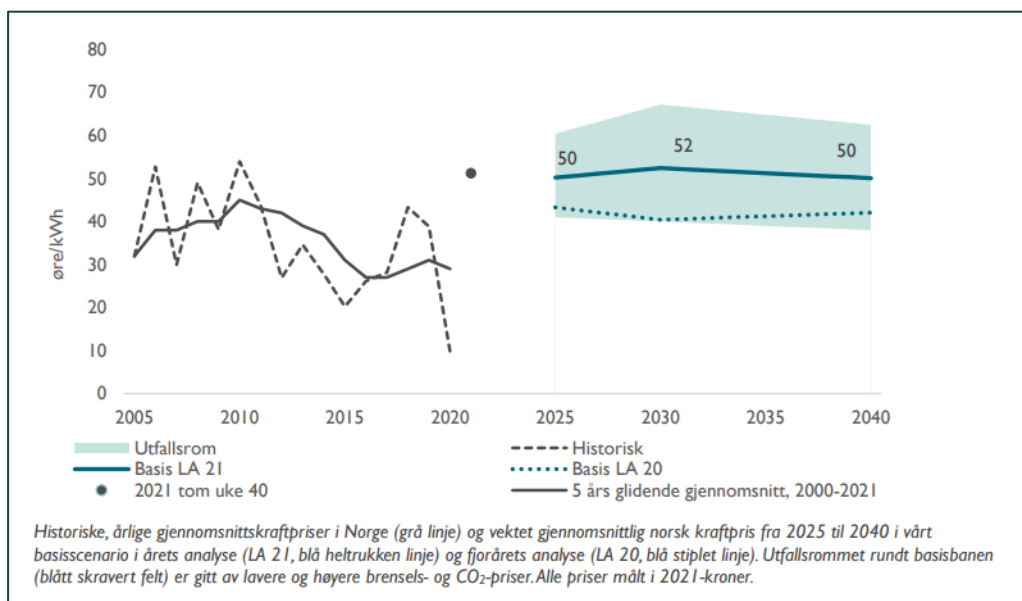


Figur 3.3: Estimert produksjonskostnad i kr per km, inkl. dimensjoneringskostnader, for dagens energimiks samt ulike scenarier i 2028. 2022-kr.

Det er knyttet usikkerhet til alle kostnadskategoriene i 2028, men usikkerheten er ekstra stor knyttet til drivstoffkostnadene til de ulike drivlinjene, samt dimensjoneringskostnadene. Kostnadene avhenger i stor grad av etterspørsel i andre markeder og tilgang til arealer for produksjon. Biogass, samt andre typer biodrivstoff, er alternativet med høyest drivstoffkostnad, og prisen forventes å øke grunnet økende etterspørsel og begrenset tilgang. Hydrogen ligger mellom batterielektrisk og biogass i drivstoffpris, og prisen avhenger av strømprisen fordi produksjonen er svært kraftkrevende. Det er i tillegg betydelig usikkerhet knyttet til tilgang på hydrogen innen

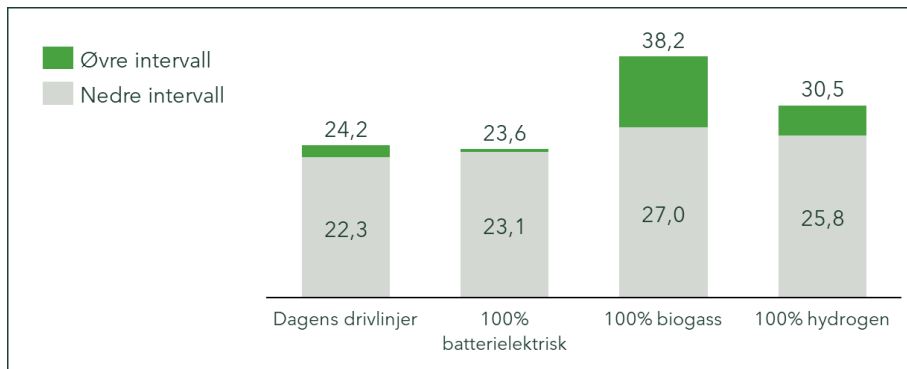
2028 fordi planlegging, regulering og utbygging av hydrogenproduksjon tar tid. I tillegg pågår en diskusjon om å prioritere hydrogen til andre transportmidler som det er vanskeligere å drive på el, som ferger og tungtransport.

For å illustrere usikkerheten knyttet til fremtidige drivstoffkostnader for ulike drivlinjer, tar vi utgangspunkt i NVEs prognose for kraftpriser i Norge fremover. Prognosen viser et usikkerhetsintervall på omtrent +/- 20 prosent i 2028 og +/- 25 prosent i 2040.



Figur 3.4: Illustrasjon av usikkerheten i fremtidig kraftpris. Kilde: NVEs Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021 - 2040.

Figuren under illustrerer hva usikkerheten kan bety for kostnadene per km i de ulike scenariene. Vi har ikke prognoser som sier hvor mye større usikkerhetsintervallet knyttet til hydrogen og ulike typer biodrivstoff er, sammenliknet med el. For å illustrere at usikkerheten i pris og tilgjengelighet knyttet til disse er større legger vi inn et øvre usikkerhetsintervall på 100 prosent, mot 20 prosent for el. Figuren viser beregningen fra Akershus, men usikkerheten fordeler seg likt i alle fylkene.



Figur 3.5: Illustrasjon av usikkerhet knyttet til kostnad per km når drivstoffkostnadene endres. Nedre intervall viser kostnad per km gitt 20 prosent lavere drivstoffpriser enn antatt i hovedberegningen. Øvre intervall viser kostnad per km gitt 20 prosent høyere drivstoffpriser for dagens drivlinjer og el, og 100 prosent høyere for biogass og hydrogen.

Batterielektrisk er alternativet med lavest drivstoffkostnad, og lavest usikkerhet i pris og tilgang fremover. Vi kan forvente at batterielektrisk er alternativet som gir lavest kostnad per km for kollektivtransporten i Akershus, Buskerud og Østfold.

3.4. Andre mobilitetsløsninger på linjer med lavt belegg

På noen av dagens busslinjer i Viken kan det være aktuelt med andre mobilitetsløsninger i 2028. Dette kan eksempelvis være bestillingstransport løst med buss, minibuss eller taxi. Dette kan være mest aktuelt på linjene med lavest belegg. Tabellen under viser linjene i Akershus med lavest snitt fyllingsgrad på turnivå. Vi har ikke tilsvarende statistikk for Buskerud og Østfold.

Tabell 3-8: Oversikt over Ruters linjer i Akershus med lavest snitt fyllingsgrad på turnivå. Data: Ruter.

Snitt fyllingsgrad på turnivå	Linjenummer
2%	452
3 %	235
4 %	321, 425, 451, 335
5 %	535, 240N
6 %	442, 485, 341, 396, 250N, 275, 410, 576, 370B, 536, 460, 516, 140N
7 %	251, 366, 395, 441, 405

Hvis beregningene i rapporten hadde vist at vognparken må dimensjoneres opp ved overgang til nullutslipp, ville det vært mer aktuelt å se på andre mobilitetsløsninger på dagens linjer med lavt belegg. Beregningene viser imidlertid at vognparken trolig ikke må dimensjoneres opp ved overgang til nullutslipp.

4. Referanser

- Aarhaug, Jørgen, Nils Fearnley, Kenneth Løvold Rødseth, Hilde J Svendsen, Karoline Louise Hoff, Falko Müller, Robert Bjørnøy Norseng og Eivind Tveter, 2017. *Kostnadsdrivere i kollektivtransporten - dokumentasjonsrapport*. TØI rapport 1582b/2017
- Bekken, Jon-Terje, 2004. FINMOD - en aggregert kostnadsmodell for norsk kollektivtransport. TØI rapport 734/2004
- Betanzo, Mari og Kristine Wika Haraldsen, 2016. *Hållbara urbana transporter (HUT) D3.1 Beskrivelse av kostnadsmodellen*. UA-notat 93/2016
- Byrne Ó Cléirigh, 2019. *Report on Diesel-and Alternative-Fuel Bus Trials*. Department of Transport, Tourism & Sport 2019, Ref: 546-19X0091 Public Version Desember 2019
- DNV GL, 2022. *Energy transition outlook 2022*
- Endrava, 2022. *Utslippsfri kollektivtrafikk i Viken*
- Hagman, Rolf, 2017: *Elbusser*. TØI Tiltakskatalog for transport og miljø. [Elbusser - Tiltakskatalog for transport og miljø](#)
- Haraldsen, Kristine Wika, Torbjörn Eriksson og Katrine Kjørstad, 2021. *Investeringer i bussmateriell*. UA-Rapport 151/2021
- Jernbanedirektoratet, 2019. *Nullfib delmål 4: hydrogen, biogass og biodiesel*.
- Miljødirektoratet, 2022. *Barrierer for elektrifisering av bussdrift i kollektivsektoren*
- NVEs Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021 - 2040.
- Roland Berger (2015): *Renewable energy powertrain options for Ruter*. A Report for Ruter - Public Transport in Oslo and Akershus



asplan viak

5. Vedlegg

5.1. Scenariegruppen – deltakere på verkstedene

Navn	Organisasjon	Navn	Organisasjon
Anders Steen-Nilsen	Ruter	Kjetil Gaulen	Østfold kollektivtrafikk
Anne Johanne Enger	KS	Lars Henning Wøhncke	Miljødirektoratet
Anne Line Nydal Berglia	Viken fylkeskommune	Magne O. Mellemstrand	Boreal Norge AS
Arnfinn Fønnes	St1 Norge AS	Morten Elster	Viken fylkeskommune
Birger Bergesen	NVE	Njål Nore	Viken fylkeskommune
Elisabeth Cabrinetti	Viken fylkeskommune	Olav Madland	Applied Autonomy
Elisabeth Sletten	KS	Per Christian Engebretsen	Viken kollektivterminaler FKF
Erik Løvoll	Ruter	Sindre Østby Stub	Zero
Eva Næss Karlsen	Osloregionen	Terje Sunfjord	Brakar
Geir Vadseth	Jernbanedirektoratet	Tom Alex Hagen	Oslo kommune MOS
Gerd Blindheim Jacobsen	Viken fylkeskommune	Tord Peder Rafael Luna Araldsen	Biogass Oslofjord
Glenn-Ivar Gaalaas	Unibuss	Vegard Rem	Ruter
Gorm Lunde	THEMA Consulting	Vinjard Gjelstad	Viken fylkeskommune
Henning Berthelsen	Connect Bus	Øystein Lunde	Viken fylkeskommune
Isak Solomon	Klimaetaten Oslo kommune	Jonas Foss Blakstad	Viken fylkeskommune
Jafar Altememy	Viken kollektivterminaler FKF	Håvard Havro Bjørnstad	Viken fylkeskommune
John Melby	Gasum	Trond Hammervoll	Viken fylkeskommune
Jon Robert Dohmen	Jernbanedirektoratet	Hanne Bertnes Norli	Asplan Viak
Jon Stenslet	Ruter	Øystein Berge	Asplan Viak
Kari Johanne Hjeltnes	KS	Jan Dietz	Dietz Foresight AS

5.2. Dybdeintervjuer

Birger Bergesen, NVE - Energiavdelingen
Signe Eikenes, Statens vegvesen
Alexandra Bech Gjørsv, SINTEF
Børre Johnsen, ØKT (Østfold kollektivtrafikk)
Eva Næss Karlsen, Osloregionen
Arno Kerkhof, UITP Bus Division, Brussel
Ove Langeland, TØI (Transportøkonomisk institutt)
Snorre Lægran, Ruter
Espen Martinsen, Strategisk Ruteplan AS
Roar Norvik, SINTEF
Tyra Marie Risnes, Viken fylkeskommune
Terje Sundfjord, Brakar
Heidi Sørensen, Oslo kommune - klimaetaten
Øyvind Sâtvedt, Osloregionen
Berit Tennbakk, Thema Consulting Group
Laurens de Vries, Delft University of Technology
Arnhild Warttainen, Drivkraft Norge

5.3. Rekkeviddemodell

Vognbehov i dag for en rute (V_G) estimeres ut fra følgende formel:

$$V_G = \max\left[1, \frac{L}{H}\right] * \max[f_R, f_L] * a_1$$

Her er L rutes lengde (en hel rundtur), H er gjennomsnittshastigheten målt i kilometer i timen, f_R er frekvens i rush (avganger per time), f_L er frekvens i lav (avganger per time) og a_1 er en kalibreringsfaktor. For å estimere hvor mange kilometer enkelt buss kjører, gjøres det forutsetninger om lengden på rush- og lavperioden målt i timer (T_R og T_L). Vi antar derfor at alle busser lades om natten og ikke i lavperioden på formiddagen. Antall kjøret kilometer totalt på en rute er gitt som:

$$K = (T_R * f_R + T_L * f_L) * L$$

For å finne antall kjøret kilometer per buss, deler vi dette tallet på estimert vognbehov:

$$k = \frac{K}{V_G} * a_2$$

For å estimere antall busser som er nødvendig for betjene samme rutetilbudet med en gitt rekkevidde R som dagens (V_{NY}), benytter vi følgende formel:

$$V_{NY} = V_G * \max\left[1, \frac{k}{R}\right]$$

Her har vi satt at antall kjørte kilometer vi av totalt antall busser skal være likt før og etter en ny drivlinje innføres:

$$V_G * R = V_{NY} * k$$

Da kan man løse ut for V_{NY} , samt legge på en liten justering («max»-leddet) slik at man ikke faller under dagens vognbehov.