

IDEKATALOG

KOLLEKTIVE MOBILITETS LØSNINGER
FOR EN FAST KATTEGATFORBINDELSE

Idekatalog - Kollektive mobilitetsløsninger for en fast Kattegatforbindelse

Udgivet i 2018 af Rambøll

Udarbejdet på vegne af Transport-, Bygnings- og Boligministeriet

Design og layout:

Daniel Lund Sørensen og Sabine Skovfoged Østergaard

Rambøll Danmark
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S
T: +45 5161 1000
F: +45 5161 1001

November 2018

INDHOLD

INDLEDNING	4
FORMÅL	5
SAMTRANSPORT OG SERVICEFORPLIGTELSE	6
BETRAGTET SCENARIUM ÅR 2035 - OG TIDEN DEREFTER	8
TRAFIKALE KONCEPTER	10
LØSNINGERNES ELEMENTER OG EGENSKABER	12
SUPERBUSSE	14
PRIORITERET VEJBANE	16
AUTONOMOUS RAIL RAPID TRANSIT (ART)	18
SHUTTLEFORBINDELSE MED ART SERVICE	20
PEOPLE MOVER VIA MONORAIL	22
DYNAMISKE BUSBANER	24
RULLENDE TERMINAL	26

INDLEDNING

Etableringen af en fast forbindelse over Kattegat vil grundlæggende ændre mobiliteten i Danmark i et meget langt tidsperspektiv. Derfor er det vigtigt at afsøge et bredt spektrum af mulige løsninger for kollektivt baseret mobilitet til understøttelse af centrale beslutninger.

Dette idekatalog har til formål at give eksempler på, hvordan sådanne løsninger kan etableres på en forbindelse udformet som vejanlæg. Hensigten er dermed at inspirere til mulig anvendelse af alternativer til en jernbaneforbindelse, som kan sikre mobilitet af høj kvalitet, og som vil forudsætte et betydeligt reduceret investeringsbehov.

En ren vejforbindelse betyder således ikke, at kollektive trafikale løsninger må udelades. Tværtimod kan der anvendes mange mobilitetsformer, hver især med egenskaber der giver interessante bud på forskellige kollektive løsninger.

Løsningerne er samlet i dette idekatalog, der gennemgår syv konkrete koncepter. Tilsammen giver de et billede af spændvidden af de kollektive transportformer, som enten allerede eksisterer, eller som kan forventes, som en naturlig videreførelse af nuværende teknologiske trends og sandsynlige udsigter for fremtiden.

Inden de syv løsninger præsenteres, beskrives hvordan forståelsen af begrebet *kollektivt* skal fortolkes i en mobilitetssammenhæng. Det kollektive står som naturligt modstykke til *det individuelle*, hvilket indimellem giver anledning til dobbelttydighed, når begrebet vurderes i sammenhæng med henholdsvis offentlig og privat. I afsnittet beskrives derfor, hvordan disse begreber anvendes i eksemplerne.

Dernæst beskrives et tænkeligt scenarium, som de syv mobilitetsløsninger skal forstås ud fra. Der vil være stor usikkerhed knyttet til de kollektive mobilitetsløsninger, der skal anvendes fra om 20 år og videre fremtidigt, så de samtidig fremstår relevante i den faste forbindelses levetid. Scenariebeskrivelsen forsøger at indfange den situation, så løsningerne i idekataloget kan forstås i det tidsperspektiv.

Endeligt angives der en klassificering, der anvendes til en kvalitativ vurdering af hver af idekatalogets syv løsninger. Ikke i et forsøg på at udpege en foretrukken løsning eller foretage sammenlignende analyser, men for at sammenfatte de enkelte løsningers egenskaber i oversigtsform.

FORMÅL

Formålet med idekataloget er at inspirere til typer af kollektive trafikløsninger, der kan anvendes ved en fast forbindelse over Kattegat. Baggrunden er et ønske om at få fastlagt og udbredt forståelsen for attraktive mobilitetsløsninger som alternativer til en traditionel jernbaneforbindelse.

Idéen er at give et repræsentativt overblik over udstrækningen samt fleksibiliteten af kollektive løsninger både nu og i fremtiden. Overblikket løfter perspektivet over den traditionelt fremførte og formentlig ofte historisk begrundede forforståelse; *Ingen jernbane, ingen højkvalitativ kollektiv trafikløsning.*

De første trafikale løsninger skal finde anvendelse næsten 20 år ud i fremtiden, omkring år 2035, hvor en fast forbindelse vil kunne stå klar. Forbindelsen vil opføres med en estimeret levetid på ca. 100 år. Alle perspektiver omkring mobilitet over Kattegat, herunder de kollektive, bør derfor ikke blot måles i forhold til en nutidig målestok, men også i langsigtet perspektiv.

I disse år går udviklingen usædvanlig hurtigt: Udbredelse af automatiserede teknologier, ændrede forretningsmodeller og nye principper for samtransport kan allerede konstateres i dag. Hvad bør da indtænkes, hvis forberedelsen af

en fast forbindelse mindst skal hvile på et 20- eller 50-årigt perspektiv? Med hvilken sikkerhed kan det konkluderes, at en fast jernbaneforbindelse til den tid, vil være den absolut foretrukne kollektive løsning?

Idekatalogets mål er at give et grundlag for en åben drøftelse af de spørgsmål relateret til en mulig fast Kattegatforbindelse.

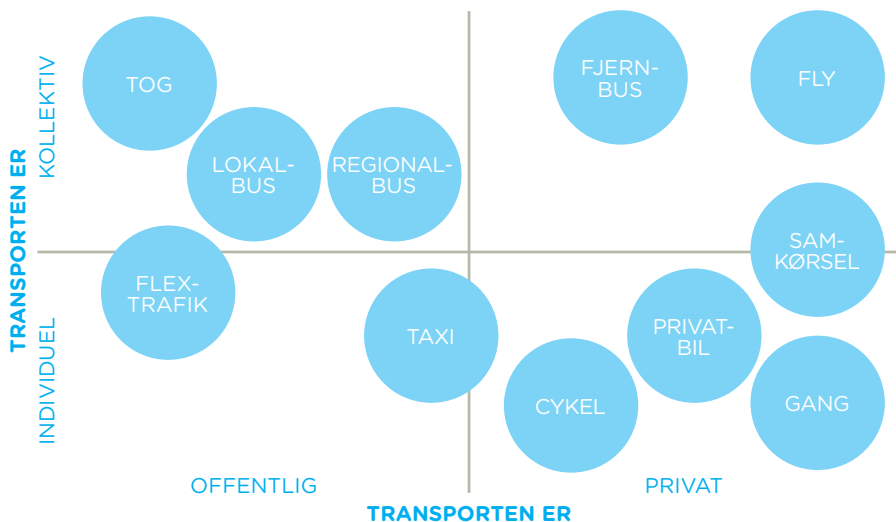
SAMTRANSPORT OG SERVICEFORPLIGTELSE

Nuværende forståelse af begrebet *kollektiv transport* er ofte forbundet med betydningen *offentlig transport*. Den igangværende og fremtidige udvikling indenfor mobilitet giver imidlertid grund til at udvide opfattelsen, så det får en bredere betydning, der samtidig vil være mere dækkende for forståelsen af idekatalogets illustrerede løsninger. *Samtransport og Serviceforpligtelse* forventes således at blive de centrale parametre, når kollektive mobilitetsløsninger i forbindelse med en fast Kattegatforbindelse skal vurderes.

Med fremkomsten af nye deleøkonomiske mobilitetsløsninger er der kommet et mere varieret udvalg af muligheder for at

transportere sig. De forskellige transporttilbud kan kombineres mere fleksibelt og vil blive udbudt af forskellige aktører, der hver især tilbyder hele eller dele af en rejse, der passer til geografi, befolkningsgrundlag, efterspørgselsmønstre mv. Dermed vil kollektiv transport ikke længere være synonym med offentlig transport, men bør i stedet opfattes i betydningen *samtransport*, når forskellige mobilitetsegenskaber skal vurderes.

En relevant opdeling bør derfor dreje sig om to overordnede parametre. Den ene omhandler den part, der regulerer og kontrollerer udbuddet af den givne transportform. Her skelnes mellem hhv. offentlig og privat. Den anden parameter



omhandler den operative afvikling af transportformen, der kan være hhv. kollektiv eller individuel.

Dette afspejles i den igangværende udvikling, hvor de offentlige transportaktører også favner privatstyrede mobilitetsløsninger, der bidrager til at udvide og styrke den samlede kollektive transport. Udviklingen illustreres allerede i praksis, f.eks. i Rejseplanen, hvor mobilitetsformer som samkørsel, taxi og indenrigsfly indgår i stadig mere veludviklede oversigter, når rejser skal planlægges.

For at realisere potentialet i de nye mobilitetsformer, både nu og fremover, er det vigtigt at binde de mange muligheder sammen til sammenhængende ydelser og produkter, som kan matche den bekvemmelighed, man i dag opnår gennem at kunne disponere over sin egen bil. Derfor planlægges også at skabe rammerne for, at der kan opstå en eller flere såkaldte *Mobility as a Service* løsninger (benævnt 'MaaS'), der er en videreudvikling af det udbud, som Rejseplanen allerede nu giver eksempler på.

Det vigtige er derfor at tale om samtransport, uanset hvem der måtte udbyde mobilitetsløsningen, og hvem der måtte udføre den. Tilsvarende vil de forskellige løsninger kunne bindes sammen stadig mere fleksibelt, hvad der også er tilfældet med de mobilitetsformer, der præsenteres i idekataloget.

Rollen som udbyder – offentlig, privat eller en kombination – skal imidlertid samtidig vurderes i forhold til den grad af *serviceforpligtelse*, der kan knyttes til den givne transportform. Serviceforpligtelsen omhandler en grad af (offentlig) regulatorisk bestemmelse for, at en transportform

Ved 'Mobility as a Service' (MaaS) forstås i udgangspunktet en ordning, hvor transport købes på abonnement, som det kendes fra f.eks. mobiltelefoni. Andre mobilitetservices kan ses som varianter af MaaS.

I sin rendeform er MaaS et abonnement, hvori kollektiv transport er et kerne-element, der suppleres af alternativer som delbiler, samkørsel, taxa og bycykler.

Med udgangspunkt i, at der er og vil være tale om forskellige udviklings- og ambitionsniveauer for MaaS, kan der skelnes mellem fire trin

- Sammenhængende rejser med flere transportformer
- Multimodal rejseplanlægger
- Turbaseret MaaS
- Abonnement MaaS

Kilde: 'Mobilitet for Fremtiden', afsnit 5.4. Se også udspillet 'Nemmere kollektiv trafik' om planerne for at muliggøre MaaS.

udbydes inden for nogle minimumsrammer til alle, uden direkte sammenhæng til det tilhørende driftsøkonomiske grundlag. Den offentligt regulerede transport løfter derfor serviceforpligtelse til det niveau, der måtte prioriteres politisk.

Ikke alle former for samtransport er imidlertid lige egnede i forhold til krav til serviceforpligtelse. Derfor går samtransport og mulig serviceforpligtelse hånd i hånd som de to centrale begreber i nærværende idekatalogs illustration af kollektive mobilitetsløsninger.

BETRAGTET SCENARIUM ÅR 2035 - OG TIDEN DEREFTER

Da idekatalogets løsninger udspiller sig i fremtiden, bør vurderinger af løsninger foretages i sammenhæng med sandsynlige rettesnore for den forventede udvikling. Rettesnorene angives i følgende betragtede scenarium som rammesætter.

Den trafikale infrastruktur etableres med levetider på mellem 40 år (f.eks. veje) og 100 år (f.eks. broer) og er således strukturbærende i meget lang tid efter deres etablering. En trafikal omstilling vil derfor foregå over lang tid, idet afhængigheden af at kunne tilbyde den mobilitet, der skal sikre landets sammenhængskraft og forsyning til mennesker og virksomheder, vil have en betydelig inert. Derfor vil meget i år 2035 også være som i dag.

Parallelt hermed foregår imidlertid samtidig en hastig udvikling, der allerede på flere områder er i gang i dag. Nogle forandringer kan derfor forudsiges med stor sikkerhed. Andre vil være mere usikre, især når det kommer til præcis udformning og implementeringstilgang, jf. illustration. De trends, der med rimelig forudsigelighed udspænder rammen for idekatalogets kollektive mobilitetsløsninger, er:

Elektrificering: I år 2035 vil en stor del af bilflåden være udskiftet med elbiler, og

elbusser vil være fremherskende – både i og imellem byerne. Ikke kun af hensyn til klima og miljø, men simpelthen fordi det vil være billigere.

Automatisering: Selvstyrende køretøjer vil i de kommende år blive teknologisk muligt, særligt i afgrænsede miljøer. Det er således overvejende sandsynligt at køretøjer selv vil kunne styre eller følge styrespor henover Kattegatforbindelsen. Og det er forventeligt, at de selv vil kunne køre helt til slutdestinationen inden 2050.

Digitalisering (MaaS mm.): Den tidligere beskrevne opdeling mellem transportformerne vil med stor sikkerhed ophæves gennem digitale løsninger og nye deleøkonomiske forretningsmodeller. Dette betyder, at i år 2035 vil det være almindeligt at tænke på mobilitet som en serviceydelse bestående af en palette af transportmuligheder, som man gnidningsfrit kan benytte sig af. Både set i forhold til den enkelte rejse, og i forhold til transportbehov f.eks. henover en måned. Man må også forvente, at de nuværende digitale assistenter (som f.eks. Siri) har udviklet sig til både at kunne hjælpe proaktivt med at finde og købe den rigtige rejseform, givet ens aktuelle behov og generelle præferencer, og med at guide en undervejs på turen.

Helt på samme måde som nuværende bil-navigationsystemer hjælper bilisten, også når der sker uforudsete hændelser.

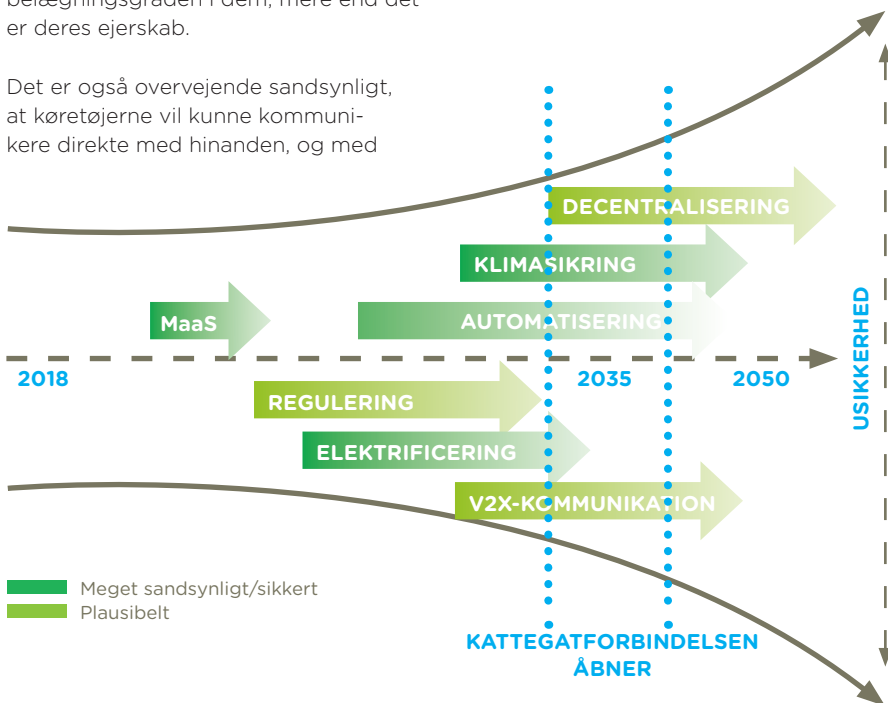
Klimasikring: Vejret vil være blevet mere ekstremt, hvilket alle trafikale forbindelser er designet/ombygget til at kunne håndtere.

Selvstyrende køretøjer forventes alt andet lige at øge transportefterspørgslen og dermed biltrafikken. Og, afhængigt af om bilerne bliver individuelle eller flådestyrede, kan antallet af biler også øges. Dette vil dog afhænge af, hvilken **regulering** (f.eks. i form af kørselsafgifter) de pålægges. For Kattegatforbindelsen er det vigtigste dog antallet af biler og belægningsgraden i dem, mere end det er deres ejerskab.

Det er også overvejende sandsynligt, at køretøjerne vil kunne kommunikere direkte med hinanden, og med

infrastrukturen (samlet set kaldet **V2X-kommunikation**). Dette kan muliggøre, at køretøjerne kan køre tættere og i realiteten danne tog, der er koblet virtuelt sammen. Særligt for så vidt angår køretøjer, som indgår i en fælles flåde.

Befolkningsvæksten i København og især i det østjyske bybånd forventes at stige i 2035, hvilket har skabt to stærke demografiske og økonomiske vækstcentre. Herunder som følge af beslutningen om at etablere en Kattegatforbindelse. Selvom den nuværende demografiske prognose peger på fortsat urbanisering, er det dog muligt at denne trend er vendt i 2035 og erstattet af samfundsmæssig **decentralisering**.



Meget sandsynlige og plausible udviklingsstadier frem mod 2035.

TRAFIKALE KONCEPTER

Kendt og fremtidig teknologi

De foreslåede mobilitetsløsninger er udvalgt for at illustrere, hvordan man kan arbejde med forskellige tiltag i forhold til køretøjsteknologi, infrastruktur og styring. Tiltagene dækker tilsammen et spænd af løsninger fra allerede anvendte i Danmark eller i udlandet til løsninger, der forudsætter teknologisk eller regulativ udvikling og innovation. De forskellige løsninger vil i flere tilfælde kunne kombineres inden for samme rejse. Tilsvarende kan de anvendes som samtidige alternativer.

Trafikale koncepter

Løsningerne, der beskrives, kan grupperes i fire overordnede servicekoncepter:

1. *Direkte forbindelse København-Aarhus.* Der køres som hovedforbindelse uden omstigning med ingen eller få stop, hvorfra der kan etableres direkte forbindelser til andre destinationer.
2. *Shuttleforbindelse.* Forbindelsen anvender broen og sammenbinder eksisterende knudepunkter gennem skift til tog eller letbane.
3. *Dør-til-dør forbindelse.* Med skift fra tog i Kalundborg til individuel offentligt ejet bil, hvor rejsende kan køre direkte til deres destination.
4. *Dynamisk omstigning.* Omstigning under kørsel over broen, hvormed et mere fintmasket net af begyndelses- og slutdestinationer tilgodeses uden traditionel og forsinkende omskiftning.

De forskellige servicekoncepter er illustreret til højre. I det omfang, at løsningerne kræver anlæggelse af ekstra infrastruktur til omstigning, som ikke kan forventes udviklet i 2035 af andre grunde, da er omkostningerne hertil inkluderet i den samlede scoring af omkostningsniveauet.

Udbygning af eksisterende infrastruktur

Der vil ske en løbende udbygning af den fysiske del af den trafikale infrastruktur frem mod 2035, hvoraf flere initiativer er uafhængige af beslutningen om en fast forbindelse over Kattegat. I vurderingen af de forskellige koncepter forventes det, at de allerede planlagte motorvejsprojekter, Kalundborgmotorvejen, udbygning af E45 i Aarhus Syd og tilslutning af Kattegatbroen til E45 er gennemførte. Alle de foreslåede operative løsninger kan fungere uden disse projekter, men med en reduktion af rejsehastigheden til følge. Det er dog forudsat her, at disse projekter er etableret i deres fulde omfang med en hastighed på 130 km/t.

Trængsel

De enkelte løsninger vurderes i forhold til transport i personbil. Det betyder, at trængsel ikke indgår i vurderingen af kvaliteten for de løsninger, der anvender vejbanen på samme måde som bilen. Hvor løsningen medfører helt eller delvis afskærmning fra trængsel vil de deraf positive afledte effekter omtales særskilt.

De syv løsninger

De syv løsninger fremgår herunder, i det der samtidig refereres til det eller de servicekoncepter, som løsningen understøtter.

- Superbusser
- Prioriteret vejbane
- Autonomous rail rapid transit (ART)
- Shuttleforbindelse med ART service
- People mover via monorail
- Dynamiske busbaner
- Rullende terminal

DIREKTE FORBINDELSE



Trafikale løsninger, der understøtter koncept:

- Prioriteret vejbane
- Dynamiske busbaner

DØR-TIL-DØR FORBINDELSE

Omstigning i Kalundborg og i Aarhus



Trafikale løsninger, der understøtter koncept:

- Prioriteret vejbane
- Rullende terminal
- Shuttle med e-bil service

DYNAMISK OMSKIFTNING

Omstigning undervejs over broen

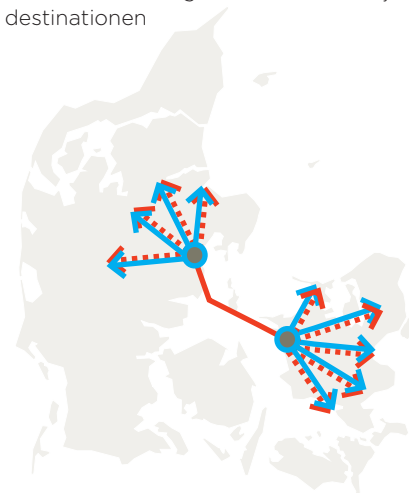


Trafikale løsninger, der understøtter koncept:

- Rullende terminal

SHUTTLEFORBINDELSE

Omstigning i Kalundborg og Aarhus.
Ved lav belastning fortsætter køretøjet til destinationen



Trafikale løsninger, der understøtter koncept:

- Prioriteret vejbane
- Shuttle med ART service
- People mover via monorail
- Dynamiske busbaner

De forskellige trafikale koncepter. Rød linje angiver det køretøj, der kører over Kattegatforbindelsen, mens blå linjer er tilbringere (bus, bil eller cykel)

LØSNINGERNES ELEMENTER OG EGENSKABER

UDVIKLINGSPARAMETRE

Grundet den betragtede tidshorizont er flere af de undersøgte kollektive mobilitetsløsninger baseret på udviklingselementer, der får dem til at fremstå som nye i forhold til de i dag kendte tilbud. Enten fordi de ikke har været anvendt i Danmark eller fordi de endnu ikke er færdigudviklede, men forventes at være det inden år 2035.

De forskellige udviklingselementer er opdelt i tre samlende parametre, der kan indgå enkeltvis eller i kombination i den enkelte løsning:



- **Køretøj:** Her kræver løsningen anvendelse af en ny type af køretøj. Eksempel: Særligt lange busser.



- **Infrastruktur:** Her ændres eller tilføjes elementer til det fysiske miljø, relativt til en ren bilbro. Eksempel: Sensorer på broen eller terminaler til skift.



- **Styring:** Her tilføjes en regulatorisk eller teknologisk styring. Eksempel: Reserverede baner eller dynamisk prissætning.

Grafikken illustrerer med blå markering, hvilke af disse udviklingsparametre løsningen bygger på.

VURDERINGSPARAMETRE

En overordnet vurdering af de forskellige løsninger sammenfattes i en række parametre, der karakteriserer den samlede løsnings egenskaber i overblikksform. De forskellige vurderingsparametre er opdelt, så der dels sammenholdes med en tilsvarende rejse i bil, dels vurderes på en kvalitativ skala.

Grafikken illustrerer vurderingen med en grøn markering og en kort redegørelse for de enkelte vurderingsparametre.

De syv løsningsmuligheder, som er beskrevet på de næste sider, er alle udvalgt under den forudsætning, at deres forøgelse af hele Kattegatforbindelsens anlægsomkostning er marginal, samt at køretøjer og driftsomkostninger er brugerfinansierede.

Et af forslagene, "People mover", vil dog uden for selve broen kræve en ekstra infrastruktur, der vil betyde en prisforøgelse på 5-10 % afhængig af linjeføring og stop i Aarhus.



BRUGERAFGIFT

Hvordan er prisen relativt til personbil?

Denne parameter afspejler løsningens pris for den enkelte bruger, relativt til brugerens omkostning, hvis vedkommende benyttede personbil. Prisen dækker dør-til-dør omkostningen, for at opnå sammenlignelighed.



KAPACITETSUDNYTTELSE

Hvordan er kapacitetsudnyttelsen relativt til ren bilforbindelse?

Løsningen vil pga. samtransport typisk flytte flere passagerer pr. køretøj end en personbil, men vil beslaglægge plads, som kunne være anvendt til personbiltransport. Parameteren angiver derfor forbindelsens samlede kapacitetsudnyttelse, relativt til udnyttelsen ved ren personbiltransport.



TEKNOLOGISK MODENHED

I hvor høj grad forventes løsningen at være teknologisk moden og betryggende for bred anvendelse?

Det er relevant at vurdere dels hvor teknologisk realiserbar løsningen er, dels hvor sikker løsningen faktisk vil blive opfattet af potentielle brugere, uanset løsningens faktisk sikkerhedsniveau.



KVALITET

I hvor høj grad er dette en løsning af god kvalitet, ud fra en samlet vurdering af pålidelighed, dør-til-dør rejsetid og andre komfortmæssige elementer?

Mange elementer spiller ind på opfattelsen af løsningens kvalitet, både kvantitative og kvalitative. Erfaringsmæssigt (ref. til Passengerpulsen) er det vigtigste dog pålideligheden. Herefter kommer rejsetid og andre elementer (f.eks. muligheden for at anvende tiden undervejs til arbejde, hvile, spising mv). Da vi ser på dør-til-dør rejsen, er en vigtig faktor ift. regulariteten også antallet af skift.



OMKOSTNINGER

I hvor høj grad forventes løsningen at kunne realiseres med beskedne ekstraomkostninger?

Løsningen kan have ekstraomkostninger sammenholdt med en ren bilforbindelse. Her gives en kvalitativ vurdering af om den ekstra investering og/eller driftsomkostning står mål med udbyttet.



SERVICEFORPLIGTELSE

I hvor høj grad muliggør løsningen overholdelse af eventuel serviceforpligtelse?

Løsningen kan i varierende grad bidrage til det offentlige mål om at stille et garanteret minimumstilbud til rådighed for borgerne.



MEGET BEDRE END BIL



BEDRE END BIL



PÅ NIVEAU MED BIL



VÆRRE END BIL



MEGET VÆRRE END BIL



I MEGET HØJ GRAD



I HØJ GRAD



I NOGEN GRAD



I BESKEDEN GRAD



SLET IKKE



SUPERBUSSE

Der er mulighed for med enkle greb at skabe et kraftigt løft af fjernbustilbuddet over Kattegat. Kattegatforbindelsen giver mulighed for en markant nedsættelse af rejsetiden. Og udviklingen på busmarkedet og nye drivmidler giver mulighed for en langt større rejsekomfort, der ligger tættere på en togrejse.

På det internationale marked findes allerede i dag 24 meter lange busser, som indtil videre kun anvendes i bytrafik. Denne bustype vil let kunne modificeres til fjerntrafik. Større busser giver mulighed for bedre driftsøkonomi og for en mere fleksibel indretning af busserne med f.eks. toiletter samt møde- og hvilerum. Cykler og kørestole vil samtidig kunne medtages meget enklere end i dag.

Busserne kan i princippet drives af alle drivmidler fra gas til brint. Især el- og brintbusser vil være attraktive, da der er meget færre rystelser i bussen og dermed større komfort under kørslen.

Det skønnes, at rejsetiden fra København til Aarhus vil kunne nedsættes til 2-2½ time for direkte afgang sammenholdt med den nuværende nuværende rejsetid med lyntog via Storebælt på knap 3 timer.

Desuden vil busserne ikke som i dag være afhængige af færgetider og vil kunne køre fra København og Aarhus eller andre hovedbyer med større frekvens, f.eks. hver halve time eller hvert kvarter.

Disse løsninger vil kunne implementeres fra broens åbning uden anlæg af særlig infrastruktur, ITS-løsninger eller andet.

KØRETØJ

- Busser op til 24 m og/eller dobbeltdækkere
- Hastighed: 100 km/t
- Passagertal: 100
- Særlige rum til møder, toiletter osv
- Drivmiddel: El, brint eller gas
- Levetid: 20-25 år

INFRASTRUKTUR

- Ingen særlige krav
- Stoppesteder i byer på Sjælland, i Jylland og på Samsø

STYRING

- Ingen særlige krav

EKSEMPLER OG REFERENCER

- Malmöexpressen, Sverige (bruges i bytrafik)



Illustration af en ca. 24 meter lang superbus på Kattegatforbindelsen i retning mod Aarhus.

Det vil dog være nødvendigt at etablere eller opgradere terminalforholdene i København, Aarhus og de andre byer der måtte tilbyde Superbusserne.



BRUGERAFGIFT

Prisen vil være som for en bustur i dag eller lavere.



KAPACITETSUDNYTTELSE

En bus kan flytte langt flere passagerer pr. m² vejareal end personbiler.



TEKNOLOGISK MODENHED

Busserne findes allerede på markedet til bytrafik.



KVALITET

Kvaliteten vil være som en busrejse i dag, dog med bedre komfort. Der vil være skift i begge ender af rejsen, og bussen vil kunne blive forsinket i tæt trafik.



OMKOSTNINGER

Der er ingen udgifter til særlig infrastruktur, ITS eller andet.



SERVICEFORPLIGTELSE

Serviceforpligtelsen kan sikres gennem tildeling af koncessioner til operatørerne.



PRIORITERET VEJBANE

Denne løsning består i at reservere venstre bane til biler med mindst to personer (samkørsel), busser med passagerer, samt køretøjer som udover normal brotakst har tilkøbt adgang til denne bane.

Denne tilgang anvendes især i USA til optimering af vejkapaciteten og for at fremme samkørsel. Da løsningen bygger på koncepter allerede i brug, og da broen vil skulle bygges med udstyr til betaling og kontrol, vil løsningen kunne etableres for en relativt beskedne meromkostning.

Vejbaner reserveret til samkørsel er velkendte i USA. I de senere år er disse dog ofte kombineret med betalingsadgang, dels for bedre at kunne håndtere trængsel, dels som et politisk kompromis i forhold til rene betalingsveje.

For dels at fremme samkørsel og bustransport og dels forberede broen til håndtering af trængsel, kan det give mening at bruge dette koncept. Det vil sige reservere den ene bane til samkørsel og busser, samt derudover at gøre det muligt for resterende køretøjer at køre i

banen mod ekstra betaling. Incitamentet til dette vil være, at man i denne bane ikke skal følge lastbiltrafikkens hastighed. Dette gør også, at man vil skulle holde en højere minimumshastighed i venstre bane.

Da broen allerede vil have brugerbetaling er det forholdsvist enkelt at implementere denne løsning. Af sikkerhedsgrunde vil der ikke skulle etableres hårde barrierer mellem banerne. Dette gør, at der skal laves ekstra kontrol og

KØRETØJ

- Ingen særlige krav

INFRASTRUKTUR

- Vejen normalt opbygget
- Skiltning af banerne

STYRING

- Ved skiltning og V2X-teknologi prioriteres den ene bane til biler med mindst to personer, busser og bilister der har betalt ekstra.
- Misbrug kontrolleres f.eks. med infrarøde kameraer

EKSEMPLER OG REFERENCER

- HOV (high occupancy vehicle) baner kendes bl.a. fra USA



Eksempel på, hvordan man med digitale tavler vil kunne reservere en kørebane til busser, taxakørsel, privat samkørsel og betalende bilister.

potentielt en separat betalingsbane, om end til en forventeligt lav omkostning.

Den relative pris for at køre alene i højre eller venstre bane vil variere henover døgnet/ugen, og kan løbende

justeres efterhånden som den almene trafikvækst øger trængslen. Dette kan eventuelt kombineres med helt at friholde samkørende og/eller busser for betaling af broafgift.



BRUGERAFGIFT: *Prisen vil være som for en bus- eller biltur i dag eller lavere afhængig af køretøj*



KAPACITETSUDNYTTELSE: *Gevinsten er afhængig af, hvilket køretøj der benyttes*



TEKNOLOGISK MODENHED: *Løsning med faste skilte og tilhørende kontrolsystemer findes allerede i drift*



KVALITET: *Kvaliteten er afhængig af, hvilket køretøj der benyttes. Ved personbiler med flere passagerer kan der således opnås dør-til-dør rejse*



OMKOSTNINGER: *Etablering af skilte og kontrolsystem*



SERVICEFORPLIGTELSE: *Løsningen giver i sig selv ikke nogen garanti for, at der er et minimumstilbud til brugere uden bil*



AUTONOMOUS RAIL RAPID TRANSIT (ART)

ART er en videreudvikling af Bus Rapid Transit konceptet, hvor der er tilføjet sensorer, således at enhederne kan køre enten helt automatisk eller som støtte til en chauffør. Linjer på kørebanen og autoværnet suppleret med GPS-styring virker som digitale skinner og holder ART'en på kørebanen. ART er 100 % elektrisk, kan tage op til 120 siddende passagerer, og teknologien sikrer at pladsbehovet på kørebanen reduceres til et minimum.

Med brug af helt jævne overflader, elektrisk fremdrift, sensorer og elektroniske spor i vejbanen er 'Bus Rapid Transit' konceptet videreudviklet til at udnytte den førerløse teknologi. Herved kan der etableres løsninger med en sådan kapacitet og komfort, at det minder om banetransport blot ved marginale tilpasninger af den fysiske infrastruktur. Denne teknologi anvendes allerede flere steder i Asien, og har fået tilnavnet 'skinneløst tog' og betegnelsen ART.

Teknologien må forventes færdigudviklet i 2035, og vil derfor kunne bruges på strækningen Aarhus-København over Kattegatforbindelsen og behøver ikke nødvendigvis eget kørespor. I modsætning til faste skinner betyder de virtuelle skinner en stor fleksibilitet i anvendelsen af den aktuelle kørebane. ART vil således som udgangspunkt køre i blandet trafik men holde sig i det hurtige kørespor. I tilfælde af kø kan ART anvende nødsporet som opgraderes til denne trafik.

KØRETØJ

- Busser, op til 30 m, evt. kombineret i længere enheder
- Hastighed: 130 km/t
- Passagertal: 120 siddende
- Særlige rum til møder, toiletter o.s.v.
- Drivmiddel: El
- Levetid: 20–25 år

INFRASTRUKTUR

- Særlig afmærkning etableres i vejbelægning
- Stoppesteder/stationer f.eks. i Aarhus, på Samsø og i Kalundborg

STYRING

- Køretøjet styres af sensorer, der følger afmærkning mm.
- Ved nedbrud i trafikken kan køretøjet manuelt styres uden om

EKSEMPLER OG REFERENCER

- Forsøgsprojekt i Zhouzhou, Kina



Eksempel på en ca. 30 meter lang selvkørende ART, som følger en stiplede afmærkning i asfalten.

Med en hastighed der svarer til den maksimalt tilladte, vil rejsen fra København til Aarhus dermed kunne klares på ca. 1 time og 50 minutter med afsæt i afgangspunkt fra Ny Ellebjerg og under forudsætning af, at udvidelser af eksisterende motorvej opgraderes til motorvej som planlagt.

ART'en er som udgangspunkt indrettet som et letbanetog med en kapacitet på ca. 120 siddende passagerer, men ART-stammerne kan sættes sammen til længere virtuelle tog. Herved opnås højere kapacitet. Tillige kan der etableres forbindelser til andre destinationer, hvis behovet opstår.



BRUGERAFGIFT: *Prisen vil være som for en bustur i dag eller lidt højere.*



KAPACITETSUDNYTTELSE: *Effektiv kapacitetsudnyttelse pga længere tog.*



TEKNOLOGISK MODENHED: *Løsningen findes i forsøgsdrift til bytrafik, men der udestår en del udvikling.*



KVALITET: *Kvaliteten vil være bedre end en busrejse i dag, især med bedre komfort pga styringen. Der vil være skift i begge ender af rejsen, og bussen vil kunne blive forsinket i tæt trafik.*



OMKOSTNINGER: *Der skal etableres en forholdsvis omkostningstung digital infrastruktur til styring af køretøjerne.*



SERVICEFORPLIGTELSE: *Der vil være et element af offentlig styring gennem ejerskabet til infrastrukturen.*



SHUTTLEFORBINDELSE MED ART SERVICE

Der etableres en shuttleforbindelse over Kattegatbroen fra terminaler på hhv. Sjællands- og Jyllandssiden. Shuttleforbindelsen betjenes primært af ART (Autonomous Rapid Transit), som kan starte og slutte ved en shuttleterminal på det primære banenet, f.eks. Kalundborg og Aarhus. Som en supplerende service kan der tillige bestilles små shuttlekøretøjer til individuelle destinationer. Shuttleløsningen giver dermed en stor kapacitet på hovedforbindelserne mellem København og Aarhus samt en stor fleksibilitet, hvor man kan opnå en dør-til-dør service.

København og Aarhus vil i en meget lang fremtid og måske altid være hovedforbindelsen for langt den største andel af trafikanterne, der vil benytte den kollektive transport over Kattegatforbindelsen. Derfor etableres en shuttleforbindelse, der kobler intercitytoget på Kalundborgs Station med Aarhus Hovedbanegård. ART holder direkte ved forbindelserne til perronerne, således at omstigning

er gnidningsløst og overdækket. I tilfælde af begrænset ventetid etableres en terminal, hvor passagerer kan vente og orientere sig om nærmeste afgangstidspunkt. Shuttleforbindelsen betjenes af ART enheder med mindst 150 passagerer. ART togene er beskrevet i foregående opslag og fungerer som et letbanetog, der kører på virtuelle skinner i form af den førerløse teknologi,

KØRETØJ

- ART-busser med plads til mindst 150 passagerer, 100 km/t
– se foregående opslag
- E-biler som vi kender fra DriveNow og GreenMobility. Flåden suppleres med minibusser der kan køres med almindeligt kørekort
- Hastighed: 130 km/t
- Passagertal: 1-9 pr. køretøj, dog også større busser ved fuld selvkørende funktion
- Drivmiddel: El
- Levetid: ART 20-25 år
e-biler udskiftes ca hvert 5. år

INFRASTRUKTUR

- Der etableres terminaler til omstigning ved base stationer
- Opstillingsperroner med skiltning af destinationer samt permanente ladestationer for e-bilerne

STYRING

- Køretøjerne administreres og styres via et flådestyringsværktøj, som kobles til en samlet MaaS rejseplanlægger

EKSEMPLER OG REFERENCER

- DriveNow, Green Mobility og Waymo



Eksempel på terminal for skift mellem tog og shuttlekøretøjer i forskellige størrelser.

styret af den nye Europæiske Galileo satellitteknologi.

Passagererne reserverer plads og får på shuttleterminalen klar anvisning om hvilken ART, der skal benyttes, samt hvornår den afgår. I det fuldt førerløse scenarie vil ART køre autonomt evt. med en steward om bord, der dels kan servicere passagerne og dels udføre teknisk service, hvis

det skulle blive nødvendigt. Som en ekstra service vil der ved shuttleterminalen være tilknyttet individuelle køretøjer, som passagererne kan reservere. Disse kan benyttes enten som de nu velkendte bybiler DriveNow og Green Mobility, til individuelle destinationer – dør-til-dør service. Disse individuelle køretøjer vil returnere autonomt til shuttleterminalen efter passageren har færdigmeldt sin tur.



BRUGERAFGIFT

Prisen vil være som for en bustur i dag eller lidt højere.



KAPACITETSUDNYTTELSE

Løsning med ART udnytter kapaciteten godt.



TEKNOLOGISK MODENHED

GoMore og lignende koncepter findes allerede, men en ægte selvkørende løsning ligger nogle år ude i fremtiden.



KVALITET

Grundløsningen indebærer skift i Kalundborg



OMKOSTNINGER

Løsningen kræver kun etablering af et bookingsystem og terminalfaciliteter.



SERVICEFORPLIGTELSE

Serviceforpligtelse som bus



PEOPLE MOVER VIA MONORAIL

Det traditionelle brodesign består af kørebane med autoværn i midten og i siderne. Autoværnene er en kraftig konstruktion, som både stabiliserer dele af broen og kan modstå store trykpåvirkninger. Samtidig skal det forhindre køretøjer og genstande i at falde ud over kanten. Disse værn kan udformes som sporet til en monorail, som kan medtage passagerer og cykler. Enhederne kan være mindre 6-10 personers enheder eller større enheder med 30 eller op til 300 passagerer afhængig af konstruktionens størrelse. Elforsyning indbygges i skinnen.

En bus behøver ikke nødvendigvis at have hjulene nederst, og den behøver ikke nødvendigvis at køre på en kørebane.

Den foreslåede Monorail er i princippet en bus, der kan køre på en specialdesignet skinne, som tillige fungerer som autoværn for den traditionelt rullende trafik på broen. Autoværnets funktion dobbeltudnyttes således.

Det kombinerede autoværn fungerer således samtidig som en styre-, strøm- og bæreskinne for monorail enheden. Enheden står på styreskinnen på hjul under enheden. Disse hjul sikrer bussens fremdrift med strøm fra skinnens underside. Styrende hjul trykker horisontalt ind mod skinnens sider og sikrer en stabil og jævn køreoplevelse med høj hastighed.

KØRETØJ

- Op til 8 koblede vogne
- Hastighed: 130-200 km/t
- Passagertal: 40-60+ pr. vogn
- Drivmiddel: El
- Levetid: 20-25 år for det rullende materiel

INFRASTRUKTUR

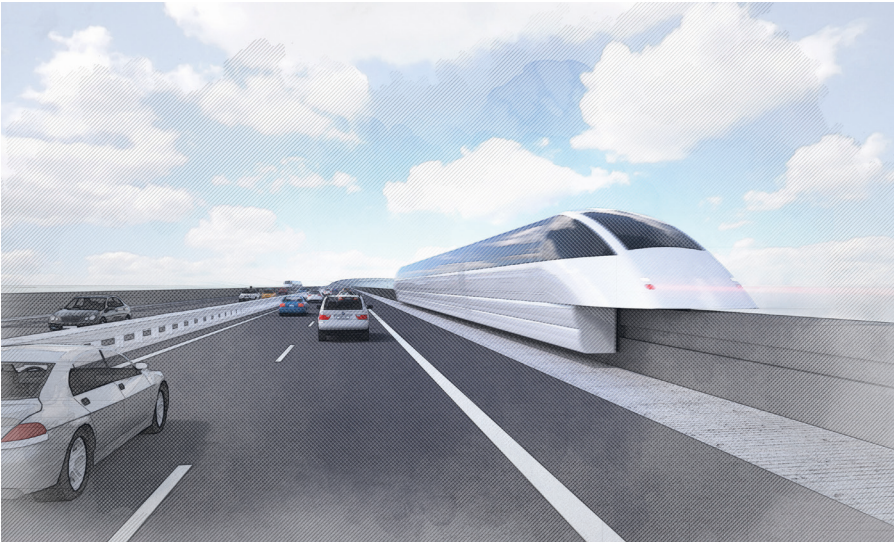
- Særlig skinne monteret på broens autoværn
- Monorailen fortsætter i egen infrastruktur til hhv Odder og Kalundborg.
- Stationer i Odder, på Samsø og i Kalundborg

STYRING

- Køretøjet er selvkørende

EKSEMPLER OG REFERENCER

- Findes ikke i drift som fjerntog, men flere eksempler i bydrift: Yinchuan, Kina og Osaka, Japan



Vision for en monorail-løsning, hvor køreskinnen også fungerer som autoværn for den øvrige trafik.

Styreskinnens bredde er 70 cm og leverer strøm til bussernes elektromotorer. Således sikres en høj rejsehastighed. Busserne har et reservebatteri, som oplades fra strømskinnen, og som sikrer driften i tilfælde af strømsvigt.

Der er således tale om en betydelig kapacitet, som vil fremtidssikre den kollektive transport over Kattogforbindelsen i mange årtier frem og formentlig i hele broens levetid.



BRUGERAFGIFT

Der må forventes en højere pris end for de andre løsninger pga den store anlægsudgift, der skal forrentes.



KAPACITETSUDNYTTELSE

Den mest effektive løsning, der slet ikke optager køreareal på broen.



TEKNOLOGISK MODENHED

Løsningen findes i drift og har været kendt i en længere årrække, primært til bytrafik.



KVALITET

Rejsen vil være hurtigere og mere komfortabel end en busrejse. Der vil fortsat være skift, i hvert fald i Kalundborg og Aarhus.



OMKOSTNINGER

Løsningen er meget omkostningstung med et meget stort infrastrukturanlæg, også på land.



SERVICEFORPLIGTELSE

Pga den store anlægsudgift vil løsningen være statsejet med sikkerhed for at driften opretholdes.



DYNAMISKE BUSBANER

Med denne løsning anvendes broens samlede køreareal, så køretøjer med flest personer altid får bedst fremkommelighed. Broens anvendelse bestemmes af det til enhver tid aktuelle behov. Broens fulde kapacitet er således altid til rådighed. Kommunikationssystemet mellem køretøjer og vej, suppleret med kørebaneafmærkning, viser den gældende anvendelse af broens kørebaneplade. Denne øgede kapacitetsudnyttelse kan derved anvendes til prioritering af samtransport.

I dag findes flere eksempler på, hvordan køreflader dynamisk kan tildeles forskellige køreretninger og/eller trafikanttyper (se faktaboks). Dette foregår både med skiltning og med fysiske barrierer.

I en fremtid, hvor de fleste køretøjer kan køre af sig selv, åbnes der muligheder for at en omskiftelig vejbaneudformning og -tildeling kan ske meget mere dynamisk.

Dette gør det nemmere at skabe midlertidigt dedikerede vejbaner til busser (og eventuelle andre typer af køretøjer man måtte ønske at give prioritet). Og

overholdelsen kan blive meget bedre, i og med at infrastrukturen så at sige kan beordre alle andre end busser til at forlade en given bane.

Løsningen vil kræve brug af teknologi, som i dag kun er på teststadiet. Det vurderes dog, at denne teknologi vil være moden en del år før 2035, og derfor vil kunne bruges uden væsentlige forøgelse af anlægsomkostningen for Kattegatforbindelsen.

Det skal bemærkes at denne løsning vil have generelle positive effekter for

KØRETØJ

- Ingen særlige krav
- Skal være udstyret med V2X

INFRASTRUKTUR

- Vejen normalt opbygget
- Skiltning af banerne

STYRING

- Ved skiltning og V2X-teknologi prioriteres det samlede køreareal, således at busser og køretøjer med flere passagerer prioriteres

EKSEMPLER OG REFERENCER

- Findes ikke i drift, men udvikling og test af nødvendige V2X-standarder pågår bl.a. i EU regi



Dynamiske busbaner, som her er illustreret og eksemplificeret, ved at informationen bliver projekteret op i forruden på køretøjet.

fremkommeligheden, hvilket også vil komme biltrafikken til gavn. Dels ved hændelser der gør, at trafikken skal omdirigeres, dels i en fremtidig situation

hvor den generelle trafikudvikling har givet trængsel på broen.



BRUGERAFGIFT

Prisen vil være som for en bustur i dag eller lavere.



KAPACITETSUDNYTTELSE

Effektiv pga ITS-løsningen, der løbende tildeler køreareal til køretøjer med flest passagerer.



TEKNOLOGISK MODENHED

Lignende løsninger findes, men det samlede system skal udvikles.



KVALITET

Rejsen vil være hurtigere end en busrejse i dag pga ITS-løsningen. Der vil fortsat være skift i begge ender af rejsen.



OMKOSTNINGER

Etablering af ITS-system.



SERVICEFORPLIGTELSE

Serviceforpligtelsen kan sikres gennem tildeling af koncessioner til operatørerne.



RULLENDE TERMINAL

Der etableres en række faste busruter mellem destinationer på Sjælland og i Jylland, f.eks. København-Aarhus eller Helsingør-Holstebro. Busserne er designet, så de kan sammenkobles og åbnes med fri gennemgang mellem de sammenkoblede enheder. Busserne mødes og sammenkobles inden passage af broen og skilles igen efter passage af broen. Under passagen kan passagerer skifte mellem enhederne - tørskoet og uden tidsspilde. Derved etableres en mange-til-mange service, hvor en vifte af destinationer er tilgængelig, uanset hvor man stiger på og uden at bruge tid på omstigninger.

Omstigninger har altid været den kollektive trafikks akilleshæl. I dette forslag elimineres besværet og tiden til omstigning ved at benytte passagetiden over Kattegat til at omstige mellem en række sammenkoblede 'busser'. Løsningen kan sammenlignes med IC3 togene fra København, hvor et IC3 togsæt splittes i Fredericia, hvorefter hver enhed kører henholdsvis til Esbjerg, Struer og Aalborg - en én-til-mange løsning.

Ved "rullende terminal" udvides konceptet til mange-til-mange, hvor passagen af Kattegat benyttes til omstigning. Passagetiden er ca ½ time og kørslen er jævn og uden sving og stop. Skiftet kan således ske sikkert og bekvemt. Dette muliggør en høj kapacitetsudnyttelse, og gør det samtidig muligt på omkostnings-effektiv vis at tilbyde de rejsende direkte transport uden egentlige skift.

KØRETØJ

- Lille bus, 10-12 m, der kan samles i længere enheder
- Hastighed: 100 km/t
- Passagertal: 40 pr. enhed
- Særlige rum til møder, toiletter osv
- Drivmiddel: El
- Levetid: 20-25 år

INFRASTRUKTUR

- Bussen benytter de almindelige kørebaner, evt særlige baner til sammenkobling
- Stoppesteder/stationer i byer på Sjælland, i Jylland og på Samsø.

STYRING

Køretøjet er selvkørende henover broen. Enkeltenheder samles inden kørsel over broen og skilles igen efter passage.

EKSEMPLER OG REFERENCER

- Findes ikke i drift



Kortet viser, hvordan busser fra forskellige destinationer bliver sammenkoblet ved Kattegatforbindelsen og bliver frakoblet ved forbindelsens ophør, hvorefter busserne kører til deres endelige destinationer.

Busserne skal designes med gummi-membraner i begge ender, som kan sikre sammenkobling på samme måde som IC3 togene. Ved siden af chaufførens plads kan en gennemgang åbnes, når busserne er sammenkoblede, hvorefter passagerer kan passere mellem de enkelte vogne.

Løsningen er konceptuel, men det er sandsynligt, at den vil kunne være udviklet i 2035.



BRUGERAFGIFT

Prisen vil være, som for en bustur i dag eller lidt højere.



KAPACITETSUDNYTTELSE

Effektiv kapacitetsudnyttelse pga længere tog.



TEKNOLOGISK MODENHED

Løsningen eksisterer kun som et koncept, der ikke er testet i praksis endnu.



KVALITET

Bedre kvalitet end en busrejse i dag, især med bedre komfort pga. styringen. Flere rejser kan gennemføres med færre skift pga sammenkoblingsløsningen.



OMKOSTNINGER

Der skal etableres en særlig infrastruktur i sammenkoblingszonerne og en generel ITS-løsning til at styre hele konceptet.



SERVICEFORPLIGTELSE:

Der vil være et element af offentlig styring gennem ejerskabet til infrastrukturen.

WWW.RAMBOLL.COM

