

# OBJEKTORIENTERET BESKRIVELSE AF KOLLEKTIVE TRAFIKNET

Otto Anker Nielsen  
Forskningsprofessor, CTT/DTU

Per Thorlacius  
Civilingeniører, Banestyrelsen Rådgivning

## 1 INDLEDNING

Håndtering af trafiknet i modeller er vanskelig, så snart nettene bliver mere komplekse end simple net bestående af strækninger og knuder. Tidligere modeller, f.eks. gængs trafikmodelsoftware, håndterer trafiknet i interne proprietære formater. Nyere modeller bygger på en repræsentation i geografiske informationssystemer (GIS), eller relationelle databaser. Imidlertid besidder traditionelle GIS en række brister ved beskrivelsen af mere komplekse net - f.eks. kollektive og multimodale net - idet modellerne tvinges ind i en forholdsvis rigid tabelbaseret form. Derved vanskeliggøres vedligeholdelsen af data, ligesom modellerne af praktiske årsager tvinges til at beskrive nettene forenklet i forhold til virkeligheden.

### 1.1 Baggrund

I EU-projektet BRIDGES udviklede CTT og Banestyrelsen Rådgivning sammen med en række internationale partnere en konceptuel model for trafiknet m.v., kaldet 'Generalised Transport Format, GTF' (Nielsen m.fl. 1998a). En anden generel model, der specifikt fokuserer på kollektiv trafik, blev udviklet i ALTRANS-projektet ved DMU (Thorlacius, 1998). Idéer fra de to modeller, blev udnyttet i København-Ringsted modelprojektet (Nielsen, m.fl. 1999).

Ovennævnte projekter udviklede generelle konceptuelle modeller for trafiknet under hensyntagen til begrænsninger i datidens relationelle databaser og modelbeskrivelser.

### 1.2 Anvendte metoder, analyser og fremgangsmåde

Artiklen beskriver en ny mere generel konceptuel model af trafiknet og trafikdata. Denne model er en del af projektet *Transportation Object Platform (TOP)*. Modellen bygger på den nye objektorienterede teknologi i det geografiske informationssystem ArcInfo 8.1. Dette muliggør et paradigmeskift i beskrivelsen af kollektive trafiknet i modeller, idet det nu er muligt at opbygge langt mere komplekse og virkelighedstro netbeskrivelser, der samtidig gennem funktionaliteter i de enkelte objekter, kan vedligeholdes på overkommelig vis.

TOP udvikles af Banestyrelsen Rådgivning i samarbejde med Environmental Systems Research Institute (ESRI).

Artiklen koncentrerer sig om den teoretiske konceptuelle model.

## 2 TIDLIGERE ARBEJDER

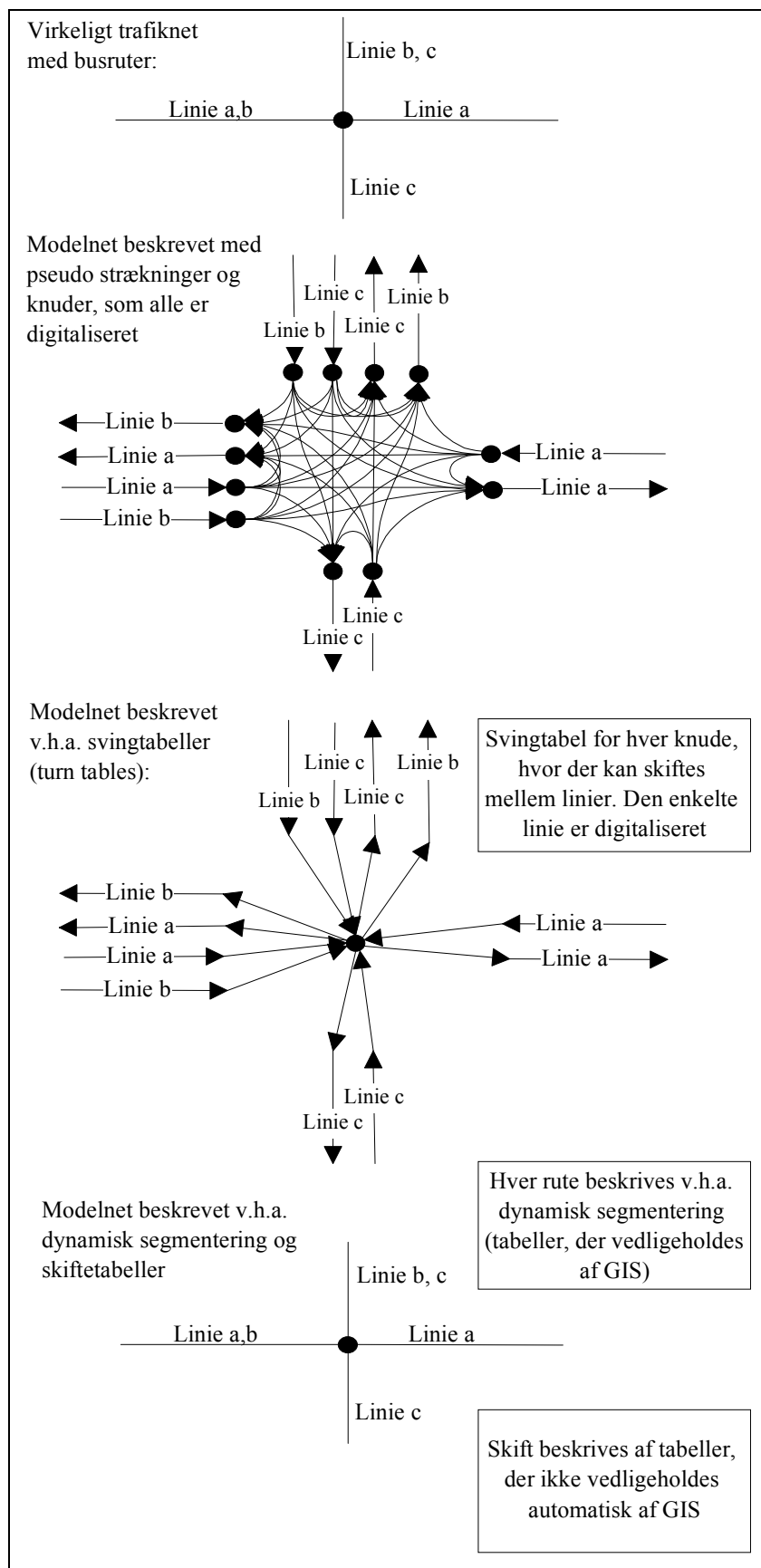
I det følgende gives et kort vue over den hidtidige udvikling af hhv. GIS og trafikmodeller med henblik på håndtering af (multimodale) trafiknet.

### 2.1 Erfaringer med brug af GIS

I en lang årrække opererede trafikmodeller i GIS kun med strækninger og knuder til beskrivelse af trafiknet. Det var betegnende for sådanne GIS (og de fleste af dagens GIS), at de kun rummede informationer om fra- og tilkninger for strækningerne, mens der ikke eksplicit var tilknyttet information om tilknyttede strækninger til knuderne. Dette besværliggjorde opbygning af effektive netværksalgoritmer, idet denne information skulle opbygges, hver gang beregningsgraferne skulle opbygges.

Helt primitive beskrivelser af kollektive trafiknet byggede direkte nettene som stræknings-knude topologier (jf. figur 1), hvilket dog i ekstremt omfang besværliggjorde redigering og kvalitetssikring af data.

Senere introduceredes de såkaldte turntables i GIS. Herved kunne svingbevægelser og restriktioner herfor beskrives i vejkryds, og lidt bredere fortolket



Figur 1. 'Work-arounds' til at håndtere kollektive trafiknet i GIS.

trafikknudepunkter. Turntables er en ofte brugt forsimpning til at beskrive kollektive trafiknet i GIS, f.eks. ved at turntables beskriver skiftemuligheder til ruter. Dette skaber selvsagt redundante data på strækningsniveau, og fordrer omfattende makroprogrammering af editeringsværktøjer til at kunne sikre en rimelig konsistens af data.

Senere udvikledes såkaldt dynamisk segmentering til at beskrive hændelser langs en sekvens af strækninger. Dette kunne også benyttes til at beskrive kollektive trafiknet (Nielsen m.fl. 1998b). Men selvom denne løsning er mere elegant end dobbeltdigitalisering (med eller uden brug af turntables) var den forholdsvis besværlig at etablere, og eksporten til netværksalgoritmer besværlig. Eksempler på brug af denne metode kan findes i såvel ALTRANS (Thorlacius, 1998), EU-projektet BRIDGES (Nielsen m.fl. 1998a) og København-Ringsted-modellen (Nielsen, m.fl. 1999).

EU-projektet BRIDGES udviklede også en såkaldt konceptuel model for opbygning af kollektive trafiknet i edb-modeller, samt et udvekslingsformat for denne (Generalised Transport Format, GTF). Imidlertid var det ikke muligt at opbygge denne model helt tilfredsstillende i GIS.

Det må således konkluderes, at det hidtil har været vanskeligt at opbygge og vedligeholde multimodale trafiknet i GIS, ligesom det har været vanskeligt at opbygge selv forholdsvis simple topologiske modeller med en fornøden grad af generalitet. Et særligt problem er, at GIS-baserede multi-modale modeller sjældent alene kan opbygges af GIS-pakkernes egne elementer, hvorved en del topologiske elementer må beskrives alene i databaser. Derved opdateres de ikke automatisk på samme måde som GIS-pakkernes egne elementer. Man kan sige, at den samlede datamodel er "uintelligent".

## **2.2 Erfaringer med brug af trafikmodelpakker**

Parallelt med udviklingen af topologiske modeller i GIS, har trafikmodelsoftware udviklet en stigende grad af GIS-lignende faciliteter specielt fokuseret på trafikmodellens behov for håndtering af komplekse trafiknet.

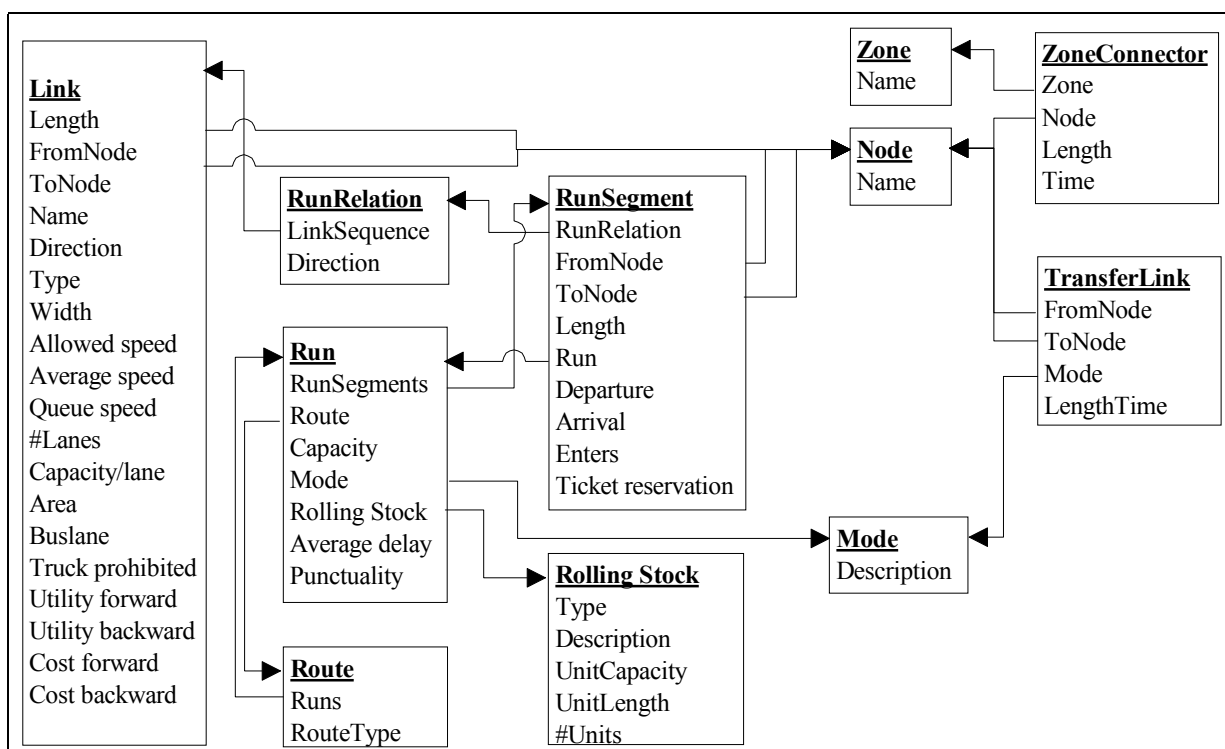
Det må imidlertid siges, at alle disse trafikmodelpakker bygger på så lukkede formater, at de ikke har tilstrækkelig fleksibilitet til interaktion med eksterne modeller, den mangfoldighed af formater, der benyttes af dataleverandører, samt krav for mulighed for egenudvikling eller tillem্পning af algoritmer til specifikke anvendelsessituationer, herunder tillem্পning af modellerne til danske forhold. Endvidere er udveksling af data med f.eks. jernbane-simuleringsmodeller og andre driftsorienterede modeller særdeles vanskelig.

Trafikmodelpakker rummer modsat standard GIS de nødvendig topologiske modeller, men sjældent på en generaliserbar form, idet modellerne er tilpasset de underliggende beregning-algoritmer. Derudover har de stort set altid deres egne specifikke proprietære dataformater, og der er sjældent de fornødne værktøjer til redigering og visualisering af geografiske data. I visse softwarepakker, er datamodellen dog "intelligent" forstået på den måde, at der er en rimelig automatik i opdateringen af topologiske elementer.

## 2.3 Forsøg på at bygge bro mellem GIS og trafikmodelpakker

Der er – bl.a. i Danmark – gennemført en række forsøg på at bygge bro mellem GIS og trafikmodelpakker. Største forskningsindsats var i EU-projektet BRIDGES. Videre udviklede ALTRANS en GIS-baseret kollektiv netværksmodel, der kunne importere køreplaner fra samtlige danske operatører og trafikselskaber. De underliggende beregningsmodeller i ALTRANS var dog langsomme, idet de direkte udnyttede GIS'et ARC/INFO's egne algoritmer fremfor særligt optimerede udgaver, ligesom ALTRANS ikke er udviklet til redigering og vedligehold af kollektive trafiknet.

Imidlertid blev ALTRANS efter et grundigt review fundet som den mest effektive platform at bygge København-Ringstedmodellen på, men beregningsalgoritmerne blev nu lagt i en ekstern model, ligesom der blev foretaget nogle justeringer af modellen for især at kunne håndtere jernbanerelaterede data. Den samlede topologiske model kunne udveksle data med beregningsmodeller via et access-baseret udvekslingsformat, som fremgår af figur 2. Som det ses er denne model mere omfangsrig end tidligere GIS' simple stræknings-knude topologi.



**Figur 2.** Udvekslingsformat for den topologiske model for kollektive trafiknet i København-Ringstedmodellen.

## 2.4 Problemer med konventionelle modeller

Erfaringsvis har der været en række edb-mæssige og organisatoriske problemer med konventionelle trafikmodeller og GIS, bl.a.:

- Forskellige afdelinger og organisationer er ansvarlige for data vedr. infrastruktur, køreplaner, materiel og drift.

- Data – selv inden for den samme organisation og i nogle tilfælde selv inden for den samme afdeling – er ofte placeret på forskellige edb-platformer med forskellige måske proprietære modeller. Dette skyldes edb-mæssige problemer med at vedligeholde de forskellige typer data på én og samme platform. Dette giver selvsagt problemer med udveksling og koordinering af data og resultater af beregninger.
- Komplekse elementer – f.eks. trafikterminaler – håndteres ikke eksplicit som unikke topologiske objekter. Dette vanskeliggør opbygningen af trafikmodeller – f.eks. hvis forskellige trafikselskabers stoppestedsdatabase ønskes koplet op på stationer i en regionsdækkende trafikmodel.
- Modeller og værktøjer udnytter ikke fuldt ud data, idet der fra den specifikke model ikke er adgang til data i de andre specifikke modeller, der kunne være relevante til den konkrete opgave.
- Der er ofte inkonsistens mellem datamodeller, konceptuelle modeller, data, m.v. i forskellige modeller, hvilket leder til et stort arbejde med at overføre og kvalitetssikre data – hvis ikke de helt opgives at koordinere de forskellige modeller.

### **3 TRANSPORTATION OBJECT PLATFORM PROJEKTET (TOP)**

TOP-projektet (Transportation Object Platform) er et internt udviklingsprojekt i Banestyrelsen Rådgivning, der blev igangsat for at løse de problemer, der som nævnt i afsnit 2.4 hidtil har været i forbindelse med datadelen af store modelprojekter.

Projektet bygger på den nye objektorienterede model i GIS'et ARC/INFO 8.1, der repræsenterer et paradigmeskift i forhold til tidligere GIS. Det er således først med de teknologiske muligheder i ARC/INFO 8, at det er muligt at opbygge mere komplekse topologiske modeller for kollektiv trafik. Banestyrelsen fik tidligt adgang til dette program via sin business-partneraftale med ESRI (Environmental Systems Research Institute, der producerer ARC/INFO), og Banestyrelsen har et tæt samarbejde med ESRI's udviklingsteam for at sikre tæt integration med ARC/INFO. Derudover er der et samarbejde med UNETRANS-konsortiet, der ledes af University of California at Santa Barbara, der søger at udvikle en standard for objektorienterede modeller for trafiknet.

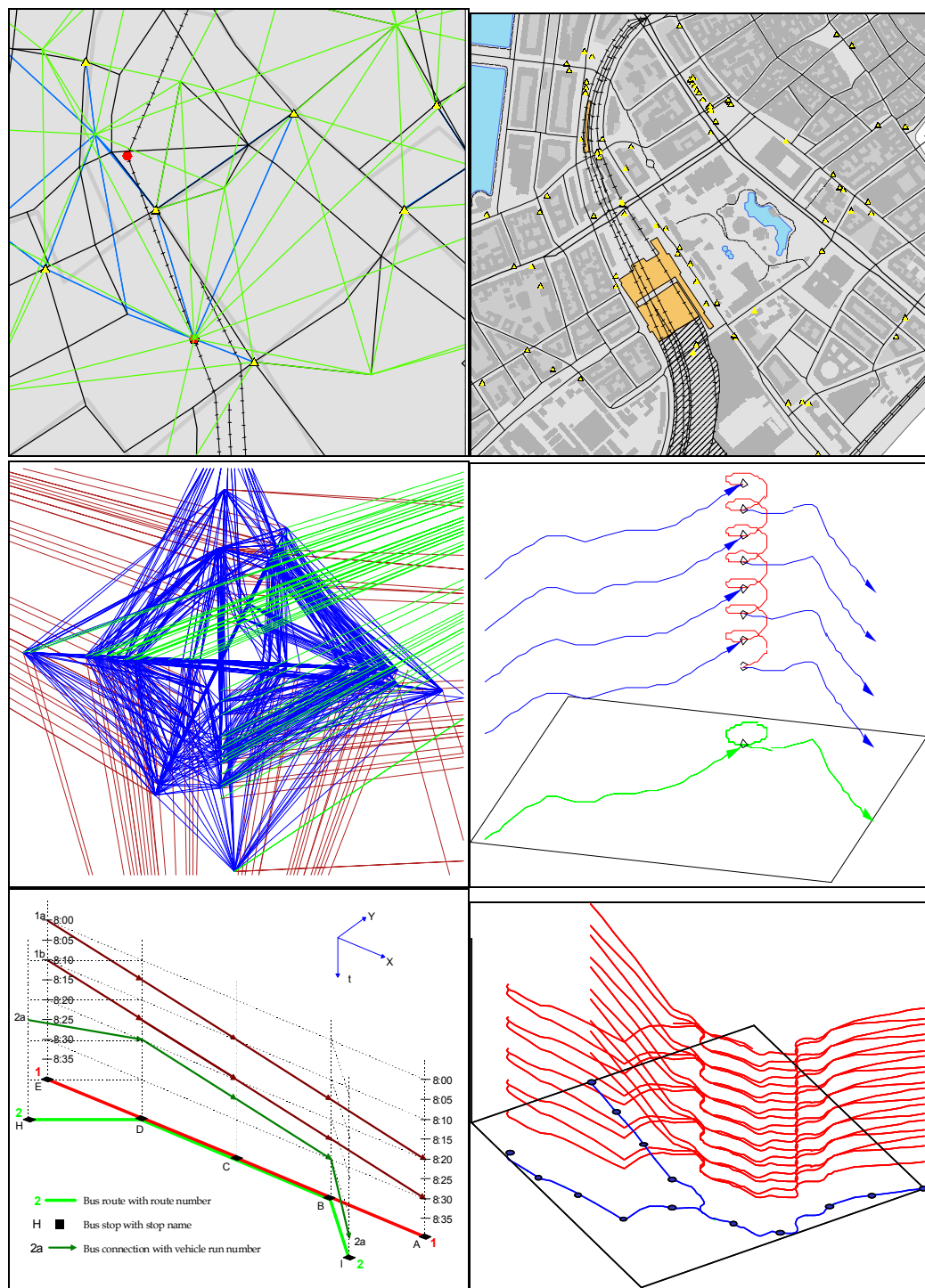
Grundlæggende er TOP en platform for håndtering af data og udvikling af applikationer til trafik- og transportplanlægning med særlig fokus på håndtering af multimodale net og dertil hørende køreplaner. TOP blev først og fremmest igangsat for mere effektivt at kunne håndtere data og modeller i Banestyrelsen Rådgivning. Men TOP udvikles så generelt, at det på sigt også forventes solgt som et kommercielt produkt. Derudover muliggør TOP en lettere implementering af mere effektive beregningsmodeller, og vil således blive en glimrende platform for mere forskningsorienterede aktiviteter såvel i Banestyrelsen som ved Center for Trafik og Transportforskning (CTT) på DTU og evt. ved andre forskningsinstitutioner.

#### **3.1 Visioner**

Ideen bag TOP er, at objektmodellen skal være generel, åben og udvidelig – modsat dagens mere eller mindre proprietære og sektorspecifikke softwarepakker til trafikmodellering og trafikplanlægning. De enkelte topologiske objekter i TOP er direkte udvidelser til

ARC/INFO's egen objektmodel, og andre modeller kan lige så direkte bruge objekterne i TOP. Det kan eksempelvis være sektorspecifikke modeller (skib, fly, fragtmodeller, tog, bus, etc.), der bygger på de grundlæggende topologiske objekter i TOP, eller det kan være specielle typer applikationer, f.eks. rutevalgsmodeller eller logistikmodeller.

TOP er tænkt som en generel model for håndtering af trafiknet. Dette gør den på sin vis meget abstrakt, idet den som nævnt ofte vil kræve sektorspecifikke tilføjelser. Men derved vil der også være en høj grad af genbrug og konsistens mellem de forskellige anvendelser, ligesom generaliteten muliggør multimodel planlægning og tværsektorielle analyser (f.eks. mellem vej



**Figur 3.** Forskellige eksempler på afbildning af kollektive net.

og banetraffic). Generaliteten sikrer også, at TOP kan benyttes på forskellige aggregeringsniveauer. Eksempler kan spænde fra lokal busplanlægning til multimodale modeller for containertransport i Europa.

En væsentlig del af TOP er, at den etablerer intelligente relationer mellem de forskellige topologiske elementer. Ændres eksempelvis en vejstrækning er det tanken, at tilhørende objekter – f.eks. busruter – opdateres automatisk. I en række tilfælde er dette ikke muligt (lukkes en vej, er det f.eks. ikke trivielt hvilken alternativ busruten skal følge), men da vil TOP gøre opmærksom på ikke gyldige data og forslå mulige løsninger på problemet.

Det er væsentligt at notere, at den objektorienterede tilgang sikrer, at alle tilføjelser og applikationer kan bygge videre på faciliteterne i TOP, ligesom TOP selv bygger videre på faciliteterne i ARC/INFO.

### 3.2 Teknologien bag TOP

TOP forener relationelle databaser, GIS og metoder fra objektorienteret software design.

Ideen bag TOP er, at alle planlægningsdata lægges i samme relationelle database, hvis format er offentligt tilgængeligt. Databasen indeholder – modsat traditionelle databaser – et udvidet komplekst *regelsæt* (eksempelvis for sammenhænge mellem objekter – en gågade må f.eks. ikke sammenkobles en motorvej eller banestrækning), *logik* (hvis en strækning ændres – hvilke andre objekter skal da opdateres) og *funktioner* (f.eks. til at foretage bestemte handlinger med et objekt).

De enkelte objekter tilknyttes editerings og visualiseringsværktøjer. Disse er i nogle tilfælde relativt lette at implementere, idet de direkte kan nedarve eller bygge på de faciliteter, der er i ARC/INFO. I andre tilfælde vil det kræve programmering.

### 3.3 Eksempler på værktøjer

I det følgende gives nogle få eksempler på værktøjer i TOP.

Figur 3 viser øverst til venstre en "klassisk" beskrivelse af kollektive trafiknet, der er ret tæt på den grafbeskrivelse, der benyttes i beregningsmodellerne (eksemplet er fra København-Ringsted modellen). Modellen viser alle stop, zoneophæng og skiftestrækninger. Imidlertid er den geografisk ret ringe, og overskueligheden er begrænset. Til højre herfor vises et bedre beskrevet kort. Men uden beskrivelse af skiftemuligheder m.v. Fra dette kort kombineret med køreplansdata er det muligt at generere kortet til venstre (men ikke omvendt). F.eks. vil stoppene i en stoppestedsggruppe kunne aggregeres til et tyngdepunkt, der da kan knyttes op til en knude i vejnettet, ligesom skiftestrækkene kan genereres ud fra rutevalg i gangnettet, hvorved venstre korts beskrivelse kan opnås. Netop en sådan vekselvirkning mellem aggregeringsniveauer vil kunne lette kvalitetssikringen af trafikmodeller, ligesom mange data kan genereres automatisk (kortet til højre bygger på standardkortværk kombineret med HT's digitale stoppestedsdatabase). Figuren viser derefter et andet eksempel, hvor køreplansinformation kan illustreres i 3D versus visse tidligere 2D GIS-modeller af mere graforienteret karakter.

Endelig viser figuren nederst to forskellige muligheder for at illustrere køreplaner i 3D; til venstre som en skematisk køreplan til højre med de sande koordinater.

## 4 HVAD BETYDER OBJEKTORIENTERET?

Objektorienteret er et begreb fra softwareverdenen. Objektklasser anvendes til *indkapsling* af:

- *Egenskaber* (data, m.v. f.eks. hastigheder for vejstrækninger).
- *Funktioner* (f.eks. til visualisering af køreplaner)
- *Hændelser* (dvs. metoder, der aktiveres når bestemte hændelser indtræffer, f.eks. når et relateret objekt editeres).

### 4.1 Hierarki af objektklasser - nedarvning

Der kan opbygges et *hierarki af objektklasser*, hvor objekterne i de nederste klasser *nedarver* data, funktioner og egenskaber fra de øverste.

Et eksempel er ARC/INFO-klassen Edge, der beskriver strækninger i netværk. En række funktioner her omfatter datahåndtering, redigering og visualisering.

Underklassen TransportEdge rummer trafiknetorienterede egenskaber, funktioner og hændelser. F.eks. en række metoder til opbygning af beregningsgrafer og netværksalgoritmer, hvilket i sagens natur er væsensforskellige for de metoder, der f.eks. benyttes til beskrivelse af kloaknet.

Klasserne i TOP nedarver igen fra TransportEdge. Næste hierarki herunder er her Road-, Rail-, Walk- og BikeEdges. Disse objekter vil hver have tilknytte forskellige egenskaber (f.eks. forskellige data og metoder til at beskrive kapacitetsforhold), regler (f.eks. at biler ikke må køre på gågader og jernbaner, mens personer både må køre med tog og gå på vejstrækninger), m.v. Og disse objekter kan igen underopdeles; f.eks. RoadEdges i motorveje, trafikveje, lokalveje, m.v. med forskellige egenskaber (f.eks. at man ikke må gå på en motorvej).

### 4.2 Gruppering af objekter

En anden vigtig funktion er muligheden for gruppering af objekter. F.eks. at stop kan grupperes til en stopgruppe, hvor stoppene rummer information om den fysiske placering af de enkelte stop, mens stopgrupperne eksempelvis benyttes i køreplanlægningen og til generering af publikumskøreplanen. Et andet eksempel er perroner og sporlegemer, der er essentielle ved kapacitetsanalyser og driftsplanlægning for jernbane, mens publikumskøreplanen kun indeholder oplysninger på stationsniveau. Stopgrupperne kan igen grupperes til terminalniveau; f.eks. en station med tilhørende forplads, eller forskellige fingre eller terminaler i en lufthavn.

### 4.3 Relationer mellem objekter

Endelig er en vigtig egenskab ved objektorientering – i særlig grad i forbindelse med trafikmodellering – muligheden for at opbygge relationer og regler for sammenhænge mellem objekter, herunder såvel mellem forskellige underklasser som mellem forskellige typer klasser.

Et eksempel på førstnævnte, er relationer mellem vejstrækninger. Her kan f.eks. gågader forbindes til en række forskellige typer vejknuder (f.eks. lysreguleret kryds), idet en gågade jo godt kan ende i en vej med biltrafik. Derimod vil en række typer vejstrækninger ikke kunne



forbindes til en gangknode, idet den pågældende vejstrækning da vil være blind. Pointen ved at opbygge regler herfor er, at modellen derefter selv sørger for integriteten i den samlede database; Det er lettere at opbygge én regel – selvom det måske forekommer kompliceret – end at checke 1 mio. strækninger manuelt i et digitalt kort.

Et eksempel på relation mellem helt forskellige klasser er sammenhængen mellem busruter og deres forløb ad strækninger og vejkryds i vejnettet. Det er i princippet kun sådanne overordnede relationer, der beskrives i resten af artiklen.

## 5 TOPS KONCEPTUELLE MODEL

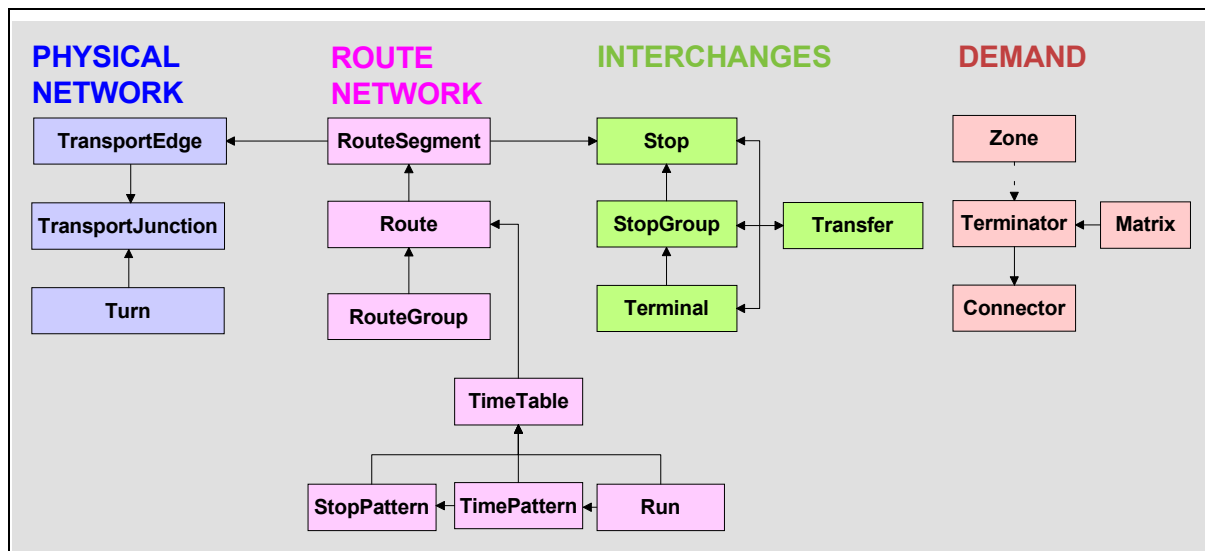
I det følgende beskrives den konceptuelle model bag TOP. Det vil sige den faglige beskrivelse (kravspecificering) af modellen. Dette leder i TOP-projektet op til en mere teknisk beskrivelse i et såkaldt UML-diagram, der benyttes til at generere skelettet til den centrale kildekode til TOP. Det er imidlertid for omfattende og komplekst, at beskrive UML-diagrammet i nærværende tekst. Men pointen med objektorienteret programmering er bl.a., at UML-diagrammer dokumenterer den grundlæggende objektstruktur, på hvilken andre applikationer kan opbygges, eller hvortil, der kan tilføjes yderligere objekter. På samme vis, som TOP udnytter ARC/INFO's objektmodeller (beskrevet med bl.a. UML-diagrammer), kan andre modeller udnytte TOP, når den er færdigudviklet.

### 5.1 Overordnet model

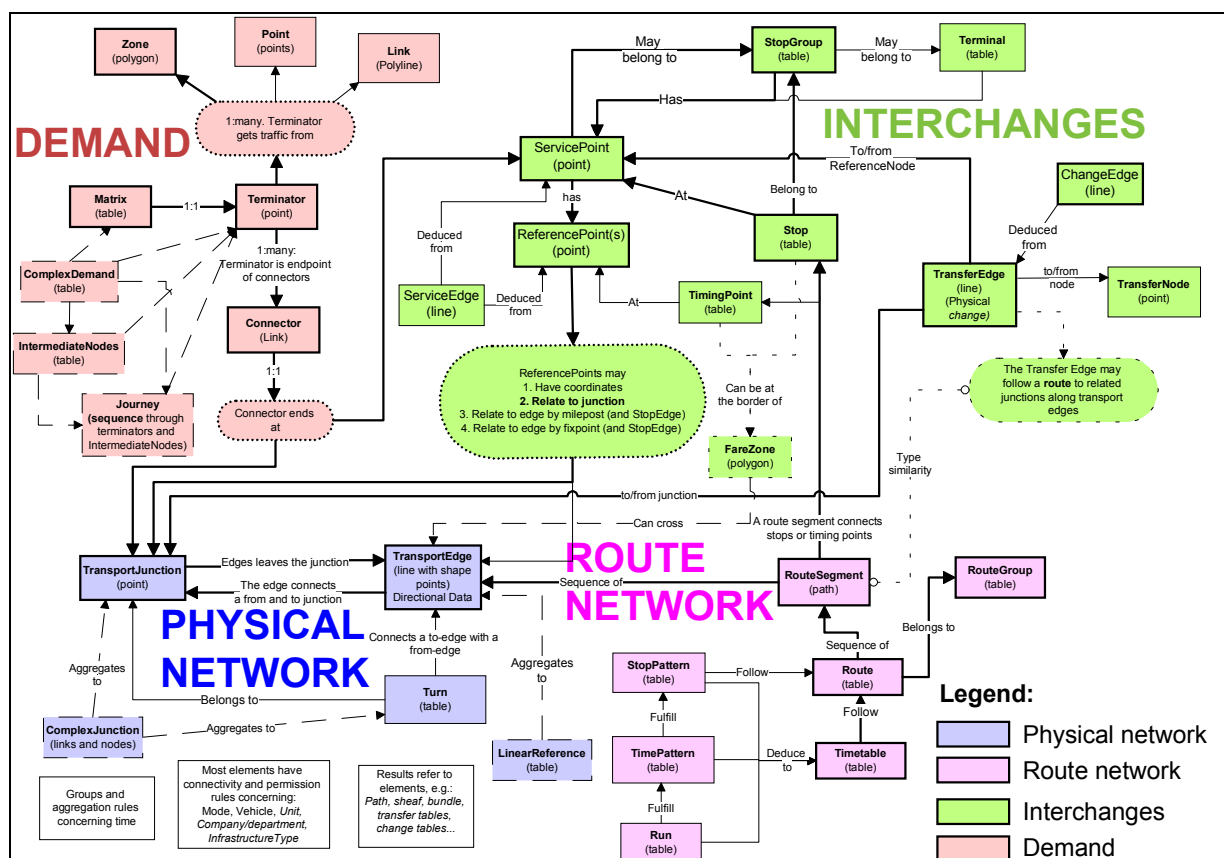
TOPs overordnede model (figur 4), består af 4 hovedgrupper af elementer:

- Det *fysiske trafiknet* består af strækninger, knuder og svingbevægelser. Sidstnævnte er mest relevant i forbindelse i vejnet (modellering af vejkryds), idet banenet bør beskrives af en særskilt model (se afsnit 6) og andre net ikke har behov for særskilt beskrivelse af svingbevægelser.
- Det organisatoriske net – eller *rutenet* - beskriver ruter af strækninger i det fysiske net mellem stop i terminaler. Ruter kan grupperes – f.eks. S-toglinie E i København, der i dagtimer kører fra Køge til Hillerød, mens den ellers kun kører mellem Køge og Hellerup. Køreplaner kan beskrives på forskellig vis. Et standsningsmønster beskriver hvilke stop ad en rute, der standses ved. Eksempelvis kan Intercitytog mellem to byer alle have samme standsningsmønster, mens regionaltogene har et andet. Tidsmønstret (TimePattern) beskriver det tidslige forløb langs en rute (f.eks. de relative tider mellem stop på stationer for en S-toglinie med fast minuttal). Tidsmønstret kan også benyttes i forbindelse med frekvensbaserede rutevalgmodeller (Nielsen, 2000). Endelig beskriver modellen den enkelte afgang (Run) med et starttidspunkt og med evt. særskilte attributdata (f.eks. antal togsæt i et vognløb med intercitytog).
- Terminaler (Interchanges) beskriver knudepunkter i det kollektive (organisatoriske net). Som tidligere nævnt kan en terminal bestå af stop og stopgrupper. Derudover indgår skift mellem stop i beskrivelsen af terminalen.
- *Efterspørgsel* er en særlig trafikmodelorienteret gruppe af topologiske elementer. Heri kan bl.a. indgå zoner, terminatorer, der angiver forbindelsen mellem zonen og trafiknettet i form af en særlig zonerelateret knude (terminatoren er en generalisering af den traditio-

nelle centroide fra trafikmodeller), matricer, der angiver trafik fra og til terminatorer og connectors (svarende til standardtrafikmodellens zoneophæng), der angiver en eller flere forbindelser (kanter) fra terminatoren til det fysiske trafiknet.



Figur 4. TOPs overordnede konceptuelle model.



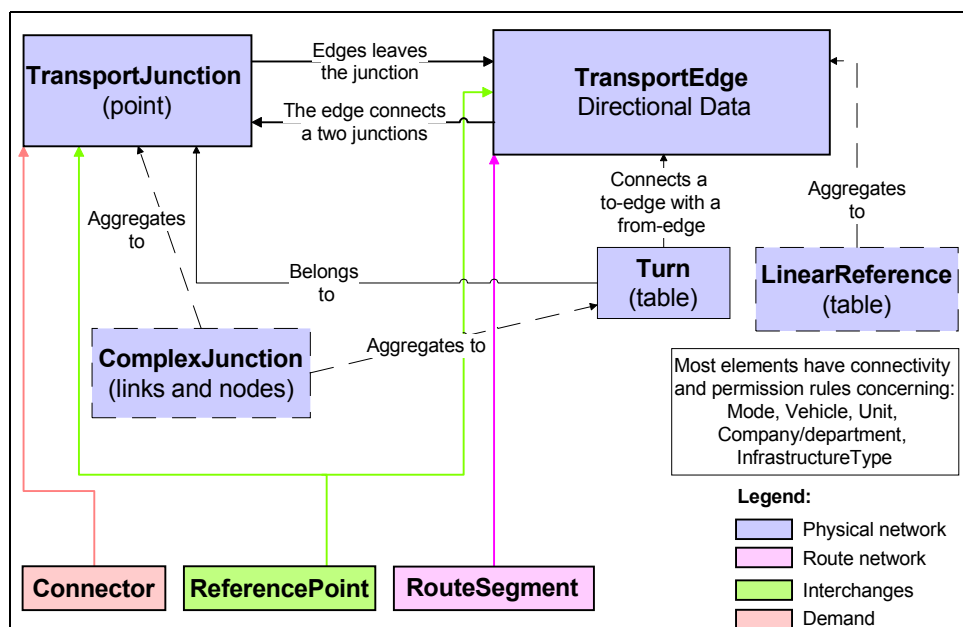
Figur 5. Den samlede konceptmodel for TOP.

I forbindelse med udviklingen af TOPs konceptuelle model blev hovedparten af de konceptmodeller, der benyttes til at beskrive kollektive trafiknet hos danske operatører, trafik-

selskaber og trafikmodelpakker, undersøgt. Derudover blev der skelet til erfaringerne fra EU-projektet BRIDGES. Denne analysefase klarlagde et behov for en række yderligere objekter – især til beskrivelse af terminaler (Interchanges) og efterspørgsel (Demand) – hvorved den samlede konceptmodel blev ret kompleks (jf. figur 5). De enkelte grupper af elementer i TOP beskrives i de følgende afsnit (hvor udsnit er vist i større målestok)<sup>1</sup>.

## 5.2 Det fysiske trafiknet

Det fysiske trafiknet består som nævnt af strækninger og knuder (TransportJunction og TransportEdge på figur 6), samt svingbevægelser (Turn). LinearReference svarer til dynamiske segmentering, der ofte benyttes til at opbevare data



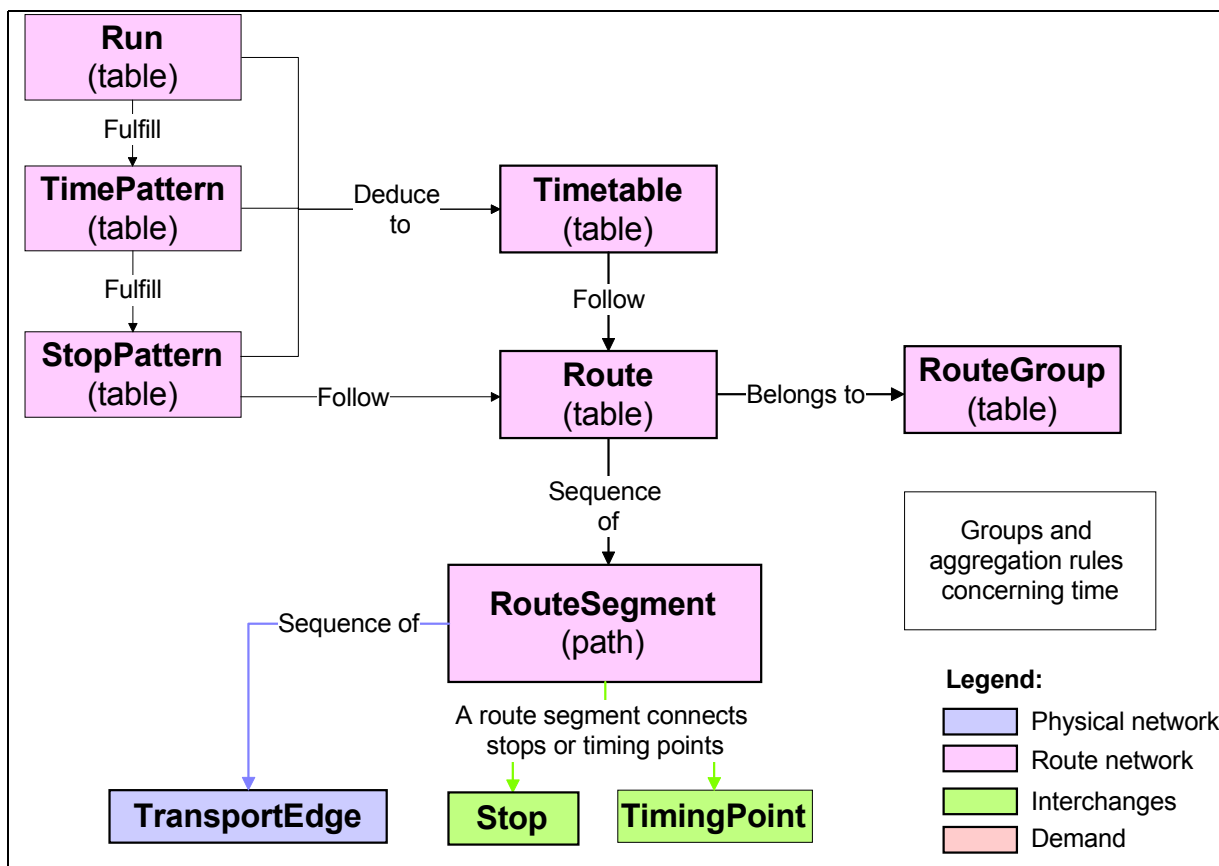
Figur 6. Konceptmodel for fysiske trafiknet.

vedr. vejnet. Dynamisk segmentering benyttes som nævnt ofte som en nødløsning til at beskrive ruter i det kollektive trafiknet. Imidlertid er der i TOP eksplícit objekter hertil, hvorfor den dynamiske segmentering primært tilknyttes TOP for at kunne aggregere data til strækningsniveau.

<sup>1</sup> Det bemærkes, at figurene lettest aflæses ved at hente artiklen fra AUC's hjemmeside og printe dem ud i farver.

### 5.3 Rutenet

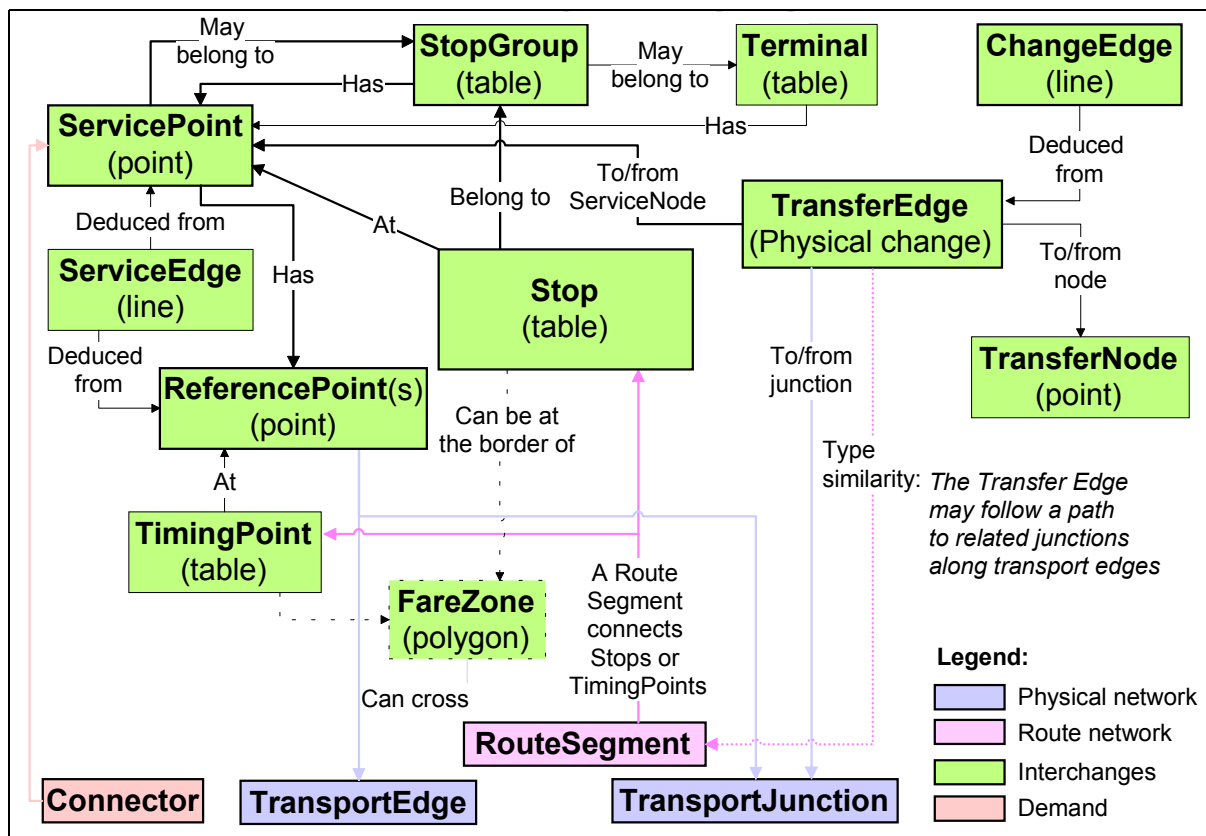
Rutenet består ud over de tidligere beskrevne vognløb (run), tidsforløb (TimePattern) og standsningsmønstre (TimePattern), en række yderligere objekter. Eksempelvis kan køreplaner direkte anføres (Timetable), hvilket er relevant ved stærkt irregulære køreplaner (f.eks. hvor der slet ikke er fast minuttal). Men TOP kan også benyttes til at generere en publikums-køreplan ud fra Run, TimePattern og StopPattern. RouteSegment beskriver det fysiske forløb mellem to stop – f.eks. en sekvens af strækninger og kryds i vejnettet for en buslinie. Rutegrupper benyttes som tidligere nævnt til at håndtere varianter af en bestemt rute – eller tæt knyttede ruter.



Figur 7. Konceptmodel for Rutenet.

### 5.4 Terminaler

Terminaler er den mest komplekse gruppe af objekter. Dette skyldes dels principielle forskelle mellem terminaler for forskellige transportmidler, der alle skal kunne beskrives af en generel model som TOP, dels forskelle mellem de konceptuelle modeller som benyttes af forskellige operatører, trafikkselskaber, planmyndigheder og forskellige typer trafikmodeller.



Figur 8. Konceptmodel for terminaler.

Stoppet er den grundlæggende byggesten i en terminal. Et stop vil altid have en fysisk lokalisering i form af koordinater. Disse kan enten være fælles med en knude i det fysiske net (typisk modellen i "gammeldags" trafikmodelpakker) eller det kan være et selvstændigt digitaliseret punkt. Stoppet har et ServicePoint, som er dets fysiske lokalitet. Dette har et eller flere referencepunkter. Et stop kan f.eks. have referencepunkt på vejens centerlinie, idet busrute afbildes i forhold hertil. Men der kan derudover være forbindelse til f.eks. et gang- og stinet; dvs. et referencepunkt på en anden fysisk strækning. ServiceEdge er den kant, der forbinder ServicePoint med Referencepoint, hvorfor ServiceEdge kan genereres automatisk.

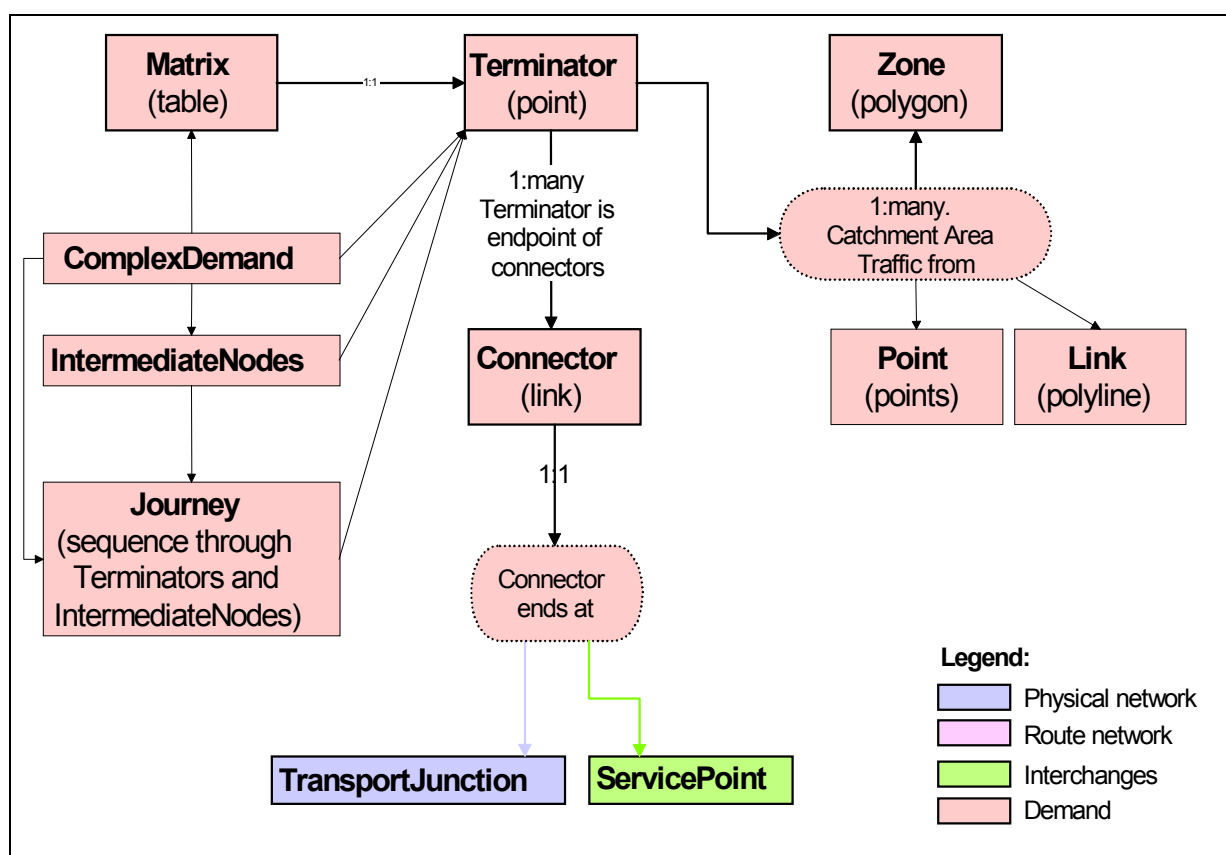
Et TimingPoint er et specielt punkt, der ikke fremgår af publikumskøreplaner, og hvor man ikke kan stige på og af det kollektive trafikmiddel, men som har en koordinat i tid og rum. Nogle busselskaber benytter TimingPoint som støttepunkter til chauffører på regionale ruter samt til at beskrive passage af takstzoner. I toget kan timingpoints være relevante ved krydsnings- og overhalingsstationer, hvor f.eks. gennemkørende tog overhaler langsomme tog eller møder modkørende tog på enkeltsporede strækninger uden at passagerne må stige af og på.

Takstzone (FareZone) er et objekt, der primært har relevans i forbindelse med TimingPoints, idet takstzoner ellers kan opbygges med standard GIS-faciliteter.

En TransferEdge er en fysisk forbindelse mellem to stop. TransferEdges kan genereres automatisk ud fra stoppenes koordinater (repræsenteret ved ServicePoint), men kan også digitaliseres (f.eks. hvis der er tale om længere gangstrækninger). I princippet kan gangnettet i en terminal også opbygges v.h.a. TransferEdges og TransferNodes.

## 5.5 Efterspørgsel

Efterspørgslen beskriver behovet for transport. Terminatoren (generalisering af tidligere modelleres zone-centroide) får trafik fra et opland (catchment), der i princippet kan bestå af alle basale typer GIS-objekter (zoner, punkter f.eks. et storcenter, strækninger f.eks. en bestemt lokalvej, og i princippet også andre typer objekter f.eks. rasterdata). Matricen beskriver trafikken mellem terminatorer, mens connectoren beskriver forbindelsen fra terminatoren til én eller flere knuder (TransportJunctions eller stop) i trafiknettet (svarende til almindelige trafikmodellens zoneophæng). ComplexDemand er et foreløbigt bud på generalisering af matricer – f.eks. til beskrivelse af turkæder for persontrafik eller distribution for godstrafik. Her vil der typisk være mellem-punkter mellem starten og slutningen af den samlede rejse.

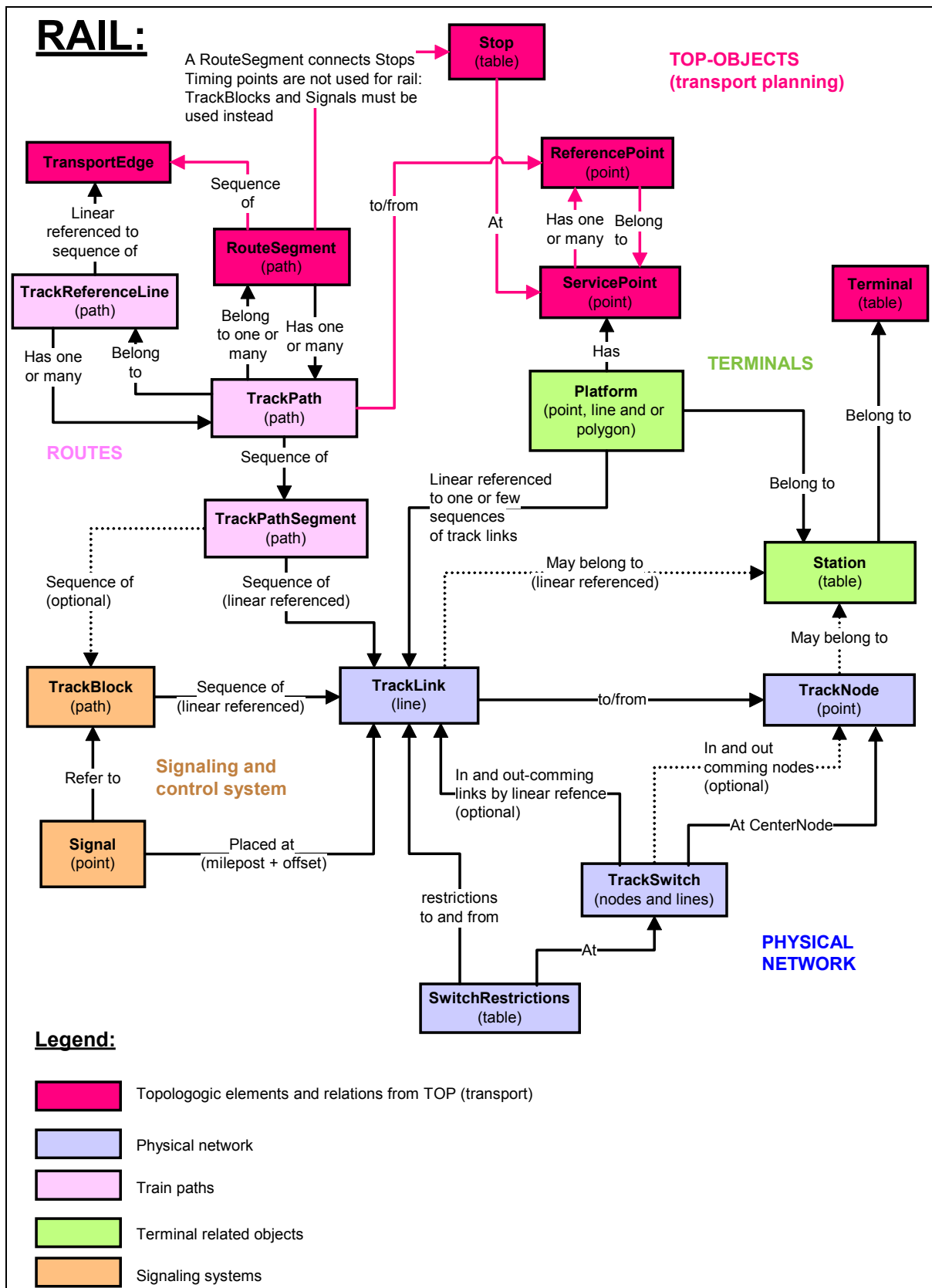


Figur 9. Konceptmodel for efterspørgsel.

## 6 BANEINFRASTRUKTUR (RAIL)

En overbygning til TOP vil på sigt være en speciel jernbanespecifik objektmodel (Rail, jf. figur 10). Andre lign. Sektorspecifikke overbygninger vil ligeledes kunne implementeres på sigt.

Rail tænkes at indeholde en beskrivelse af den fysiske infrastruktur: spor (TrackLink), sporskifter (TrackSwitches), overgangspunkter mellem spor og sporskifter (TrackNode), og svingrestriktioner for gennemløb af sporskifter (SwitchRestrictions).



Figur 10. Konceptmodellen bag Rail.

Signal og kontrolsystemet tænkes i sin simpleste form beskrevet med blokke, der er en sekvens af spor-elementer, og signaler. Signalerne er placeret langs sporene med en stationering og et offset.

Togveje (TrackPath) beskriver tilladte ruter gennem sporarealer v.h.a. segmenter (TrackPathSegment), der således er ”byggestenen” til sporveje. ReferenceLinien for en bestemt banestrækning er den centerlinie, der kan aggregeres til TransportEdges i TOP. Herved forbindes Rail's meget detaljerede infrastrukturbeskrivelse til den mere planlægningsorienterede beskrivelse i TOP. Tilsvarende vil der være en ret kompleks relation mellem RuteSegmenter i TOP og togveje.

På stationer beskriver Platform selve perronerne, der også har en reference til sporene langs perronen. Perronen tilhører en station. Stationen kan ud over perroner og spor langs disse rumme yderligere spor, sporskifter og sporknuder (f.eks. rangerareal). Perronen refererer til TOP via Stops' Servicepoint, mens stationer tilhører en terminal. Derved er det muligt at forbinde Rail og det mere aggregerede TOP, også hvad angår terminaler.

## 7 AFRUNDING

Artiklen har beskrevet intentionerne med Transportation Object Platform (TOP) i Banestyrelsen.

Med disse muligheder er det muligt at bygge langt mere komplekse topologiske modeller for trafiknet end hidtil. Derved undgås de mange proprietære løsninger for data og modeller, som dagens praksis og forskning lider af. TOP vil således reducere inkonsistens i data, og vil være en platform til at opbygge mere avancerede værktøjer til redigering, visualisering og analyse af transportdata.

I praksis vil TOP kunne støtte og lette arbejdet i offentlige trafiksselskaber, operatører trafikplanmyndigheder og andre organisationer, der arbejder med infrastruktur og trafikmodellering.

Men derudover muliggør TOP's generelle og åbne model kombineret med større topologisk kompleksitet, at der kan implementeres mere avancerede løsningsalgoritmer – f.eks. rutevalgmodeller – end det er tilfældet i dag. Dette har forskningsmæssig interesse – f.eks. for Center for Trafik og Transportforskning på DTU. Og afledt deraf interesse for praksis, der på sigt vil få adgang til mere avancerede trafikmodeller.

## 8 REFERENCER

Nielsen, Otto Anker, Israelsen, Thomas & Nielsen, Erik Rude (1998a). *BRIDGES TO GIS – Methodology*. Deliverable D5 & D6. BRIDGES Contract No PL96-1138. Project funded by EU, DG7, 4<sup>th</sup> Framework Programme.

Nielsen, Otto Anker; Thomas Israelsen, Erik Rude Nielsen (1998b). Håndtering af trafikmodellen i GIS; konflikter-, løsninger- og anvendelser. *Trafikdage på AUC*. Konference rapport, bind 1, s. 143-158.



Nielsen, Otto Anker; Dorte Filges, Anders Kaas, Per Thorlacius, Thomas Israelsen, Erik Rude Nielsen, Bo Grevy & Jens Brix (1999). København-Ringsted modelkomplekset – fra togsimulering til samfundsøkonomi. *Trafikdage på AUC*. Vol. 1, s. 483-494.

Nielsen, O. A. (2000). Udvikling af rutevalgmodeller – Fra heuristisk til metodisk grundlag. Prispaper, præsenteret ved *Trafikdage på AUC*. Supplementsbind.

Thorlacius, Per. (1998). Time-and-Space Modelling of Public Transport Systems Using GIS. *Trafikdage på AUC*.