

CREAM Publication No. 2 - 2014

# Samfunnsøkonomiske virkninger av fergefri E-39 Stavanger-Bergen

Tom-Reiel Heggedal, Espen R. Moen og  
Christian Riis

# Samfunnsøkonomiske virkninger av fergefri E-39 Stavanger-Bergen

---

av

Tom-Reiel Heggedal

Espen R. Moen

Christian Riis<sup>1</sup>

Handelshøyskolen BI

Oslo 24. oktober 2014

---

<sup>1</sup> Tom-Reiel Heggedal er førsteamanuensis ved Handelshøyskolen BI. Espen R. Moen og Christian Riis er professorer samme sted. Rapporten er skrevet på oppdrag fra Statens vegvesen. Vi takker for konstruktive innspill fra oppdragsgiver. Rapporten inngår i et større forskningsprosjekt "Ferjefri E39 - næringsliv og verdiskaping" med professor Torger Reve, førsteamanuensis Amir Sasson og Marius Nordkvelde, alle ved Handelshøyskolen BI.

## Innhold

|  |    |
|--|----|
| Sammendrag .....                                   | 3  |
| Hovedelementene i nytte-kostnadsanalysen.....      | 5  |
| Metode og parametervalg .....                      | 6  |
| Levetid og analyseperiode.....                     | 6  |
| Kalkulasjonsrente .....                            | 6  |
| Tidsnytte, realprisjustering og spart tid.....     | 7  |
| Besparelser .....                                  | 8  |
| Trafikkgrunnlag og trafikkvekst.....               | 8  |
| Kostnadene ved samferdselsinvesteringene .....     | 9  |
| Ringvirkninger.....                                | 10 |
| Agglomerasjonseffekter .....                       | 10 |
| Empiriske estimater av agglomerasjonseffekter..... | 12 |
| Agglomerasjonsmodellen.....                        | 13 |
| Arbeidstilbud .....                                | 16 |
| Nytte-kostnadsanalyse av Rogfast.....              | 17 |
| Beskrivelse av forbindelsen og regionene.....      | 17 |
| Nytte-kostelementer for Rogfast .....              | 18 |
| Nytte-kostnadsberegning av Rogfast .....           | 21 |
| Konklusjon for Rogfast .....                       | 21 |
| Nytte-kostnadsanalyse av Stord-Bergen.....         | 22 |
| Beskrivelse av forbindelsen og regionene.....      | 22 |
| Nytte-kost elementer for Stord-Bergen .....        | 23 |
| Nytte-kostnadsberegning av Stord-Bergen .....      | 27 |
| Konklusjon for Stord-Bergen .....                  | 27 |
| Robusthetsanalyse av trafikkvekst .....            | 28 |
| Trafikkgrunnlag.....                               | 28 |
| Hovedanalysen .....                                | 28 |
| Alternativanalyse.....                             | 28 |
| Alternative nytte-kostnadsberegninger.....         | 29 |
| Rogfast .....                                      | 29 |
| Stord-Bergen .....                                 | 29 |
| Avsluttende kommentar .....                        | 30 |
| Litteratur.....                                    | 31 |

## Sammendrag

Rapporten drøfter og beregner de samfunnsøkonomiske virkningene av en fergefri veiforbindelse E-39 fra Stavanger til Bergen. Det er to strekninger med to nye forbindelsespunkter som blir gjenstand for analyse. Den første strekningen er Stavanger-Haugesund, der nåværende ferge over Boknafjorden erstattes av tunnelforbindelse. Den andre strekningen er Stord-Bergen der fergen over Bjørnefjorden erstattes med broforbindelse.

De nye forbindelsene evalueres hver for seg i et konsistent kost-nytte rammeverk. I analysen inkluderer vi både de direkte nytte- og kostnadseffektene, som tidsbesparelser og investeringskostnader, samtidig som vi inkluderer *avledete* virkninger forbundet med at økt integrasjon tenderer til å øke produktiviteten i markedene. Det viktige nye bidraget i vår analyse er analysen av *agglomerasjonsgevinstene* forbundet med økt integrasjon av markeder.

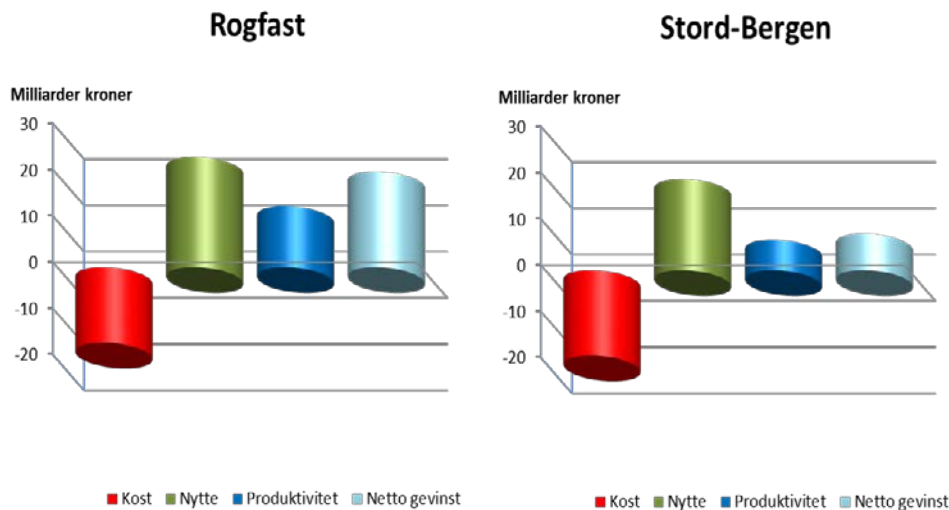
Når det gjelder de direkte nytte- og kostnadsvirkningene benytter vi etablert metodikk, slik de er beskrevet i NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser. For agglomerasjonseffektene baserer vi oss på en etter hvert rik litteratur<sup>2</sup>. Denne drøfter teoretisk de ulike mekanismene som genererer produktivetsgevinster av integrasjon, og empirisk anslår størrelsesorden på effektene. Vi bidrar ikke med en selvstendig empirisk analyse, men benytter estimer som er dokumentert i kvalifiserte og kjente arbeider. Disse integreres i et modellverktøy som korrigerer for at veiinvesteringer reduserer den effektive avstanden mellom befolkningskonsentrasjoner, uten at det medfører full integrasjon.

Vi gjennomfører en hovedanalyse som suppleres med en alternativ beregning. I hovedanalysen legger vi til grunn anslag for trafikkveksten utført i analyser av Transportøkonomisk institutt. I den alternative beregningen benyttes noen alternative anslag gitt fra Statens vegvesen.

---

<sup>2</sup> For henvisninger se hovedteksten.

Resultatene av våre hovedberegninger for de to strekningene kan grafisk illustreres slik.



De røde søylene representerer nåverdiene av de respektive investering- drifts- og vedlikeholdskostnadene, henholdsvis 16,3 milliarder og 18,4 milliarder for det to segmentene. De grønne søylene er de aggregerte nytteeffektene som tidsbesparelser, innsparer ferjekostnader osv, dvs de nyttegevinstene som inkorporeres i mer konvensjonelle nytte-kostnadsanalyser. Disse er på 23,8 og 19,7 milliarder for henholdsvis Rogfast og Stor-Bergen. De mørkeblå søylene representerer vår anslag på agglomerasjonsgevinstene, her beregnet til 13,2 og 6,6 milliarder. Nettogevinstene for samfunnet er representert ved de siste to søylene. Vi finner i hovedberegningen at Rogfast gir en diskontert gevinst for samfunnet på 20,7 milliarder, mens Stord-Bergens gir tilsvarende netto gevinster på 7,9 milliarder. Vi ser at begge strekninger også er lønnsomme eksklusive beregnede agglomerasjonsgevinstene.

Vi finner at agglomerasjonseffektene utgjør en vesentlig større andel av de samlede nyttegevinstene for Rogfast enn for Stord-Bergen, henholdsvis 36 % mot 25 %. Det er et selvstendig poeng. En vurdering av agglomerasjonseffektene har potensielt stor betydning, ikke bare for vurderingene av lønnsomheten av veiinvesteringer generelt, men også for *rangeringen* av ulike prosjekter. Prosjekter som bedrer integrasjonen mellom befolkningskonsentrasjoner vil, alt annet likt, gi en positiv integrasjonseffekt som ikke fanges opp i tradisjonelle nytte-kostnadsanalyser.

## Hovedelementene i nytte-kostnadsanalysen

Vår analyse hviler på etablert metodikk innen samfunnsøkonomisk analyse. Utgangspunktet er å kartlegge de individuelle nytte- og kostnadseffektene for trafikantene, enten det er i forbindelse med jobbrelatert eller privat transport, for bedrifter eller for offentlig sektor. I tillegg inkluderer vi avledete virkninger forbundet med at økt integrasjon tenderer til å øke produktiviteten i markedene. Vår analyse av agglomerasjonsgevinster er beskrevet nærmere nedenfor i kapittelet Ringvirkninger.<sup>3</sup>

Verdien av fremtidige inntekts- og kostnadsstrømmer beregnes som en nåverdi, dvs vi diskonterer fremtidige strømmer. Her legger vi til grunn de anbefalinger som gis i den offentlige utredningen om samfunnsøkonomiske analyser, NOU 2012:16.

I beregningene legger vi til grunn at finansieringen skjer uten bompenger. Det betyr at vi antar at investeringene er skattefinansiert, og vi kan dermed kalkulere alternativkostnaden ved offentlige budsjetter gjennom etablerte anslag på skattevridningskostnaden. Åpenbart kan finansieringsform ha selvstendig betydning for de endelige vurderingene. Bompenger som finansieringsform reduserer eller eliminerer det isolerte skattevridningstapet, men samtidig reduseres nytten av investeringene som følge av trafikkavvisningsvridningen. Det går utover rammen for denne rapporten å vurdere de samlede konsekvensene av et bompengialternativ. Men vi vil likevel føye til at den samfunnsmessige verdien av økt integrasjon, gjennom at markeder blir mer effektive, isolert sett øker vridningstapet forbundet med bompengialternativet, og derved, isolert sett, taler for skattefinansiering. Likeledes vil de potensielle gevinstene forbundet med at økt integrasjon kan øke yrkesdeltakelsen blant marginale grupper i arbeidsmarkedet, være spesielt sårbar overfor bompengefinansiering.<sup>4</sup> Men som sagt forfølger vi ikke denne diskusjonen videre.

Vi vil nå ta for oss mer spesifikt de beregningstekniske detaljene og valg av generelle parametere. Disse elementene tar vi med oss videre i den spesifikke nytte-kostnadsanalysen av de to investeringsprosjektene.

---

<sup>3</sup> Investeringer kan også ha andre virkninger som kan oppfattes å være mer indirekte. Et eksempel på dette er miljøvirkninger. En fullstendig analyse av dette vil imidlertid gå utover rammen for vår analyse.

<sup>4</sup> Det er veldokumentert at yrkesdeltakelsen varierer mellom regioner, noe som kan tilsi at det er viktige potensielle arbeidsmarkedsgevinster forbundet med økt integrasjon. La oss her føye til følgende: selv om disse effektene er svake målt i antall individer, kan de likevel ha stor samfunnsøkonomisk verdi ved at de bringer individer over fra status som ytelsesmottaker til bidragsyter av skatt. En forsvarlig analyse av dette går imidlertid utover rammen for prosjektet.

## Metode og parametervalg

### Levetid og analyseperiode

Levetiden for et prosjekt må defineres som hele perioden det kan forventes å gi nytteeffekter og/eller kostnadseffekter for samfunnet. Det er vanlig å dele prosjektlevetiden inn i en såkalt *analyseperiode* og en periode som blir gjenstand for *restverdiberegning*. Finansdepartementet (2014) angir at analyseperioden skal være så nær levetiden som praktisk mulig for samfunnsøkonomiske analyser av statlige tiltak. Videre skal analyseperioden for infrastrukturprosjekter settes til 40 år, noe som samsvarer med anbefalingen i NOU (2012). For levetiden ut over analyseperioden skal en beregne en restverdi. Denne beregnes med utgangspunkt i netto nytteverdi reflektert i de siste årene av analyseperioden.

Levetiden til bro- og tunnelinvesteringer kan være vanskelige å anslå. Vi anser det som urimelig å operere med en kortere levetid enn lengden på den anbefalte analyseperioden for samferdselsprosjekter mer generelt, slik den angis i NOU (2012). Av andre kvalifiserte beregninger kan nevnes at Minken (2013) opererer med en 40 års levetid og analyseperiode for veiprosjekter, og da uten restverdiberegning.

Startåret for de samfunnsøkonomiske beregningene i denne rapporten er 2014. For samferdselsinvesteringsprosjekter, som bro- og tunnelforbindelser, legger vi også til grunn en levetid på 40 år. Levetiden starter ved ferdigstilling av prosjektet. Med en analyseperiode på 40 år vil levetiden derfor gå ut over analyseperioden. For de gjenværende år av levetiden beregnes det en restverdi i tråd med Finansdepartementet (2014). Restverdien beregnes som nevnt fra netto nyttestrøm i siste årene av analyseperioden. Nettonytten summeres og diskonteres med kalkulasjonsrenten over restverdiperioden, justert for faste vekstfaktorer der disse gjelder (dette er diskutert videre i drøftingen av de respektive elementene som inngår i analysen).

### Kalkulasjonsrente

NOU (2012) argumenter for at det for samferdselsprosjekter er rimelig med en reell risikojustert kalkulasjonsrente på 4 prosent for de første 40 årene og på 3 prosent for de påfølgende 35 årene. Finansdepartementet (2014) fastsetter disse kalkulasjonsrentene til bruk ved samfunnsøkonomisk analyser av statlige tiltak.

I denne rapporten velger vi å følge disse anbefalingene og benytter en kalkulasjonsrente på 4 prosent for de første 40 årene og på 3 prosent for de påfølgende årene.

### **Tidsnytte, realprisjustering og spart tid**

Tidsbruken av en reise går ned som følge av at bro eller tunnel kommer som erstatning for ferge. Dette gir nytte i form av spart tid for både personreiser og godstrafikk.

Tidsnyttebesparelsen av en ny forbindelse er spart effektiv reisetid multiplisert med tidsnytten per kjøretøy. Kroneverdier i denne rapporten er oppgitt for 2012 priser.

Tidsnytteverdiene vi benytter i analysen er hentet fra Minken (2013). Disse verdiene er igjen hentet fra tidligere studier på tidsverdier, vi viser her til Minkens rapport for referanser.

For personreiser (lette kjøretøy) settes tidsbesparelsen til 164 kroner per time per personreise. Dette er en sats som vektet alle typer personreiser (tjenestereiser, til og fra arbeid, og fritid). Det antas videre et bilbelegg på 1,8 personer per bil. Dermed er tidsverdien per lette kjøretøy 295 kr per time spart.

For godstrafikk/tungtransport er summen av kjøretøyets tidsverdi og godsets tidsverdi lagt til grunn. Kjøretøyets tidsverdi er 527 kroner og godsets tidsverdi er 115 kroner. Med 41 prosent andel tomkjøring gir dette en tidsverdi per tunge kjøretøy på  $527 + 0.41 \cdot 115 = 595$  kroner.

Tidsnytten for person og godstrafikk vektet sammen for å gi en gjennomsnittlig tidsnytte per kjøretøy. Med en beregnet andel godstrafikk på 15 prosent er den gjennomsnittlige tidsnytten per kjøretøy  $0.85 \cdot 295 + 0.15 \cdot 595 = 340$  kroner per kjøretøy.

Tidsnytten skal dernest realprisjusteres med en årlig faktor for å reflektere en økende alternativkostnad av brukt tid. NOU (2012) anbefaler å bruke vekst i BNP per innbygger. Minken (2013) bruker en realprisjustering på 1,6 prosent årlig i sine beregninger. I denne rapporten benytter vi en realprisjustering av tidsnytten på 1,6 prosent årlig, altså i samsvar med Minkens analyser.

Spart effektiv reisetid ved ett broprosjekt består av spart tid ved at fergeturen bortfaller til fordel for kjøring, dernest ved innspart av- og pålossingstid, og endelig spart ventetid ved fergeleiet. I denne rapporten legges det til grunn at av- og pålossing tar 2 minutter og den gjennomsnittlige ventetiden ved fergeleiet er 10 minutter. Ventetiden er tid som er særlig lite nyttig og skal vektet opp med en faktor på 2 (ref. Halse et al., 2010).



Spart effektiv reisetid per kjøretøy er i denne rapporten satt til  $2 + 2 \cdot 10 = 22$  minutter, pluss netto fergetid spart som følge av bortfallet av fergeturen på den aktuelle strekningen.

## Besparelser

Totalbesparelsen er et mål på nytteverdien av spart tid og sparte ressurser ved gjennomføringen av et samferdselsprosjekt. Totalbesparelsen er summen av tidsnyttebesparelsen per kjøretøy, fergeulempkostnaden per kjøretøy og spart fergekostnad.

Tidsnyttebesparelsen av en ny forbindelse er spart effektiv reisetid i timer multiplisert med tidsnytteten per kjøretøy, slik som vist i avsnittet over.

Fergeulempen representerer et nyttetap ved fergetransporten utover tidsnyttetapet som beregnet over (en ekstra ulempe ved å bruke ferge fremfor kjøretøy). Den gjennomsnittlige fergeulempen på 46 kroner per kjøretøy som brukes i denne rapporten er hentet fra beregningene utført av Minken (2013) som igjen er basert på data fra Statens vegvesen (2008), heretter SVV.

Spart fergekostnad er en samfunnsøkonomisk besparelse siden ressurser som brukes til fergedrift kan reallokeres til annen nyttig bruk. Fergekostnaden er i denne rapporten satt lik inntekten til fergeselskapet, dvs billettutgiftene til de reisende, dvs det er implisitt antatt at fergevirksomhetens kostnader tilsvarer inntektene. Disse beregnes ved å legge til grunn billettpriser for overfart på de respektive strekningene.

Totalbesparelsen av gjennomføringen av en ny bro- eller tunnelforbindelse i denne rapporten er dermed besparelsen per kjøretøy (tidsnyttebesparelsen + 46 kroner) i tillegg til fergekostnaden.

## Trafikkgrunnlag og trafikkvekst

Besparelsen per kjøretøy skal multipliseres med antallet kjøretøyer som bruker strekningen. Beregningen av antallet kjøretøy som bruker strekningen består av tre elementer. Det ene er beregningen av det initiale trafikkgrunnlaget. Det andre er beregningen av trafikkveksten over levetiden til prosjektet. Endelig beregnes en engangsøkning i trafikken i åpningsåret for bro/tunnel-prosjektet.

Trafikkgrunnlaget er i denne rapporten oppgitt som et mål på årlig daglig trafikk (ÅDT). ÅDT uttrykker bruk av strekningen på det nåværende tidspunkt, målt som antall enheter bruk hver dag over ett helt år. Merk at det ikke skiller mellom personbil og tung-/varetransport. Deling mellom disse kategoriene blir ivaretatt gjennom beregningen av totalbesparelsen per kjøretøy. ÅDT blir hentet fra statistikk over bruk av ferge på de aktuelle strekningene.

Trafikkveksten er i hovedsak basert på beregninger fra Minken (2013). Denne veksten er igjen basert på Madslie et. al. (2011), med en justering for nye befolkningsfremskrivninger. SSBs befolkningsfremskrivninger etter 2011 har riktignok vist en høyere vekst en tidligere, særlig for de siste årene. For å korrigere for dette justeres trafikkveksten i denne rapporten til å være 2 prosent årlig i de første 10 årene av analyseperioden, deretter legges de langsiktige vekstratene fra Madslie et. al. (2011) til grunn. Disse langsiktige årlige vekstratene er 1,17 for Rogaland og 0,95 for Hordaland.

I tillegg til trafikkveksten over perioden beregnes det en engangøkning ved ferdigstillelse av en ny forbindelse til erstatning for ferge. Ved ferdigstillelse av ny infrastruktur knyttes arbeids-, tjeneste- og servicemarkeder tettere sammen, slik at trafikken øker som følge av økt integrasjon. Denne trafikkøkningen er en engangsvirkning som kommer i tillegg til den årlige veksten som er omtalt over. Trafikkøkningen beregnes ved å bruke elastisiteten av trafikkvolum med hensyn på reisekostnadsendringen (inklusive sparte fergebilletter, bensin og andre utgifter). Denne elastisiteten settes til én i samsvar med Minken 2013.

### **Kostnadene ved samferdselsinvesteringene**

Investeringskostnader er svært usikre og vi henter anslag på disse fra andre kvalifiserte rapporter, se senere referanser. Det antas at investeringskostnader fordeler seg likt ut over anleggsperioden. Drifts- og vedlikeholdskostnader beregnes ut i fra en årlig kostnad som løper over hele levetiden.

Vi legger til grunn at prosjektkostnadene finansieres over skatteseddelen. Skatter fører til en kile mellom kjøperpris og selgerpris i et marked. Dette gir et effektivitetstap som følge av lavere produksjon sammenlignet med en situasjon uten skatter. Den relevante marginalkostnaden omtaler vi som skattefinansieringskostnaden. Finansdepartementet (2014) fastsetter at en skattefinansieringskostnad på 20 prosent skal legges til grunn for statlige prosjekter, noe vi legger til grunn i vår beregning.

Videre legger vi som nevnt til grunn at fergevirksomheten som avvikles opererer med kostnadsdekning. Dvs bruttogeinsten ved investering i bru/tunnel er mergeinsten for samfunnet, dvs verdiene som skapes utover ferjealternativet. Hvis ferjeselskapene drives med overskudd, skulle denne meravkastningen gå som fradrag i nytte-kostnadsberegningen. Tilsvarende, hvis ferjeselskapene reelt er subsidiert, vil subsidiene være en innsparing for samfunnet, som dermed skulle legges til nyttesiden. En beregning av dette går utover vår analyse, og er derfor ikke hensyntatt.

Det viktige nye bidraget i vår analyse er *agglomerasjonsgevinstene* forbundet med økt integrasjon av markeder. Det er en stor litteratur som identifiserer denne type mekanismer, men det er samtidig en stor utfordring å utvikle kvalifiserte anslag på størrelsesorden. Etter vår oppfatning er dette effekter som bør integreres i analysen for å gi et bedre beslutningsgrunnlag. Samtidig tilsier usikkerheten i anslagene at man bør være noe varsom i tallfestingen.

## Ringvirkninger

I tillegg til de direkte nytte- og kostnadseffektene av investeringene, kan prosjektene gi avledete virkninger for økonomien forøvrig. Ved å binde sammen regioner til et større arbeids-, tjeneste- og servicemarked, kan verdiskapingen i samfunnet øke. Disse gevinstene kommer i tillegg til de direkte samfunnsøkonomiske effektene. Vi trekker her et skille mellom *agglomerasjonseffekter* og *arbeidstilbudseffekter*.

## Agglomerasjonseffekter

Redusert reisetid mellom byer og tettsteder gir større og mer integrerte markeder som kan påvirke produktivitetsutviklingen. Det er flere kanaler for slike virkninger, som alle har vært analysert i litteraturen. La oss gi noen eksempler. Økt rivalisering påvirker *seleksjonen* av bedrifter som overlever i markedet.<sup>5</sup> Det kan videre være *skalaeffekter* i produksjonen, både på sluttbruker- og innsatsfaktornivå, som gir gevinster ved integrasjon av markeder.<sup>6</sup> Derneft er det potensielle produktivitetsgevinster gjennom *arbeidsmarkedet* som følge av mer effektiv

---

<sup>5</sup> Se for eksempel Behrens m.fl. (2014).

<sup>6</sup> Se for eksempel Davis m.fl. (2014).

«matching» av kompetanse og bedrift.<sup>7</sup> Endelig kan et mer integrert marked forsterke lærings- og kunnskapsdynamikken.<sup>8</sup>

Disse eksemplene representerer svært ulike mekanismer i en økonomi, men de har det til felles at de forsterkes ved økt tetthet av bosettings- og produksjonsstruktur, og omtales som derfor ofte som agglomerasjonseffekter. Det er vel dokumentert at effekter av denne type kan identifiseres, og at de i så måte er relevante effekter i en vurdering av nytte versus kostnadselementene i samferdselsprosjekter, se diskusjonen i Venables (2007). Det er imidlertid en stor utfordring å vurdere relevansen og styrken på de ulike mekanismene i konkrete prosjekter. Det taler for at en er konservativ i tallfestingen.

En viktig prinsipiell utfordring er å korrigere analysen for *sorteringseffekter* som øker verdiskapingen i en region som følge av at høyproduktive arbeidskraftsressurser migrerer. Hvis bedre infrastruktur øker tilgangen av produktiv arbeidskraft gjennom økt mobilitet, er nettobidraget til samfunnet den mergevinsten som genereres i samspillet mellom kvalifisert arbeidskraft og andre ressurser i byene; men da slik at en må korrigere for redusert verdiskaping i områder som ressursene trekkes fra.<sup>9</sup>

I den internasjonale litteraturen har det spesielt vært fokusert på betydningen for produktivitetsutviklingen av økt befolkningstetthet i byer. I vår analyse er økt tetthet generert gjennom redusert reisetid og reisekostnad, og derved stimulerer samspillet mellom produktive ressurser i en region – det som vi i modellen omtaler som antallet interaksjoner. Hvor sterk denne effekten er, vil avhenge av bosettingsmønsteret. En bru eller en tunnel, som reduserer reisetiden mellom regioner, vil knytte visse områder tett sammen, men fremdeles med betydelig avstand mellom andre deler av regionene. Det betyr at produktivitetseffektene ikke er uniformt fordelt over regionene, men virker sterkere i noen deler enn i andre. Et viktig element i vår beregning er derfor å fange opp implikasjonene av *avstand* for agglomerasjonseffekter. Vi gjør det ved å «diskontere» avstand i betydningen at agglomerasjonseffektene forbundet med samspillet av produktive ressurser avtar i avstanden mellom dem.

---

<sup>7</sup> Se for eksempel Bernard m.fl (2014), Eeckhout m.fl (2014) og Davis og Dingel (2014).

<sup>8</sup> Se for eksempel Caslino og Kerr (2014) og Davis og Dingel (2012).

<sup>9</sup> Denne korreksjonen er et viktig element i analysen i Behrens et al. (2014).

## Empiriske estimater av agglomerasjonseffekter

Som nevnt ovenfor er agglomerasjonseffekter en samlebetegnelse for svært ulike mekanismer som har det til felles at de stimuleres av økt befolkningstetthet. Det er grunn til å tro at infrastrukturinvesteringer som knytter befolkningskonsentrasjoner tettere sammen, vil kunne gi effekter langs flere av de samme dimensjonene. Vi vil derfor ikke her forsøke å identifisere enkeltårsaker, men benytte estimater fra etablerte studier for makroeffekter av økt effektiv populasjon som en tilnærming – riktignok med den viktige modifikasjon at vi tar eksplisitt hensyn til at avstand har en dempende effekt.

En tidlig oversikt over empiriske studier av agglomerasjonseffekter er presentert i Rosenthal og Strange (2004). Det er flere studier som forsøker å analysere effekten av *bystørrelse* på produktiviteten på aggregert nivå. Rosenthal og Strange (2004) finner estimater for endringen i arbeidskraftproduktiviteten, som følge av en dobling av bystørrelsen, i intervallet 3 til 8 prosent. Andre studier analyserer virkningen av *sysselsettingstetthet* i et område på produktiviteten i det samme området. I en slik beregning finner Rosenthal og Strange (2004) en elastisitet av arbeidskraftproduktiviteten med hensyn på sysselsettingstettheten på omtrent 0,05. Størrelsesordenen på denne elastisiteten er også bekreftet i nyere studier som Combes et.al. (2008) og Behrens et.al. (2014). I en artikkel av Davis et.al. (2014) analyseres i hvilken grad *produksjonstettheten* i et område kan påvirke produktiviteten i det samme område. De estimerer effekten av en dobling av produksjonstettheten på *totalfaktorproduktivitet*<sup>10</sup> til å være 4,1 prosent.

Generelt finner den empiriske litteraturen en signifikant positiv elastisitet for produktiviteten med hensyn på populasjonsstørrelse eller populasjonstetthet, og at denne varierer rundt 0,05. I denne rapporten legger vi til grunn et konservativt anslag på 0,04 for denne elastisiteten.

I tillegg er, som nevnt, både distanse *mellom* områder, og distanse *internt* i en region, av betydning for styrken på agglomerasjonseffektene. Et viktig moment i vår analyse er å definere områdebegrepet slik at vi tar hensyn både til distansen mellom områdene og internt i områdene. I hvilken grad agglomerasjonseffekter avtar med avstand er studert i noen arbeider. Duranton et.al. (2005) finner positive effekter på industriproduktivitet som følge av

---

<sup>10</sup> *Totalfaktorproduktivitet* identifiserer den rene produktivitetseffekten, dvs et mål som isolerer den delen av produktivitetsøkningen som *ikke* kan forklares ved økt bruk av produksjonsressurser, f.eks. økt bruk av arbeidskraft, realkapital osv. Et problem ved bruk av *arbeidskraftsproduktivitet* som produktivitetsmål er at en økning i denne *kan* gjenspeile økt reell produktivitet (og dermed også bli fanget opp i totalproduktivitetmålet), men *kan alternativt* være resultat av økt bruk av andre ressurser, f.eks. realkapital – i hvilket tilfelle det blir feil å omtale endringen som produktivitetsvekst.

samløkaliserings-effekter, men at disse er små for avstander som overstiger 50 kilometer. Lignende resultater er også påvist i Graham et. al. (2009). I denne rapporten vektet vi derfor agglomerasjonseffektene ned med distanse. Detaljer i dette drøftes nærmere i neste kapittel der vi presenterer modellen.

### Agglomerasjonsmodellen

Litteraturen om agglomerasjonseffekter er etterhvert blitt omfattende, men er stadig under utvikling. I litteraturen analyseres alternative forklaringsmekanismer, og det pekes på en rekke mulige mekanismer som kan forklare effektene. Det er imidlertid ingen generisk modell for agglomerasjonseffekter, det er et tilfang av dels mer partielle modeller, som analyser enkelteffekter, til mer generelle likevektsmodeller som forsøker å fange opp virkningene på aggregert nivå.

Selv om dette er en litteratur under utvikling, er det generelt akseptert at det er kausale sammenhenger mellom befolkningskonsentrasjon og produktivitet, se for eksempel Behrens et.al. (2014). I en analyse av nettogevinstene ved bedret infrastruktur mellom befolkningskonsentrasjoner, er disse effekter som må inkluderes.

Utgangspunktet for analysene av agglomerasjonseffekter i denne rapporten er at forbindelsen (bro/tunnel), som erstatter ferge på de relevante strekningene, binder sammen to regioner (“økonomiske øyer”) som tidligere i mindre grad var integrerte. Det gir rom for sterkere økonomiske koblinger mellom regionene, med det uten at det finner sted en full befolkningsmessig integrasjon.

Konkret tenker vi oss at produktivetsgevinstene er knyttet til et samspill mellom produktive ressurser, og jo kortere avstanden er mellom lokaliseringen av ulike ressurser, desto sterkere blir produktivitetseffekten – enten det er som følge av at *sannsynligheten* for en kobling øker, eller det er den direkte effekten av at kostnadene ved interaksjonen blir lavere.

I analysen fanger vi opp betydningen av avstand ved å benytte *interaksjoner* som måleenhet. For to individer med samme lokalisering definerer vi interaksjonen til 1, noe som er ren normalisering. Jo større geografisk avstand det er mellom individer, desto lavere blir interaksjonstallet.

Agglomerasjonseffekter fanges opp ved at individer, gjennom interaksjon med andre individer, skaper verdier – enten det nå er gjennom arbeidsmarkedet (mer effektiv matching), kunnskapsmarkedet (læring og kunnskapsspredning) eller kapitalmarkedet (bedriftsdannelser). Ved å bedre veistrukturen, reduseres reisetiden og antallet interaksjoner øker.

Samlet verdiskaping vil i modellen avhenge av antallet *aggregerte interaksjoner*. Vi beregner den relative økningen i aggregerte interaksjoner som følger av veiinvesteringen. Basert på dette målet benytter vi produktivitetselastisiteter dokumentert i empiriske studier av agglomerasjonseffekter.

Modellen vi setter opp er stilisert, men spesifisert med sikte på å fange opp de essensielle mekanismene. Modellen består av fire sett av parametere:

1. Befolkningsstørrelse i de to respektive regionene, henholdsvis  $M_1$  og  $M_2$
2. Kjøreavstand mellom de respektive regionssentra målt i timer. Gjennomføring av prosjektet reduserer reiseavstanden fra  $\delta$  til  $\tilde{\delta}$
3. Bosettingstetthet i de to regionene. Vi lar  $a$  og  $b$  representere den geografiske avstanden (målt i reisetid) mellom endepunktene i de to respektive områdene.
4. Den dempende effekten av avstand på interaksjon, representert ved en parameter  $\gamma$ . Denne forklares nedenfor.

Hovedstrukturen kan illustreres i følgende figur:

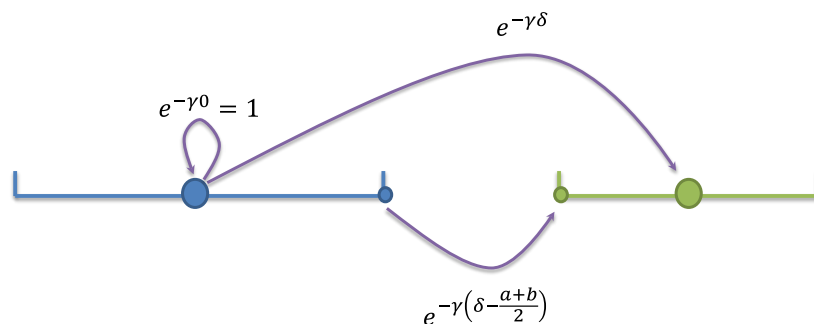


Det blå og grønne kulepunktet representerer sentra i de to regionene, der  $\delta$  angir reiseavstand målt i timer. Lengdestykkene  $a$  og  $b$  gjenspeiler bosettingstetthetene, og  $M_1$  og  $M_2$  er befolkningsstørrelsene.

Prosjektet, bro eller tunnel, reduserer reisetiden  $\delta$ , og knytter gjennom det de to regionene tettere mot hverandre. Ved å redusere avstanden mellom individer, øker antallet interaksjoner. Konkret gjør vi følgende: Vi lar interaksjonen mellom to individer,  $i$  og  $j$ , være diskontert med avstanden mellom dem, det vil si at interaksjonen settes til tallet

$$e^{-\gamma\delta_{ij}}$$

der  $\delta_{ij}$  er reiseavstanden mellom dem og  $\gamma$  er en gitt positiv parameter. I en figur kan det illustreres slik:



To individer med samme lokalisering har reiseavstand  $\delta = 0$ , som gir interaksjon  $e^{-\gamma 0} = 1$ . Interaksjonen mellom to individer bosatt i hvert sitt sentrum er diskontert ned med avstanden  $\delta$ , og gir tallet  $e^{-\gamma \delta} < 1$ . Hvis f.eks. reisetiden er 55 minutter, dvs  $\delta = \frac{55}{60} = 0,92$ , og samtidig setter  $\gamma$  som en illustrasjon lik 1, blir verdien  $e^{-\gamma \delta} \approx 0,4$ . Legg merke til at  $\gamma$  fanger opp hvor raskt interaksjonsmulighetene uttømmes i avstand, antar man f.eks. at 20 prosent av interaksjonen er eliminert ved en reiseavstand på én time, tilsier det at  $\gamma = \ln 5 \approx 1,6$ .

En viktig egenskap, som fanges opp ved å diskontere avstand eksponentielt, er at effekten som avstand har på aggregerte interaksjoner er avtakende, noe som er svært realistisk. Når reiseavstanden elimineres mellom to byer, byer som i utgangspunktet lå en time fra hverandre (dvs de blir fullt integrert), vil det trolig ha en sterkere agglomerasjonseffekt enn om reiseavstanden mellom dem reduseres fra 4 til 3 timer. I figuren kan det illustreres ved de små kulepunktene, som er de respektive lokaliseringene nærmest bro/tunnel-forbindelsen.

Reduksjonen i reiseavstand gir her en særdeles sterk økning i effektiv interaksjon. Som et regneeksempel, hvis den nye reiseforbindelsen reduserer reisetiden sentrum til sentrum fra 55 til 45 minutter, men fra 20 til 10 minutter for de som er bosatte nær forbindelsespunktet; vil effektiv kobling øke fra 0,40 til 0,47 for sentrumslokaliseringene og fra 0,72 til 0,85 for den andre gruppen, når vi setter  $\gamma$  lik én. Investering i en tunnel gir dermed et større skift i interaksjonsmulighetene for dem som bor nær tunnelen, enn for dem som bor 30 km unna.

Vårt mål på antallet interaksjoner fanger opp et viktig aspekt ved agglomerasjonsmodellene. Gjennom sammenkobling av komplementære ressurser øker produktiviteten. Avstand demper denne effekten ved at sannsynligheten for koblinger synker.



Vi vil nå presentere beregningene til grunn for anslaget på agglomerasjonseffekter som følger av prosjektet. I et appendix går vi nærmere inn på de matematiske detaljene.

Det aggregerte antallet interaksjoner i de to regionene,  $N$ , som funksjon av reiseavstanden mellom regionene, kan uttrykkes

$$N(\delta) = \frac{2M_1^2}{\gamma a^2} \left[ a - \frac{(1 - e^{-\gamma a})}{\gamma} \right] + \frac{2M_2^2}{\gamma b^2} \left[ b - \frac{(1 - e^{-\gamma b})}{\gamma} \right] + 2 \frac{M_1 M_2}{\gamma^2 ab} (1 - e^{-\gamma \frac{a+b}{2}}) (e^{\gamma a} - 1) (e^{\gamma b} - 1) e^{-\gamma \delta}$$

Veiinvesteringen reduserer reisetiden  $\delta$ . Den relative økningen i aggregerte interaksjoner, når reisetiden synker fra  $\delta$  til  $\tilde{\delta}$  blir

$$\Delta P = \frac{N(\tilde{\delta})}{N(\delta)} - 1$$

der  $\Delta P$  er endringen i populasjonstettheten som følge av redusert reisetid.

Legg her merke til at driveren for produktivitetseffekten er at veiinvesteringer, gjennom redusert reiseavstand, øker mengden interaksjoner for en gitt befolkning. Det øker populasjonstettheten prosentvis like mye som antallet interaksjoner.<sup>11</sup>

Tilslutt kalkuleres den prosentvise produktivitetsendringen ved å multiplisere  $\Delta P$  med produktivitetselastisiteten. Med vårt moderate anslag på 0,04, blir produktivitetseffekten, i prosentvis endring, uttrykt ved

$$\Delta TFP = 0,04 \Delta P$$

Dette gir et mål på den prosentvise produktivitetsendringen som følge av ringvirkninger fra et samferdselsprosjekt som binder sammen områder.

## Arbeidstilbud

Redusert reisetid mellom byer og tettsteder kan føre til at det effektive arbeidsmarkedet øker i størrelse og dybde. Dette kan gi en økning i tilbudet av arbeidskraft noe som har positive samfunnsøkonomiske virkninger. Særlig kan dette være relevant i områder enten med stor

<sup>11</sup> La oss belyse det med et eksempel. Betrakt to populasjoner, hver med 10 individer, lokalisert i samme punkt, men avskåret av en "Berlin-mur". Eliminering av "muren" fordobler befolkningstettheten fra 10 til 20, og samtidig fordobler antallet aggregerte interaksjoner fra 200 til 400. Denne situasjonen må derfor ikke forveksles med en situasjon der befolkningen som sådan øker, i hvilket tilfelle antallet aggregerte interaksjoner øker kvadratisk med befolkningstilveksten.

arbeidsledighet eller med en relativt stor andel av befolkningen på offentlige støtteordninger. Det er tildels betydelig variasjoner i yrkesdeltakelsen mellom regioner, og det er et viktig spørsmål om økt integrasjon vil medføre at områder med lav yrkesdeltakelse i utgangspunktet vil få en utvikling mot et mer normalt nivå. Man kan se for seg at lavere transportkostnader bedrer arbeidsmarkedsutsiktene særlig for individer som bor i mindre befolkningstette områder. Det er imidlertid to grunner til at vi ikke integrerer denne effekten i analysen.

Det ene er at empiriske studier av agglomerasjonseffekter også kan fange denne type tilbudsideeffekter i arbeidsmarkedet. Dermed må en være oppmerksom på dobbelttelling av effekter dersom en bruker estimater på agglomerasjonseffekter sammen med rene arbeidstilbudseffekter.

Dernest har ikke vi et informasjonsgrunnlag som gjør det mulig å foreta kvalifiserte anslag på disse effektene. En forsvarlig analyse av dette går utover rammene for vår analyse. Men det peker på en problemstilling som bør kartlegges nærmere, og som har åpenbar potensiell betydning for vurderingen av nytteeffektene av integrasjon.

## **Nytte-kostnadsanalyse av Rogfast**

I dette kapittelet gjennomføres lønnsomhetsanalysen av Rogfast, som er den fergefrie forbindelsen mellom Stavangerregionen og Haugesundsregionen. Investeringsprosjektet beskrives og enkeltelementer for prosjektet drøftes og beregnes. Beregningene for denne forbindelsen brukes sammen med de generelle reglene og parameterene i nytte-kostnadsanalysen.

### **Beskrivelse av forbindelsen og regionene**

Det er 81 kilometer fra Stavanger sentrum til Haugesund sentrum langs vei/ferge. Den vedtatte forbindelsen er en undersjøisk tunnel i to løp under Boknafjorden, fra Mekjarvik i syd til Arsvågen i nord, på samlet 25 kilometer. Det vil også være en avstikker til Kvitsøy. Med to tunnellop vil total tunnelkilometer vil være omtrent 54 kilometer. I analysen legges det til grunn en byggetid på syv-åtte år, med åpning av veiforbindelsen i 2022.

Reisetider langs E39 for ny trase er hentet fra konsekvensutredningen for Rogfast (SVV 2010). SVV (2010) anslår en reisetid fra Stavanger til Aksdal på 55 minutter for lett bil og 65

minutter for tung bil etter åpning av tunnelen. I denne analysen legges det til grunn at ny trasé gir en reisetid fra Stavanger sentrum til Haugesund sentrum på 1 time.

De to regionene som bindes sammen av den nye forbindelsen omtales i denne rapporten som Stavanger-regionen (STV) og Haugesund-regionen (HAU). Definisjonen av disse regionene og sysselsettingstallene er i samsvar med rapporten til Sasson m.fl (2014).

Stavanger-regionen inkluderer følgende kommuner: Stavanger, Sandnes, Klepp, Time, Gjesdal, Sola, Strand Rennesøy, Kvitsøy og Randaberg. Denne regionen inkluderer omtrent 121 109 sysselsatte. Haugesund-regionen inkluderer følgende kommuner: Haugesund, Bokn, Tysvær, Karmøy og Vindafjord. Denne regionen inkluderer omtrent 31204 sysselsatte.

### Nytte-kostelementer for Rogfast

Den nye forbindelsen er satt til å være virksom fra og med 2022. Med en levetid for investeringene på 40 år kan lønnsomhetsberegningen dekomponeres i en analyseperiode over årene 2014-2053, og en restverdiperiode som dekker årene 2054-2061.

### *Tidsnytte og spart tid*

Fergeturen i dag fra Mortavika i syd til Arsvågen i nord er på omtrent 9 kilometer og tar omtrent 27 minutter. Med den vedtatte forbindelsen vil kjøretraseen nord for Stavanger endres betydelig med innkjøring for tunnel fra området Randaberg. Forbindelsen vil ende omtrent der fergeleiet i nord er i dag. Endring i trasé og kjøring gjennom tunnel gir en total ekstra kjøretid på omtrent 5 minutter. Dermed er netto spart fergetid på 22 minutter når tid ved fergeleiet ikke er medregnet.

I tillegg til spart fergetid skal 22 minutter i innspart tid ved fergeleiet (av- og pålossing, og ventetid) regnes med. Spart *effektiv* reisetid kan med dette kalkuleres til  $22 + 22 = 44$  minutter per kjøretøy. Effektiv reisetid med eksiterende trasé er dermed  $60 + 44 = 104$  minutter.

Tidsnyttebesparelsen av den nye forbindelsen er tidsnyttan per kjøretøy multiplisert med spart effektiv reisetid (målt i timer), som gir  $340 * (44/60) = 249.3$  kroner.

Besparelsen per kjøretøy, tidsnyttebesparelsen i tillegg til besparelsen for bortfall av fergeulempekostnaden, er dermed  $249.3 + 46 = 295.3$  kroner per kjøretøy.

### *Fergekostnader*

Fergekostnaden er beregnet ut i fra inntekten til fergeselskapet. Billettpris for kjøretøykategorier er hentet fra nettsidene til Fjord1, omregnet til 2012-priser. Det er lagt til grunn at halvparten av de betalende har en eller annen form for rabatt. I snitt er denne rabatten satt til 50 prosent av fullpris. Merverdiavgiften for transport med ferge er 8 prosent. Dette er en inntektsoverføring og trekkes dermed fra når fergekostnadene beregnes.

Antallet kjøretøy og passasjerer, fordelt på de respektive kategoriene, er hentet fra SVV (2013) for strekningen Mortavika-Arsvågen. Dette gir en årlig inntekt fra fergestrekningen på 263,4 millioner kroner.

### *Trafikkgrunnlag og trafikkvekst*

Trafikkgrunnlaget for forbindelsen er hentet fra fergestatistikken. SVV (2013) rapporterer en ÅDT for fergestrekningen Mortavika-Arsvågen på 3733 i 2012, inkludert alle typer kjøretøyer. Oppjuster vi med en årlig trafikkvekst på 2 prosent gir dette en ÅDT på 3883 ved starten av analyseperioden for nytte-kost beregningene.

Trafikkveksten anslås til 2 prosent årlig i de første 10 årene av analysen, deretter brukes den langsiktige vekstraten på 1,17 for Rogaland.

Engangsøkningen i trafikken ved ferdigstillelse av den nye forbindelsen beregnes ut fra hvor stor endringen i reisekostnaden er. Denne analysen bruker reisekostnadsendringer fra Minken (2013) som er beregnet til å være rundt 38 prosent. Med en elasticitet for trafikkøkning på 1 blir engangsøkningen i trafikken for Rogfast anslått til 38 prosent.

### *Investerings-, drifts- og vedlikeholdskostnader*

Det finnes flere overslag for kostnadene forbundet med Rogfastforbindelsen. I denne analysen legger vi til grunn et investeringsbeløp med nåverdi på 12 000 millioner kroner. Med en skattefinansieringskostnad på 20 øre per krone, er den totale investeringskostnaden på 14,4 milliarder kroner.

Drifts- og vedlikeholdsutgifter settet til 2 millioner kroner per kilometer per år, med tunnelkilometer lik 54 kilometer på grunn av dobbelt løp. Med en skattefinansieringskostnad på 20 øre per krone, er årlige drifts- og vedlikeholdskostnader 129,6 millioner kroner.

### *Produktivitetseffekter*

De to regionene som bindes sammen med tunnelforbindelsen er Stavanger regionen med 121 109 sysselsatte og Haugesund regionen med 31 204 sysselsatte.

Avstanden i effektiv tid fra sentrum til sentrum før den nye forbindelsen (parameteren  $\delta$ ) er 1,73 timer. Endringen i denne avstanden mellom regionene er like den sparte reisetiden på 0,73 timer. Dette gir avstand etter åpning av forbindelsen (parameteren  $\tilde{\delta}$ ) på 1 time.

Vi antar at 55 prosent av interaksjonen i en populasjon er effektiv ved en reiseavstand på en halv time. Dette gir en diskonteringsfaktor for avstand (parameteren  $\gamma$ ) lik 1,2.

Agglomerasjonsmodellen gir endringen i populasjonstettheten som følge av at regionene bindes tettere sammen. Med valgte parametere blir den prosentvise økningen i populasjonstettheten 12 prosent for den nye stor-regionen etter åpningen av forbindelsen.

I analysen bruker vi elastisiteter for produktivitet med hensyn på populasjonsstørrelse på 0,04. Dette gir en produktivitetsøkning på 0,48 prosent for hele den nye stor-regionen som følge av agglomerasjonseffekter ved åpning av forbindelsen.

Agglomerasjonseffekter gir en produktivitetsøkning som medfører at de sysselsatte øker verdiskapningen i et område. For å finne verdien av disse effektene må en først finne verdien av produksjonen per sysselsatt, før den nye forbindelsen er virksom, og multipliserer dette med antallet sysselsatte i området. Når en har dette målet på verdiskapning finner en verdien av en produktivitetsøkning ved å multiplisere verdiskapningen med produktivitetsøkningen.

I denne rapporten brukes BNP per sysselsatt som mål på verdiskapningen i et område. BNP per sysselsatt (målt for fastlands Norge i 2013) er 0,886 millioner. For både Stavanger- og Haugesund regionene kan dette være et lavt estimat for verdiskapningen. Ved høyere verdiskapning vil en gitt produktivitetsøkning ha høyere verdi. Således vil verdien av produktivitetsendringen i denne rapporten være noe konservativt estimert.

Med BNP per sysselsatt lik 0,866 millioner kroner, antallet sysselsatte i stor-regionen lik 152 313 og en produktivitetsøkning på 0,48 prosent blir verdien av agglomerasjonseffektene en

årlig produktivetsgevinst på 650,2 millioner kroner. Dette er en årlig gevinst som begynner fra åpningsåret for den nye forbindelsen.

Den årlige verdien diskonteres med kalkulasjonsrenten over hele perioden, der nåverdiberegningen tar hensyn til at åpning ikke skjer før i 2022. Samtidig tas det med i beregningene at det er en årlig realvekst i BNP. Når BNP øker, øker verdiskapningen per sysselsatt og dermed øker også effekten av en produktivetsendring. For realveksten i BNP legges det til grunn er årlig rate på 1,3 prosent.<sup>12</sup> Dette demper den effektive diskonteringen av den årlige gevinsten fra agglomerasjonseffektene. Med dette er nåverdien av agglomerasjonseffektene for Rogfast 13 263 millioner kroner.

### Nytte-kostnadsberegning av Rogfast

Nåverdien av investerings-, drifts- og vedlikeholdskostnader for tunnelforbindelsen er 16 352 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen brukes en kalkulasjonsrente på 4 prosent i perioden 2014-2053 og på 3 prosent i perioden 2054-2061.

Nåverdien av tidsnyttene for trafikantene av investeringen er 18 230 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen er det tatt hensyn til årlig trafikkvekst og realprisjustering av tidsnyttene.

Nåverdien av sparte fergekostnader er 5 594 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen er det tatt hensyn til trafikkveksten.

Nåverdien av agglomerasjonseffektene som følge av større populasjonstetthet etter åpning av forbindelsen er 13 263 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen er det tatt hensyn til BNP-veksten.

### Konklusjon for Rogfast

Samferdselsprosjektet for strekingen er Stavanger-Haugesund, der kryssing av Boknafjorden med ferge erstattes med tunnelforbindelse, har en samlet netto nåverdi på 20 735 millioner kroner. Med de forutsetninger og modellvalg som er gjort i denne rapporten burde denne investeringen gjennomføres.

---

<sup>12</sup> Finansdepartementet 2013 viser til en TFP vekst på 1,4 prosent i perioden 2012-2060. Imidlertid kan noe av denne estimerte veksten komme fra agglomerasjonseffekter, særlig dersom det ligger til grunn en stor grad av sentralisering i perioden. For å være sikker på å ikke dobbelt-telle effekter trekkes det fra 0,1 prosent, slik at realveksten uten agglomerasjonseffekter er 1,3 prosent årlig.

## Nytte-kostnadsanalyse av Stord-Bergen

I dette kapittelet gjennomføres en samfunnsøkonomisk lønnsomhetsanalyse av fergefri forbindelse på strekningen Stord (Leirvik)-Bergen. Aksdal-Bergen er en av strekningene fra konseptvalgutgreiingen for E 39. Denne rapporten fokuserer på virkningen av å erstatte kryssing av Bjørnefjorden med ferge med en ny broforbindelse. Det er dette investeringsprosjektet som det beregnes og vurderes nytten av. Denne analysen utføres sett i lys av trasévalg og forbedringer for hele strekningen Aksdal-Bergen.

### Beskrivelse av forbindelsen og regionene

Aksdal er et sted litt øst av Haugesund. Det er 138 kilometer fra Haugesund sentrum til Bergen sentrum målt langs eksisterende trase. Avstanden mellom Haugesund og Bergen er for lang til at en kan betrakte disse som en del av et arbeids- og produktmarked, også etter at de nye forbindelsene er på plass, ref vår antakelse om at agglomerasjonseffektene avtar med avstand. Avstanden mellom Stord og Bergen er imidlertid såpass kort at effektene trolig er målbare. Det er 83 kilometer fra Stord sentrum (Leirvik) til Bergen sentrum langs vei/ferge på eksisterende trase. Regionene Stord og Haugesund er i dag forbundet, og fergefri forbindelse Aksdal-Bergen vil således ikke føre til agglomerasjonseffekter i forhold til Stord-Haugesund.

De to regionene som bindes sammen av ny trasé for E 39 mellom Aksdal-Bergens er dermed Stord-regionen og Bergen-regionen. Definisjonen av disse regionene og sysselsettingstall følger Sasson m.fl (2014). Stord-regionen inkluderer følgende kommuner: Stord, Sveio, Bømlo, Fitjar, Tysnes og Austevoll. Denne regionen inkluderer omtrent 12599 sysselsatte. Bergen regionen inkluderer følgende kommuner: Bergen, Samnanger, Os, Fjell, Askøy, Vaksdal, Osterøy og Meland. Denne regionen inkluderer omtrent 136177 sysselsatte.

Dagens trasé for Aksdal-Bergen langs E39 har kryssing av Bjørnefjorden med ferge fra Sandvikvåg i sør til Halhjem i nord. I denne rapporten legges det til grunn at det nye trasevalget Aksdal-Bergen blir fergefritt med kryssing av Bjørnefjorden, såkalt midtre konsept 4c. I dette konseptet krysses Langenuen mellom Stord og Tysnes ved bruk av bro. Videre nordover går veien over Reksteren (i Tysnes kommune) med flytebro over Bjørnefjorden. Det bygges også ny tunnel mellom Os og Bergen.

Reisetider langs E39 for ny trasé er hentet fra konseptvalgutgreiingen Aksdal-Bergen (SVV 2011). Den nye strekningen vil være på 77 kilometer og ta 51 minutter fra Stord sentrum til Bergen sentrum.

I denne rapporten beregnes ikke nytte og kostnader av strekningen Aksdal-Stord (Leirvik). Det beregnes heller ikke samfunnsøkonomisk lønnsomhet av tunnelen mellom Os og Bergen. Denne rapporten beregner den samfunnsøkonomiske verdien av at kryssing av Bjørnefjorden med ferge erstattes med broforbindelse og nytt trasevalg i henhold til konsept 4c. Analysen gjøres under forutsetning om at tunnelen mellom Os og Bergen blir utbygget i henhold til konsept 4c slik at tiden fra Stord til Bergen blir 51 minutter etter åpning slik som anslått i SVV (2011).

I analysen legges det til grunn at beslutning om utbygging av forbindelsen skjer i 2014. Med en byggetid på syv-åtte år, tar analysen utgangspunkt i at forbindelsen kan brukes fra 2022.

### **Nytte-kost elementer for Stord-Bergen**

Den nye forbindelsen er satt til å være virksom fra og med 2022. Med en levetid for investeringer på 40 år blir den lønnsomhetsberegningen delt opp i følgende perioder: analyseperioden 2014-2053, restverdiperioden 2054-2061.

### ***Tidsnytte og spart tid***

Fergeturen i dag fra Sandvikvåg i sør til Halhjem i nord er omtrent 22 kilometer og tar omtrent 42 minutter. Kjøring over broene gir en ekstra kjørevei, imidlertid gir ny trase og bedre vei mer effektiv kjøring. Totalt gir dette en ekstra kjøretid på strekningen Stord-Bergen på 8 minutter (besparelsen på strekningen Os-Bergen er ikke medregnet). Dermed er netto spart tid på strekningen 34 minutter når tid ved fergeleiet ikke er medregnet.

I tillegg til spart fergetid skal 22 minutter i innspart av- og pålossingstid samt spart ventetid ved fergeleiet regnes med. Spart *effektiv* reisetid er med dette  $34 + 22 = 56$  minutter per kjøretøy. Effektiv reisetid uten broen vil være  $51 + 56 = 107$  minutter.

Tidsnyttebesparelsen av den nye forbindelsen er tidsnyttan per kjøretøy multiplisert med spart effektiv reisetid (målt i timer), som gir  $340 * (56/60) = 317.3$  kroner.



Besparelse per kjøretøy, tidsnyttebesparelsen i tillegg til besparelsen for bortfall av fergeulempkostnaden, er dermed  $317.3 + 46 = 363.3$  kroner per kjøretøy.

### *Fergekostnad*

Fergekostnaden er beregnet ut i fra inntekten til fergeselskapet. Billettpris for kjøretøykategorier er hentet fra nettsidene til Fjord1, gjort om til 2012-priser. Det er lagt til grunn at halvparten av de betalende har en eller annen form for rabatt. I snitt er denne rabatten satt til 50 prosent av fullpris. Merverdiavgiften for transport med ferge er 8 prosent. Dette er en inntektsoverføring og trekkes dermed fra når fergekostnadene beregnes.

Antallet kjøretøy og passasjerer, fordelt på de respektive kategoriene, er hentet fra SVV (2013) for strekningen Halhjem-Sandvikvåg. Dette gir en årlig inntekt fra fergestrekningen på 250,2 millioner kroner.

### *Trafikkvekst*

Trafikkgrunnlaget for forbindelsen er hentet fra fergestatistikken. SVV (2013) rapporterer en ÅDT for fergestrekningen Halhjem-Sandvikvåg på 2513 i 2012, inkludert alle typer kjøretøyer. Oppjuster med en årlig vekst på 2 prosent gir dette en ÅDT på 2615 ved starten av analyseperioden for nytte-kost beregningene.

Trafikkveksten er 2 prosent årlig i de første 10 årene av analysen, deretter brukes den langsiktige vekstraten på 0,95 prosent for Hordaland (Madslien m.fl.,2011).

Engangsøkningen i trafikken ved ferdigstillelse av den nye forbindelse beregnes fra hvor stor endringen er i reisekostnaden. Denne analysen bruker som utgangspunkt reisekostnadsendringer beregnet ut fra målsettinger fra konseptvalgutgreiingen (se Dovre Group og TØI, 2012). Målet der er at avstandkostnadene mellom Stord og Bergen skal reduseres med 40 prosent for lette kjøretøy. Dette tallet er på linje med reisekostnadsendringen på 38 prosent som blir brukt for Rogfast. I analysen brukes også 38 prosent for Stord-Bergen. Med en elastisitet for trafikkøkning på 1 blir engangsøkningen i trafikken for Stord-Bergen 38 prosent.

### *Investerings-, drifts- og vedlikeholdskostnader*

Investeringskostnadene er usikre og flere anslag finnes. SVV (2012) går igjennom løsningsvalg for fjordkryssinger langs E39. For kryssing av Bjørnafjorden oppgis kostnadene til å variere fra 9 000 til 20 000 millioner kroner. I tillegg må det bygges bro over Langenuen og ny trase over Reksteren.

SVV (2011) oppgir en total investeringskostnad på 16 000 millioner kroner for konsept 4c Stord-Bergen. Dovre Group og TØI (2012) setter denne kostnaden til 20 900 millioner etter risikojustering og oppdatering av priser.

I denne analysen brukes et totalt investeringsbeløp med nåverdi på 15 000 millioner kroner for Stord-Bergen, uten tunnel og ny trase Os-Bergen (kostnadsestimater for denne strekningen er på omtrent 6 000 millioner kroner). Med en skattefinansieringskostnad på 20 øre per krone, er investeringskostnaden 18 000 millioner kroner.

Broen over Bjørnafjorden vil være på omtrent 5 kilometer. I tillegg kommer vedlikehold av bro over Langenuen. Drifts- og vedlikeholdsutgifter settet til 2 millioner kroner per kilometer per år for bro, med brokilometer lik 11 kilometer (doblet for flytebro). Det vil være en ny trase nordover etter kryssing av Langenuen, over Reksteren, på 22 kilometer. For vei settes drifts- og vedlikeholdsutgifter til 0,1 millioner kroner per kilometer. Med en skattefinansieringskostnad på 20 øre per krone, er totale årlige drifts- og vedlikeholdskostnader 31,7 millioner kroner.

### *Produktivitetsevirkninger*

De to regionene som bindes sammen med tunnelforbindelsen er Stord regionen med 12 599 sysselsatte og Bergen regionen med 136 177 sysselsatte.

Avstanden i effektiv tid fra sentrum til sentrum før den nye forbindelsen (parameteren  $\delta$ ) er 1,78 timer. Endringen i denne avstanden mellom regionene er like den sparte reisetiden på 0,93 timer. Dette gir avstand etter åpning av forbindelsen (parameteren  $\tilde{\delta}$ ) på 0,85 timer.

Det antas at 55 prosent av interaksjonen i en populasjon er effektiv ved en reiseavstand på en halv time. Dette gir en diskonteringsfaktoren for avstand (parameteren  $\gamma$ ) lik 1,2.

Agglomerasjonsmodellen gir endringen i populasjonstettheten som følge av at regionene bindes tettere sammen. Med valgte parametere blir den prosentvise økningen i populasjonstettheten 6,2 prosent for den nye stor-regionen etter åpningen av forbindelsen.

I analysen brukes en elastisiteter for produktivitet med hensyn på populasjonsstørrelse på 0,04. Dette gir en produktivitetsøkning på 0,25 prosent for hele den nye stor-regionen som følge av agglomerasjonseffekter ved åpning av forbindelsen.

Agglomerasjonseffekter gir en produktivitetsøkning som medfører at de sysselsatte øker verdiskapningen i et område. For å finne verdien av disse effektene må en først finne verdien av produksjonen per sysselsatt, før den nye forbindelsen er virksom, og multipliserer dette med antallet sysselsatte i området. Når en har dette målet på verdiskapning finner en verdien av en produktivitetsøkning ved å multiplisere verdiskapningen med produktivitetsøkningen.

I denne rapporten brukes BNP per sysselsatt som mål på verdiskapningen i et område. BNP per sysselsatt (målt for fastlands Norge i 2013) er 0,89 millioner. For både Stord- og Bergen regionene kan dette være et lavt estimat for verdiskapningen. Ved høyere verdiskapning vil en gitt produktivitetsøkning ha høyere verdi. Således vil verdien av produktivitetsendringen i denne rapporten være noe konservativt estimert.

Med BNP per sysselsatt lik 0,866 millioner kroner, antallet sysselsatte i stor-regionen lik 148776 og en produktivitetsøkning på 0,25 prosent blir verdien av agglomerasjonseffektene en årlig produktivets gevinst på 325,3 millioner kroner. Dette er en årlig gevinst som begynner fra åpningsåret for den nye forbindelsen.

Den årlige verdien diskonteres med kalkulasjonsrenten over hele perioden, der nåverdiberegningen tar hensyn til at åpning ikke skjer før i 2022. Samtidig tas det med i beregningene at det er en årlig realvekst i BNP. Når BNP øker, øker verdiskapningen per sysselsatt og dermed øker også effekten av en produktivitetsendring. For realveksten i BNP legges det til grunn er årlig rate på 1,3 prosent. Dette demper den effektive diskonteringen av den årlige gevinsten fra agglomerasjonseffektene. Med dette er nåverdien av agglomerasjonseffektene for Stord-Bergen 6 634 millioner kroner.

### **Nytte-kostnadsberegning av Stord-Bergen**

Nåverdien av investering-, drifts- og vedlikeholdskostnader for strekningen Stord-Bergen er 18 477 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen brukes en kalkulasjonsrente på 4 prosent i perioden 2014-2053 og på 3 prosent i perioden 2054-2061.

Nåverdien av tidsnyttene for trafikantene av investeringen er 14 558 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen er det tatt hensyn til årlig trafikkvekst og realprisjustering av tidsnyttene.

Nåverdien av sparte fergekostnader er 5 143 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen er det tatt hensyn til årlig trafikkvekst.

Nåverdien av agglomerasjonseffektene som følge av større populasjonstetthet etter åpning av forbindelsen er 6 634 millioner kroner. Ved nåverdiberegningen er det tatt hensyn til årlig BNP-vekst.

### **Konklusjon for Stord-Bergen**

Samferdselsprosjektet for strekningen er Stord-Bergen, der kryssing av Bjørnefjorden med ferge erstattes av broforbindelse, har en samlet netto nåverdi på 7 858 millioner kroner. Merk at kostnader og nytte knyttet til ny tunnel på strekningen Os-Bergen er utelatt i beregningene gjort i denne rapporten. Med de forutsetninger og modellvalg som er gjort i denne rapporten burde investeringene på strekningen Stord-Bergen gjennomføres.

## **Robusthetsanalyse av trafikkvekst**

Nytte-kost beregningene er følsomme for hvilke antakelser som legges til grunn vedrørende fremtidig trafikkvekst. Oppdragsgiver har utført noen alternative beregninger for fremtidig trafikk, som kan brukes som utgangspunkt i en alternativ beregning av fergefri E39. I dette avsnittet legger vi disse justerte trafikk tallene til grunn og gjør nye beregninger som en robusthetsanalyse av hovedanalysen ovenfor.

## **Trafikkgrunnlag**

### **Hovedanalysen**

Trafikkgrunnlaget er i denne rapporten er årlig daglig trafikk (ÅDT) på de aktuelle strekningene. Underlagsmaterialet for trafikkveksten er basert på basert på Madslien et al. (2011), med langsiktige årlige vekstrater på 1,17 prosent for Rogaland og 0,95 prosent for Hordaland. Det er gjort en justering for nyere befolkningsfremskrivninger, ved at det legges til grunn vekstrater på 2 prosent frem til 2024. I tillegg beregnes en engangsøkning i trafikken som følge av redusert reise tid på 38 prosent for begge strekningene. Dette gir en beregnet ÅDT for 2060 på 9770 for Rogfast, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig årlig trafikkvekstrate på omtrent 2 prosent over perioden. For Aksdal-Bergen er beregnet ÅDT 5067 for 2060 som tilsvarer en gjennomsnittlig årlig trafikkvekstrate på omtrent 1,5 prosent.

### **Alternativanalyse**

I alternativanalysene legger vi til grunn gjennomsnittlige årlige trafikkvekstrater basert på ÅDT i 2060 som oppgitt fra oppdragsgiver, beregninger som ble utført for SVV i 2013. Oppgitt ÅDT i 2060 er 19600 for Rogfast som tilsvarer en gjennomsnittlig årlig trafikkvekstrate på omtrent 3,5 prosent over perioden. For Aksdal-Bergen (Hordfast) er oppgitt ÅDT 18800 i 2060, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig årlig trafikkvekstrate på omtrent 4,2 prosent.

## Alternative nytte-kostnadsberegninger

### Rogfast

Nåverdien av tidsnyttene for trafikantene av investeringen er i alternativanalysen 23 035 millioner kroner. Dette er en økning på 4805 millioner kroner i forhold til hovedalternativet.

Nåverdien av sparte fergekostnader er 9297 millioner kroner i alternativanalysen. Dette er en økt besparelse på 3703 millioner kroner i forhold til hovedalternativet.

Nåverdien av investering-, drifts- og vedlikeholdskostnader på 16 352 millioner kroner samt nåverdien av agglomerasjonseffektene på 13 263 millioner kroner er uforandret mellom alternativene.

I alternativanalysen er samlet netto nåverdi av samferdselsprosjektet for Rogfast 29 243 millioner kroner. Dette er en økning i nåverdi på 8508 millioner kroner i forhold til hovedalternativet.

### Stord-Bergen

Nåverdien av tidsnyttene for trafikantene av investeringen er i alternativanalysen 19 084 millioner kroner. Dette er en økning på 4526 millioner kroner i forhold til hovedalternativet

Nåverdien av sparte fergekostnader er 8828 millioner kroner i alternativanalysen. Dette er en økt besparelse på 3685 millioner kroner i forhold til hovedalternativet.

Nåverdien av investering-, drifts- og vedlikeholdskostnader på 18 477 millioner kroner samt nåverdien av agglomerasjonseffektene på 6 634 millioner kroner er uforandret mellom alternativene.

I alternativanalysen er samlet netto nåverdi av samferdselsprosjektet for strekingen Stord-Bergen 16 069 millioner kroner. Dette er en økning i nåverdi på 8211 millioner kroner i forhold til hovedalternativet.

## Avsluttende kommentar

En vesentlig del av vår analyse vedrører agglomerasjonseffekter av bedret integrasjon mellom regioner. Det er en rik internasjonal litteratur som identifiserer disse effektene. Men effektene er sammensatte og det er betydelige utfordringer forbundet med å gi kvalifiserte anslag.

Gjennom en stilisert modellbetraktning, med vekt på å fange opp virkningene som redusert avstand har på interaksjonene i økonomien, antyder vi størrelsesorden på effektene. Vi vil imidlertid være varsomme med å trekke konklusjonene for langt. Som redegjort for benytter vi estimater på produktivitetseffekter hentet fra internasjonale kvalifiserte studier. En mer presis tallfesting basert på norske data vil fordre en vesentlig større innsats på den empiriske siden. Vi har derfor valgt å være konservativ i konklusjonene.

I analysen antar vi at agglomerasjonseffekten kommer umiddelbart, som en engangsjustering. Det kan innvendes at mekanismene som trer i kraft gjennom økt interaksjon mellom individer, genererer en økning i verdiskapingen som først materialiseres over tid. Tatt i betraktning at vi er forsiktige i tallfestingen, har denne antakelsen trolig ikke stor betydning.

I analysen har vi kun sett på effektene av å koble sammen Stavanger-Haugesund regionene og Stord-Bergen regionene. Vi har ikke tatt hensyn til at disse regionene også kan være forbundet med andre områder. Dersom dette er tilfellet vil de initiale aggregerte interaksjonene og populasjonstetthetene være større enn det som ligger til grunn for analysen. Dette vil i så tilfelle muligens nedjustere de beregnede endringene i populasjonstettheter og med det dempe agglomerasjonseffektene noe.

En vurdering av agglomerasjonseffektene har potensielt stor betydning, ikke bare for vurderingene av lønnsomheten av veiinvesteringer generelt, men også for *rangeringen* av ulike prosjekter. Prosjekter som bedrer integrasjonen mellom befolkningsskonsentrasjoner vil, alt annet likt, gi en positiv integrasjonseffekt som ikke fanges opp i tradisjonelle nytte-kostnadsanalyser.

Agglomerasjonseffekter gir produktivitetsøkning som bidrar til økt verdiskaping i et område. Selv små produktivitetseffekter kan her gi store aggregerte verdier. Vi anslår forsiktig agglomerasjonseffektene til å være av størrelsesorden 6,5 milliarder for Stord-Bergen og vel 13 milliarder for Stavanger-Haugesund. For å sette størrelsene av agglomerasjonseffektene i

perspektiv kan vi sammenligne dem med den årlige TFP-veksten i Norge. I følge Finansdepartementet (2013) var den gjennomsnittlige årlige TFP-veksten 1.6 prosent i perioden 1971-2011. Våre beregninger gir en engangs TFP-justering for Stavanger og Haugesundsregionen på 0,48 prosent, dvs en justering som korresponderer til den gjennomsnittlige produktivitetsveksten over 3,5 måneder. For Stord-Bergenregionen får vi en tilsvarende engangsjustering som er noe mer beskjeden, knappe 0,25 prosent, noe som tilsvarer om lag 2 måneders vekst.

## Litteratur

Behrens, K., G. Duranton, og F. Robert-Nicoud (2014). Productive Cities: Sorting, Selection, and Agglomeration, *Journal of Political Economy* June 2014, Vol. 122, 3: 507-553.

Bernard, A.B., Moxnes, A. og Saito, Y.U. (2014). Production Networks, Geography and Firm Performance, working paper.

Casino, G. og Kerr, W.R. (2014). Agglomeration and Innovation, *NBER Working Paper* nr. 20367.

Combes, P.P., Duranton, G., og Gobillon., L. (2008). Spatial wage disparities: Sorting matters! *Journal of Urban Economics* 63(2): 723–742.

Davis, D.R og Dingel, J.I (2012). A Spatial Knowledge Economy, *NBER Working Paper* nr. 18188.

Davis, D.R og Dingel, J.I (2014). The Comparative Advantage of Cities, *NBER Working Paper* nr. 20602.

Davis, M.A, Fisher, J.D., and Whited, T.M. (2014). Macroeconomic Implications of Agglomeration. *Econometrica* 82, 731-764.

Dovre Group og Transportøkonomisk institutt (2012). E 39 Aksdal-Bergen. Kvalitetssikring av beslutningsunderlag for konseptvalg (KS1).

Duranton, G. og Overman, H.G . (2005). Testing for Localization Using Micro-Geographic Data. *Review of Economic Studies* 72, 1077-1106.

Eeckhout, J., Pinheiro, R. og Schmidheiny, K (2014). "Spatial Sorting, *Journal of Political Economy* vol. 122(3): 554 - 620.

Finansdepartementet (2013): Perspektivmeldingen 2013. Stortingsmelding no. 12.

Finansdepartementet (2014). Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv. R-109/14.

Graham, D., Gibbons, S. og Martin, R. (2009). Transport Investments and the Distance Decay of Agglomeration Effects. Working paper.



Halse, A.H., S. Flügel og M. Killi (2010) Den norske verdsettingsstudien. Korte og lange reiser (tilleggsstudie) – verdsetting av tid, pålitelighet og komfort. TØI-rapport 1053H/2010.

Madslie, A., C. Steinsland og T. Maqsood (2011) Grunnprognoser for persontransport. TØI-rapport 1122/2011.

Minken, H. (2013). Samfunnsøkonomisk lønnsomhet av ferjeavløsningsprosjektene på E39 mellom Stavanger og Trondheim. TØI-rapport 1272/2013.

NOU 2012:16 Samfunnsøkonomiske analyser. Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 18. februar 2011. Avgitt til Finansdepartementet 3. oktober 2012.

Rosenthal, S. S. and W. C. Strange (2004): "Evidence on the nature and sources of agglomeration economies", in Henderson, J. V. and J.-F. Thisse (eds.), *Handbook of Urban and Regional Economics, Volume 4, Cities and Geography*, North Holland.

Sasson A., M.K. Nordkvelde og T. Reve, (2014). Ferjefri E39-næringsøkonomiske gevinster ved fjordkryssing

Statens vegvesen (2008). Dokumentasjon av beregningsmoduler i EFFEKT 6. Rapportnr. 2008/02, Utbyggingsavdelingen.

Statens vegvesen (2010). E39 Rogfast. Konsekvensutredning-revidert.

Statens vegvesen (2011). Konseptvalgutgreiing E39. Aksdal-Bergen.

Statens vegvesen (2012). Ferjefri E39. Hovedrapport.

Statens vegvesen (2013). Ferjestatistikk 2012. Håndbok 159.

Venables, A.J. (2007). Evaluating Urban Transport Improvements: Cost-Benefit Analysis in the Presence of Agglomeration and Income Taxation, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 41, 173-188.

## Appendix

Vi presenterer her detaljene i agglomerasjonsmodellen.

Distanse diskonteres med en faktor  $\gamma$ , dvs intensiteten i en kontakt mellom individ  $i$  og  $j$  er

$$e^{-\gamma\delta_{ij}},$$

der  $\delta_{ij}$  er avstanden mellom dem og  $\gamma$  er en gitt positiv parameter. Vi ser på to befolkninger av størrelse  $M_1$  og  $M_2$ . Befolkning 1 er antatt uniformt fordelt over et intervall av lengde  $a$ , der  $a$  er reiseavstanden i timer fra de ene enden av regionen til den andre. Tilsvarende er  $M_2$  uniformt fordelt over et intervall av lengde  $b$ . Sentrum antas som en forenkling å ligge på midtpunktene av de respektive intervallene. Reiseavstanden i timer mellom de to sentra er angitt ved  $\delta$ .

Betrakt et individ  $i$  som bor i region 1. Antallet effektive interaksjoner mellom dette individet og andre individer, i samme region og utenfor, er representert ved følgende integral<sup>1</sup>

$$D_1(y_i) = \int_0^a e^{-\gamma|y_i-x|} \frac{M_1}{a} dx + \int_{\frac{a-b}{2}+\delta}^{\frac{a+b}{2}+\delta} e^{-\gamma|y_i-x|} \frac{M_2}{b} dx.$$

Det første integralet på høyre side tolkes slik: Et individ lokalisert i punkt  $y_i$  har interaksjon  $e^{-\gamma|y_i-x|}$  med et individ lokalisert i punktet  $x$ , der  $|y_i - x|$  er avstanden mellom  $y_i$  og  $x$ . Siden befolkningene er antatt uniformt fordelt, er det en tetthet  $M_1/a$  av individer i ethvert punkt i område 1. Integralet fra 0 til  $a$  gir oss antallet interaksjoner et individ lokalisert i  $y_i$  har med befolkningen i området 1. Tilsvarende har det andre integralet tolkning som de samlede interaksjonene et individ lokalisert i  $y_i$  i region 1 har med individer bosatt i region 2. Utfører vi integrasjonen får vi følgende uttrykk

$$D_1(y_i) = \frac{1}{\gamma} \left[ \frac{M_1}{a} (2 - e^{-\gamma y_i} (1 + e^{-\gamma a})) - \frac{M_2}{b} \left( e^{-\gamma(\frac{a+b}{2}+\delta)} + e^{-\gamma(\frac{a-b}{2}+\delta)} \right) e^{\gamma y_i} \right],$$

med et tilsvarende uttrykk,  $D_2(y_i)$ , for individer bosatt i området 2:

$$D_2(y_i) = \frac{1}{\gamma} \left[ \frac{M_2}{b} (2 - e^{-\gamma y_i} (1 + e^{-\gamma b})) - \frac{M_1}{a} \left( e^{-\gamma(\frac{a+b}{2}+\delta)} + e^{-\gamma(\frac{b-a}{2}+\delta)} \right) e^{\gamma y_i} \right].$$

---

<sup>1</sup>Uten betydning for beregningene antar vi at region 1 ligger vest for region 2, og at det vestre endepunktet i region 1 settes til null.

Vi finner det aggregerte antallet interaksjoner,  $N$ , ved å integrere over alle individer i de to områdene, dvs beregne uttrykket

$$N = \int_0^a D_1(y_i) \frac{M_1}{a} dy_i + \int_{\frac{a-b}{2}+\delta}^{\frac{a+b}{2}+\delta} D_2(y_i) \frac{M_2}{b} dy_i,$$

der igjen,  $M_1/a$  er tettheten av individer i ethvert punkt i område 1, og  $D_1(y_i)$  er det aggregerte antallet interaksjoner en person med lokalisering  $y_i$  har, med analoge uttrykk for område 2.

Utfører vi integrasjonen får vi følgende uttrykk for antallet aggregerte interaksjoner:

$$\begin{aligned} N &= \frac{2M_1^2}{\gamma a^2} \left[ a - \frac{(1 - e^{-\gamma a})}{\gamma} \right] + \frac{2M_2^2}{\gamma b^2} \left[ b - \frac{(1 - e^{-\gamma b})}{\gamma} \right] \\ &\quad + 2 \frac{M_2 M_1}{\gamma^2 ab} e^{-\gamma \frac{a+b}{2}} (e^{\gamma b} - 1) (e^{\gamma a} - 1) e^{-\gamma \delta}. \end{aligned}$$

Som en illustrasjon, hvis regionene som sådan ikke har utstrekning (dvs at alle individer bor i de respektive sentra), blir målet på antallet aggregerte interaksjoner som følger:

$$N = M_1^2 + M_2^2 + 2M_2 M_1 e^{-\gamma \delta}.$$

## **Center for Research in Economics and Management (CREAM)**

Handelshøyskolen BI / BI Norwegian Business School

0442 Oslo, Norway

The objective of CREAM is to provide research and analysis in the area of industrial economics and labor economics with applications to management, and provide research-based analysis for decision makers in public and private sector.