Planlægning og optimering af logistiske problemstillinger i et kulturelt divergent miljø

April 2004

Britt Ottesen (s011972) Louise Tranberg (s973617)

Informatik og Matematisk Modellering
René Victor Valqui Vidal

Forord

Dette projekt er resultatet af vores samarbejde med transport- og logistikvirksomheden DHL.

At udarbejde et speciale er et projekt, hvorigennem man oplever mange forskellige følelser. Når man som vi vælger at udarbejde specialet i samarbejde med en virksomhed, oplever man frustrationer over, at tingene nogle gange tager meget længere tid, end man havde forventet. Men man oplever også, at det arbejde, man udfører, giver mening, og at de medarbejdere, som man taler med, sætter pris på, at nogen interesserer sig for deres arbejdssituation, og derfor er de villige til at indgå i dialog omkring temaerne i projektet.

Specialet markerer også afslutningen på et langt studium og overgangen fra at være studerende til at blive ingeniør. Det er derfor lidt vemodigt at aflevere specialet, men vi har haft et meget positivt projektforløb, som vi med garanti vil tænke tilbage på med glæde.

Vi vil gerne sige tak til vores vejleder docent, dr.techn. Victor Vidal, som har været hjælpsom med kritik, gode idéer og inspiration undervejs i forløbet.

Herudover vil vi gerne sige tak til DHL og de mange medarbejdere, som vi undervejs i projektet har haft kontakt til.

Endelig skylder vi en stor tak til de undervisere på DTU, som vi i projektperioden har kunnet trække på, samt familie og venner for deres hjælp og tålmodighed med os undervejs i projektet.

Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby, medio april 2004.

Britt Ottesen, s011972

Louise Tranberg, s973617

Abstract

By the use of multimethodology and in cooperation with a company the authors of this thesis deal with planning, handling and solving an actual problem in relation to the location of facilities.

In the beginning of the report we describe the obejctive for the thesis, the company involved and the theory behind the methods as well as the tools used.

Then we describe a three stage approach: (1) the collecting of basic knowledge of the company, (2) the mathematical modeling and the solving of a test example and (3) the planning and holding of workshops for some of the employees of the company.

The three stage approach provides us with a number of results that form the basis for working out plans of action. Furthermore, it represents seven central fields of problems upon which the excecutive management of the company is advised to focus in order to implement changes in the company.

Finaly, we evaluate the project developement, the use of methods and the results in relation to the basic objective of the thesis.
Through our work with this project we find that multimethodology is a suitable method for handling the problem under consideration, and the work undertaken during this project results in a number of concrete plans of action and guidelines which may provide food for thought for the excecutive management.
Furthermore, it may be concluded that multimethodology is an approach with a large potential, as there are many other issues in the company to be delt with.

Keywords: case study, logistics, multimethodology, optimization, workshop.

Resume

Dette projekt omhandler planlægning, håndtering og løsning af en konkret virksomhedsproblemstilling omkring terminalplacering ved brug af multimetodologi.

I rapporten beskrives indledningsvis målet for projektet, virksomheden og teorien bag de i projektet anvendte metoder og værktøjer.
Herefter kommer vi frem til en tredelt håndteringsproces bestående af (1) indsamling af basisviden om virksomheden, (2) matematisk modellering og løsning af et testeksempel og (3) planlægning og afholdelse af workshops for medarbejdere i virksomheden.
Gennem den tredelte håndteringsproces når vi frem til en mængde resultater, der danner basis for udarbejdelse af handlingsplaner og bl.a. repræsenterer syv centrale problemområder, hvor virksomhedens ledelse bør sætte ind og gennemføre forandringer i organisationen.

Afslutningsvis evalueres projektforløbet, anvendelsen af metoder og resultaterne i forhold til målsætningen.
I projektet finder vi frem til, at multimetodologi er en velegnet metode til håndtering af den betragtede problemstilling, idet projektarbejdet resulterer i en række konkrete handlingsplaner og anvisninger, der kan give stof til eftertanke for virksomhedens ledelse.
Vi kan desuden konkludere, at multimetodologi er en tilgangsvinkel med et stort potentiale, og at der i virksomheden er mange yderligere projektområder, der i fremtiden kan arbejdes videre med.

Nøgleord: logistik, multimetodologi, optimering, virksomhedscase, workshop.

Indhold

Kapitel 1

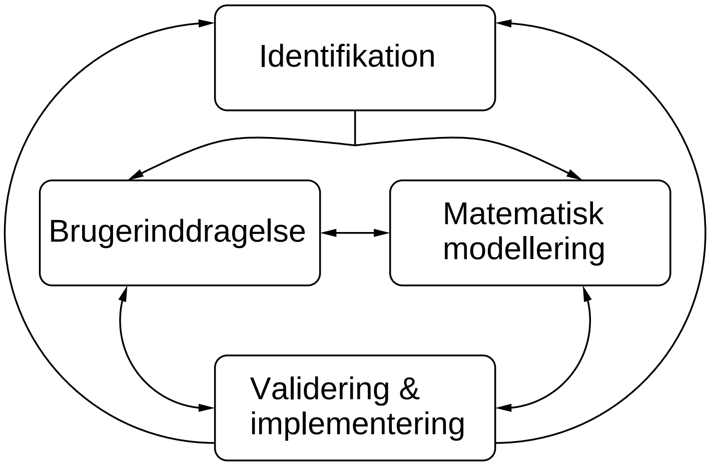
Indledning

Dette projekt er udarbejdet i samarbejde med transport- og logistikvirksomheden DHL. Udgangspunktet for projektet er et konkret lokaliseringsproblem vedrørende antallet og placeringen af terminaler til godshåndtering i Vestdanmark. Ved brug af multimetodologi udvides problemstillingen dog til at omfatte distribution af godset samt inddragelse af bløde menneskelige faktorer.

Konkurrencen i transportbranchen er stor, og virksomhederne må for at tilpasse sig kundernes ønsker og behov til stadighed udvikle sig. I en dynamisk verden består en stor udfordring for virksomheder i at sætte sig i stand til at træffe kvalificerede beslutninger i den situation, de står i således, at virksomhedens ressourcer udnyttes bedst muligt.

DHL er en global virksomhed, men også en central spiller på det danske logistik- og transportmarked med et landsdækkende netværk og afdelinger over hele landet. Der er i DHL i løbet af de sidste år sket store forandringer i form af opkøb og fusioner med andre virksomheder. Derfor består en af de store udfordringer i dag i at få integreret de opkøbte og fusionerede virksomheder. De store forandringer i virksomheden medfører mange situationer, hvor beslutninger skal tages ud fra sparsom information og indsigt. Da virksomheden endnu ikke er kommet helt på plads efter de mange omvæltninger og derfor stadig er i en omstillingsperiode, er der mulighed for forandringer på næsten alle områder, det være sig organisatoriske såvel som produkt-, layout- og personalemæssige.

Som kommende ingeniører behersker vi både en teoretisk og en pragmatisk tilgang til problemhåndtering. Da vi har valgt at arbejde med en konkret og virksomhedsrelateret problemstilling, lægges der i dette projekt i højere grad vægt på den pragmatiske fremfor den mere teoretiske tilgang til problemhåndtering. Vi går derfor ikke ind i længere teoretiske diskussioner omkring forskellige termers oprindelse eller betydning. Ved brug af teoretiske termer redegør vi for vores forståelse af disse, og hvorfor vi finder dem velegnede til at beskrive den konkrete problemstilling. Ligeledes forklarer vi kort baggrunden for de metoder, som vi vælger at anvende, samt argumenterer for deres egnethed i forbindelse med vores problemhåndtering.



Figur 1.1: Generel tilgang til problemløsning. De enkeltrettede pile angiver retning og muligheden for, at man altid kan gå tilbage til en tidligere fase og f.eks. omdefinere problemstillingen. Dobbeltrettede pile f.eks. mellem brugerindragelse og matematisk modellering angiver den interaktion, der finder sted på dette niveau.

Overordnet set beskriver figur 1.1 den generelle tilgang til problemløsning, som vi ønsker at anvende. Den tilgang, som er beskrevet i figuren, danner udgangspunkt for vores anvendte problemtilgang, som senere beskrives mere detaljeret.

Rapporten er opbygget således, at vi i kapitel 2 redegør for vores mål for rapporten. I kapitel 3 beskrives virksomheden og dens historie. Med udgangspunkt i virksomhedens lokaliseringsproblem beskrives i kapitel 4 de metoder, som vi finder egnede til belysning af problemstillingen eller dele deraf.
I kapitel 5 redegør vi for håndteringen af problemstillingen, som vi foretager i tre dele, der hver især behandles i kapitlerne 6, 7 og 8 (Basisviden om virksomheden, Matematisk modellering og Workshops). I de respektive kapitler beskrives design af metode, valg og afgrænsninger samt resultaterne af problemhåndteringen.
I kapitel 9 samles op på de opnåede resultater, og i kapitel 10 udarbejdes en række handlingsplaner, som bl.a. kan give stof til eftertanke for ledelsen af DHL.
Kapitlerne 11, 12 og 13 indeholder hhv. diskussion, konklusion og perspektivering på vores arbejde.
Til rapporten hører en række bilag, som er præsenteret i et bind for sig selv. Der vil undervejs i rapporten blive henvist til disse bilag for yderligere information. Vi vil allerede nu henvise til bilag A, hvor vi giver en kronologisk beskrivelse af de for projektet og vores proces vigtigste begivenheder.

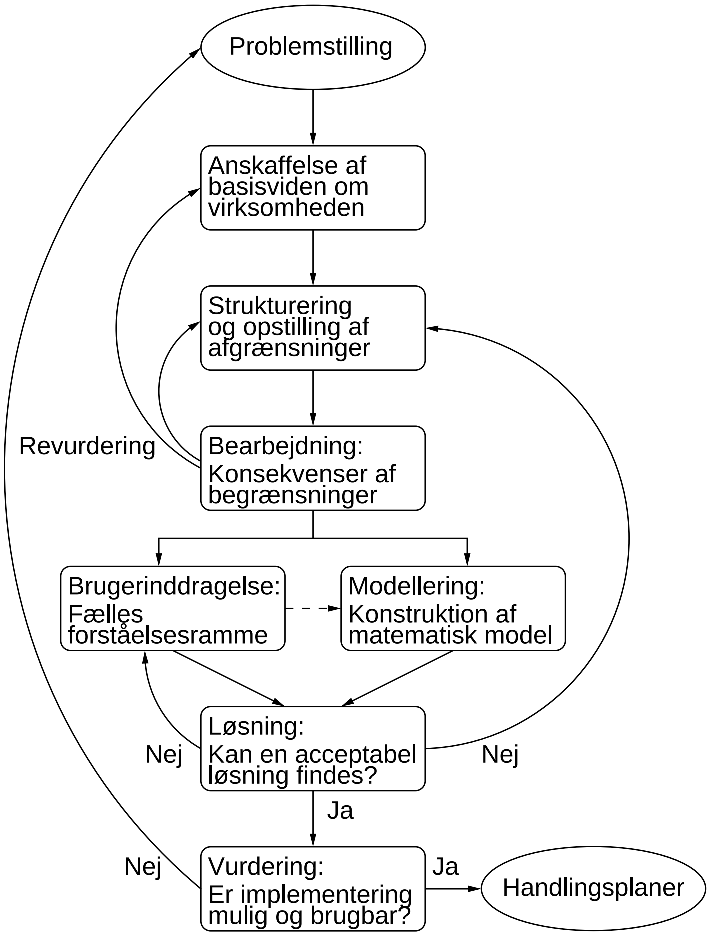
Kapitel 2

Rapportens mål

Vores mål er gennem en kombination af forskellige hårde og bløde operationsanalytiske metoder at sætte os i stand til at håndtere og belyse de mange forskellige aspekter, der er knyttet til den problemstilling, vi samarbejder med DHL omkring. Vi vil desuden forholde os kritisk til problemstillingen samt benytte en række kreative redskaber i de delprocesser, hvor vi finder det hensigtsmæssigt. Vores tilgang er således i hver fase af problemhåndteringen at benytte de metoder og redskaber, som vi finder bedst egnede til de specifikke delprocesser.

Vi har gennem arbejdet med de forskellige operationsanalytiske metoder erfaret, at hvor de ofte hver især er ufuldstændige, kan man ved at lade dem supplere hinanden opnå mere holistiske og dermed brugbare resultater. Ved benyttelse af hård operationsanalyse kommer man pga. det kvantitative fokus ofte frem til løsninger, der ikke afspejler virkelighedens mange menneskelige (sociale, politiske m.v.) faktorer, ligesom brug af blød operationsanalyse alene kan give et ufuldstændigt billede af virkeligheden, idet den med sit fokus på subjektivitet sjældent leder frem til målbare resultater.
De grænseområder, der opereres med ved brug af hhv. hårde og bløde operationsanalytiske metoder, gør, at de supplerer hinanden ved at afdække forskellige aspekter og tage hånd om forskellige fokusområder. Vi mener derfor, at en kombination af de to løsningstilgange vil være et hensigtsmæssigt valg til løsning af virkelige og komplekse problemstillinger.

Figur 2.1 viser en oversigt over de forskellige fremgangsmåder og deletaper, vi overordnet vil inddrage i vores problemhåndteringsproces.



Figur 2.1: Grafisk præsentation af vores bud på forskellige delprocesser og deres indbyrdes forhold. De fuldt optrukne pile angiver rækkefølgen på de forskellige faser, med undtagelse af de steder, hvor der svares hhv. ja eller nej i en tvivlssituation. Den stiplede pil mellem brugerinddragelses- og modelleringsfasen angiver påvirkning/indflydelse.

Udgangspunktet er en problemstilling fra problemhaveren. Indledningsvis skal man skaffe sig mere information omkring de faktorer, der spiller ind i problemsituationen, samt få en basisviden om virksomheden og de relevante aktører, der er til stede.
Herpå skal man gennem en struktureringsproces, hvor man forsøger at afklare, hvad der er det essentielle i problemsituationen: "Hvad ved vi nu, og hvor vil vi hen?" Her sættes rammerne for det arbejde, man skal udføre, dvs. grænseområdet opstilles.
Efterfølgende bearbejdes problemsituationen, idet konsekvenser af de begrænsninger, man har opstillet i forrige fase, overvejes. Det kan være, at man må gå tilbage og revurdere sin strukturering, eller at man må skaffe mere basisviden om virksomheden, hvis der opstår et behov for det i bearbejdningsfasen.
Efterfølgende kan man vælge at benytte bløde operationsanalytiske metodikker til brugerinddragelse, opbyggelse af en fælles forståelsesramme og problemafklaring, mens man sideløbende benytter hårde operationsanalytiske metoder til at håndtere den kvantitative del af problemstillingen. Når man udarbejder en matematisk model over pro-

blemet, kan gruppeprocessen have indflydelse, idet man kan bruge den viden, som man får ud af at inddrage brugerne.
Endelig skal der ud fra resultaterne af hhv. de hårde og bløde metoder findes en løsning, som vurderes i forhold til en række kriterier. Er den fundne løsning acceptabel, skal denne vurderes i forhold til mulig implementering. I disse faser skal man muligvis igen gå tilbage og revurdere nogle af de tidligere etaper, inden man kan fortsætte. Til sidst i forløbet udarbejdes de konkrete handlingsplaner.

Der foregår typisk data- og informationsindsamling i et vist omfang i stort set alle delprocesser, idet man gennem øget indsigt i problemstillingen, de berørte personer og de fora, man opererer i, også bliver opmærksom på, at man til stadighed mangler viden for at varetage endnu flere og før ukendte områder af problemsituationen. Det er derfor også vigtigt at sætte grænser for, hvad man vil inddrage, da man kan blive ved i det uendelige, hvis man vil varetage alle detaljer og aspekter i virkelige problemstillinger.

Det overordnede mål for dette projekt er således gennem brugerinddragelse og løsning af en matematisk model for lokaliseringsproblemet at udarbejde konkrete handlingsplaner til DHL, som kan forbedre virksomhedens nuværende struktur - både logistisk og samarbejdsmæssigt. Ved at benytte en kombination af forskellige metoder og problemtilgange vil vi søge at inddrage og belyse de mange aspekter i og omkring problemstillingen og dermed sætte os i stand til at udarbejde helhedsorienterede resultater.

Kapitel 3

Virksomhedsbeskrivelse

I dette kapitel præsenteres virksomheden DHL Worldwide Express med en introduktion til historie, strategi og produkter samt det umiddelbare indtryk, vi har dannet os på baggrund af vores møder med medarbejderne og besøg på virksomheden. Til sidst i kapitlet præsenteres den konkrete opgave, som vi fra ledelsen i DHL i starten af projektforløbet blev stillet.

3.1 Historie

DHL Worldwide Express blev i 1969 grundlagt af Adrian **D**alsey, Larry **H**illblom og Robert **L**ynn, hvis initialer udgør navnet på virksomheden. De tre personer skabte en helt ny industri, da de startede dør-til-dør ekspresservice mellem San Francisco og Honolulu. Siden grundlæggelsen er der gennem årene sket mange ændringer med udvidelse af produktområder, fusioner samt opkøb af andre logistik- og transportvirksomheder.
Den 31. marts 2003 skete der en sammenlægning af DHL Worldwide Express og transportvirksomheden Danzas. Fra denne dato har begge virksomheder i de nordiske lande opereret under navnet DHL Express Nordic. I en pressemeddelelse udsendt d. 31. marts 2003 kan man læse, at DHL Express Nordic i alt har 7.900 ansatte og over 10.500 transportmidler, hvorved virksomheden har det bredeste udbud af transport- og logistikløsninger i Norden.
DHL Ekspress Nordic er en del af det globalt dækkende netværk for DHL Worldwide Express, som er repræsenteret i over 228 lande. Det, at virksomheden er verdensdækkende sammenholdt med den teknologiske udvikling, giver dem i dag mulighed for at kunne tilbyde kunderne høje sikkerhedsstandarder og god kontrol med forsyningskæden [19].

3.2 Ejerskab og strategi

DHL Worldwide Express ejes i dag af Deutsche Post World Net, som har en strategi om at forene alle fusionerede og opkøbte virksomheder inden for logistik under det fælles navn DHL Worldwide Express [19]. I deres strategi indgår et ønske om i Norden at

opkøbe og integrere det bedste fra tre forskellige verdener: DHL's Worldwide Express-produkter, Deutsche Post's Euro Express-produkter og Danzas' godsprodukter. DHL var med Worldwide Express nr. 1 på verdens ekspresmarked, Deutsche Post var med Euro Express nr. 1 på det europæiske B2B (buisness to business)-marked og Danzas nr. 1 inden for *Air & Ocean*- samt godstransport i Europa [18].
Den lagte strategi har også medført ambitiøse mål om, at man inden år 2005 skal have øget profitten med 40%, hvilket også vil have indflydelse på de danske afdelinger. Der er derfor iværksat adskillige projekter, hvis implementering kræver store omvæltninger i organisationen og virksomhedskulturerne.

3.3 Organisation

Siden januar 2003 har den nuværende organisation fungeret under samme ledelse, selvom sammenlægningen først skete pr. 31. marts 2003 [19]. I den tid, vi har samarbejdet med DHL, har virksomheden været under konstante forandringer. Et organisationsdiagram vil derfor blot give et øjebliksbillede og ikke fortælle, hvordan organisationen vil se ud i næste uge. Direktøren i DHL Express Nordic har siden sammenlægningen været den tidligere direktør fra transportvirksomheden Danzas. Da vi i denne rapport primært beskæftiger os med de danske afdelinger, vil vi fremover bruge betegnelsen DHL for den danske del af DHL Worldwide Express.

Man har i DHL sammensat en ledelsesgruppe med navnet Danmeg (den danske *management executive group*) bestående af cheferne fra de forskellige funktionelle områder. Ledelsesgruppens poster er ligeligt fordelt mellem medarbejdere fra det tidligere Danzas og det tidligere DHL.

Fra det tidligere Danzas har DHL i dag terminaler i byerne: Brøndby, Odense, Aalborg, Stilling, Esbjerg og Padborg. Fra det tidligere DHL er der kurerafdelinger i hhv. Vallensbæk (hvor også hovedadministrationen ligger), Kastrup, Odense, Aalborg, Herning, Stilling og Kolding.

3.4 Virksomhedsrelaterede ord

I løbet af rapporten og specielt i bilagene bruges en række ord, som er knyttet til virksomheden, enten fordi de er fagudtryk, eller fordi de bliver brugt af medarbejderne i DHL. Vi forsøger undervejs i rapporten at forklare ordene, idet de benyttes. Desuden har vi udarbejdet en oversigt over virksomhedsord, afdelinger og kontaktpersoner, som kan ses i bilag B.2.

I projektet vil fokus blive lagt på de produkter og ydelser, der stammer fra det tidligere Danzas. Som slangudtryk benytter medarbejderne ordene "den gule del" for det tidligere Danzas og "den røde del" for det tidligere DHL. De bygninger, hvor det tidligere Danzas håndterer deres gods, kaldes for terminaler, mens de bygninger, hvor det tidligere DHL håndterer deres forsendelser, kaldes for stationer.

3.5 Produkter

Produkterne i DHL er gods og pakker i alle størrelser, der med de bedst egnede transportmidler afhentes og leveres i stort set hele verden. Godset leveres efter kundens ønske inden for aftalte tidspunkter. Produkterne kan groft deles op i kurer- og godsprodukter.
Kurerprodukter, der stammer fra det tidligere DHL, dækker over ekspreslevering af dokumenter og mindre pakker, hvor import og eksport sker via flytransport. Derfor er der krav om tjek af sikkerheden og indholdet i forsendelserne, inden produkterne transporteres til lufthavnen. Afhentning (*pick up*) og levering (*delivery*) af kurerprodukterne foretages i varevogne eller mindre lastbiler af medarbejdere, der kaldes kurerer.
Godsprodukter, som stammer fra det tidligere Danzas, dækker over transport af større forsendelser og foretages med hænger eller trailer (lastbiler). Afhentning eller levering kan dog foregå med andre og mindre transportmidler, som i fagsprog kaldes distributionsbiler. Den fysiske afhentning og levering af godsprodukterne foretages af vognmænd, mens planlægningen af transporterne foretages af disponenter.

3.6 Kontaktpersoner

Vores indgang til virksomheden skete gennem chefen for afdelingen *Operations*, som også sidder i Danmeg-ledelsesgruppen i DHL. Efter et indledende møde gav han ansvaret for vores projekt videre til to af sine medarbejdere: lederen af afdelingen *Programs* og en medarbejder fra afdelingen *Human Resources*.
Senere blev de to medarbejdere travlt optaget af interne projekter[1], og vores daglige virksomhedskontakt blev derfor en ansat fra afdelingen *Programs*. Gennem disse tre personer har vi i løbet af projektperioden fået et bredt netværk af kontakter i de forskellige dele af virksomheden. De har alle været medvirkende til, at vi kunne få data og informationer, som har givet os den nødvendige viden om virksomheden til udarbejdelsen af denne rapport.

3.7 Opgaven fra DHL

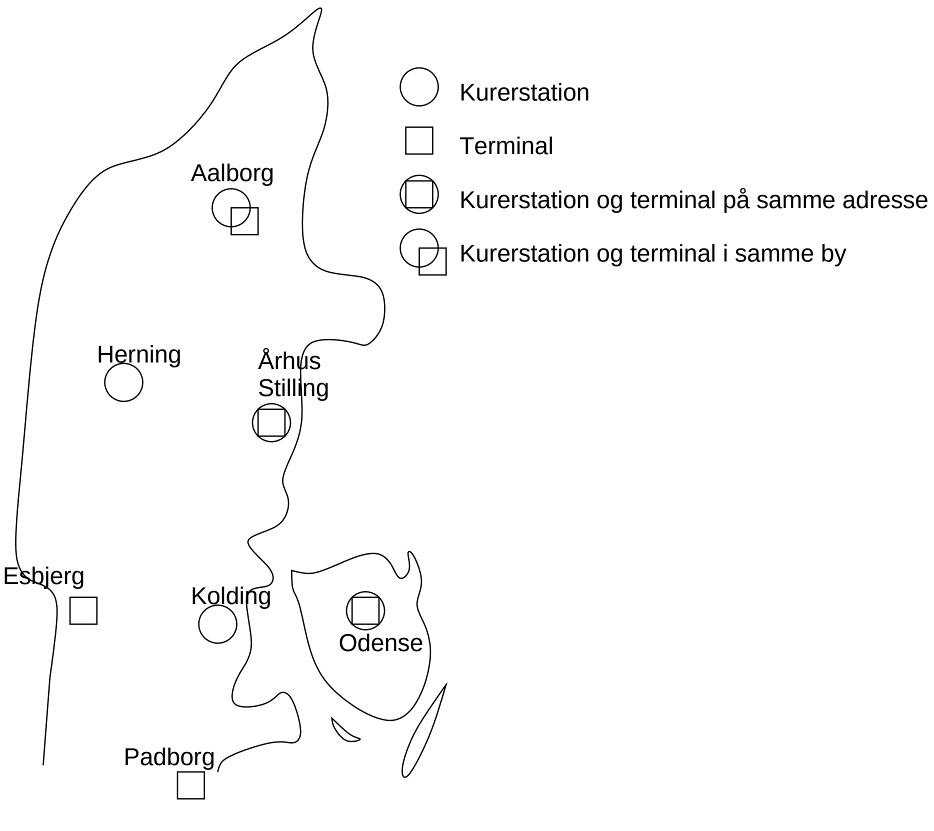
Virksomheden er inde i en forandringsfase og har derfor naturligt mange spørgsmål, der skal tages stilling til, og som de ønsker besvaret. På vores første møde med virksomheden blev vi præsenteret for fem forskellige områder, som vi kunne vælge at arbejde med. Det spørgsmål, vi i samråd fandt frem til ville være et aktuelt emne for virksomheden og samtidig interessant for os at arbejde med, var: "Hvor mange terminaler skal DHL have, og hvor skal disse placeres?" På Sjælland er der kun én terminal, som er placeret

[1]En af de virksomheder, der tidligere indgik under navnet DHL, var Apost, som pr. 3. november 2003 overgik til Post Danmark. Vi beskæftiger os ikke med Apost-delen, men den har haft betydning for den tid, som vores kontaktpersoner og medarbejderne i DHL i efteråret har kunne afsætte til at deltage i vores projekt.

i Brøndby, og derfor blev spørgsmålet af ledelsesrepræsentanterne fra DHL afgrænset til:

"Hvor mange terminaler skal DHL have i Vestdanmark, og hvor skal disse placeres?"

Dette lokaliseringsproblem er derfor udgangspunktet for vores projektforløb og tilgang til virksomheden. I figur 3.1 ses placeringen af de nuværende terminaler og kurerstationer i Vestdanmark.



Figur 3.1: Oversigt over de nuværende terminaler og kurerstationer i Vestdanmark.

Kapitel 4

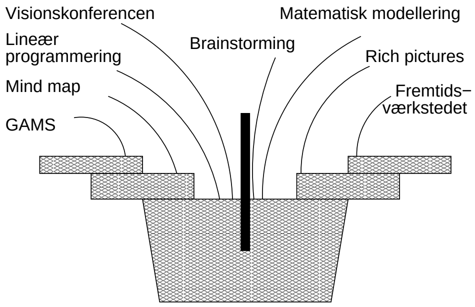
Metoder

Dette kapitel indeholder en gennemgang af de forskellige teoretiske begreber, som vi i rapporten gør brug af samt de metoder, vi finder relevante og i større eller mindre grad benytter i projektet. Kapitlet repræsenterer således en divergens i forhold til håndteringen af den problemstilling, vi som udgangspunkt behandler for DHL: "Hvor mange terminaler skal DHL have i Vestdanmark, og hvor skal disse placeres?"
Indledningsvis gives en introduktion til vores motivation for at anvende kombinationer af forskellige metodikker/metoder, og en række essentielle begreber og koncepter inden for feltet introduceres. Herefter gives en beskrivelse af hhv. hårde operationsanalytiske metoder, bløde operationsanalytiske metodikker, kritiske og kreative tilgange, og sluttelig diskuteres kort begrebet multimetodologi, som er det centrale element i vores metodiske håndtering af den betragtede problemstilling.

4.1 Introduktion

En af de store udfordringer i forbindelse med håndtering og løsning af problemer er valg af tilgangsvinkel, metoder og værktøjer. Der er givetvis problemstillinger, der udemærket kan løses ved brug af hårde metoder alene (eksempelvis ved løsning af en matematisk model), og tilsvarende problemer, der kan løses tilfredsstillende ved udelukkende at benytte en blød tilgang.
Det er dog vores hypotese, at helhedsorienterede og brugbare resultater bedst nås ved en kombination af forskellige metoder og problemtilgange. Vi forventer, at kombinationen af forskellige bløde og hårde operationsanalytiske metoder til håndtering af en virkelig problemstilling vil resultere i mere helhedsorienterede handlingsplaner til virksomheden og give os en mere dybdegående indsigt i brugen af forskellige problemtilgange samt begrænsninger ved vores tilgangsvinkel.
Når vi omtaler hhv. hårde og bløde operationsanalytiske metodikker/metoder, benytter vi som udgangspunkt beskrivelser fra de kilder, der henvises til. Dette gælder også for andre begreber, vi anvender i rapporten. Hvis vi benytter ord, som kan dække over forskellige begreber, gør vi opmærksom på vores brug af ordet. I afsnit 4.2 gives en redegørelse for de centrale begreber i rapporten.
Mange af de metoder og værktøjer, vi benytter i projektforløbet, kan anvendes både

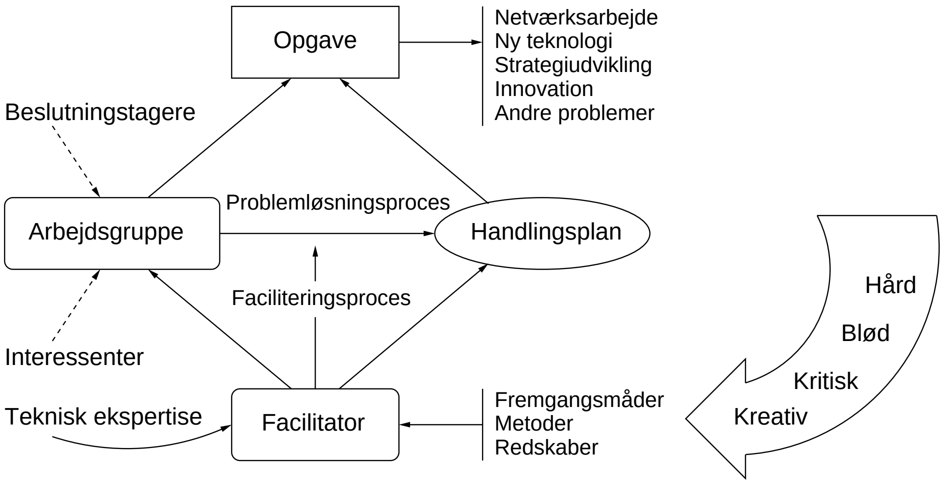
som hårde og bløde tilgangsvinkler, mens nogle kun kan bruges til den problemtilgang, de har basis i. Formålet med denne rapport er ikke at gå ind i en diskussion omkring kategorisering af forskellige metoder og deres anvendelsesområder. Vi har en pragmatisk og ingeniørmæssig tilgang til problemhåndteringen, således at vi tager de redskaber fra vores værktøjskasse, vi finder bedst egnede til håndtering af de forskellige elementer i problemstillingen, idet vores erfaring opnået gennem studiet viser, at det sjældent er muligt at håndtere realistiske problemer i en foranderlig verden ved brug af begrænsede værktøjer og snævre tilgangsvinkler.



Figur 4.1: Den pragmatiske tilgang til, hvor relevante redskaber fra værktøjskassen anvendes.

4.2 Koncepter og begreber

På figur 4.2 ses en række centrale koncepter og begreber i forbindelse med problemløsning. Med udgangspunkt i denne grafiske præsentation af sammenhængen mellem de mange forskellige elementer i en erkendelse, forståelse og/eller løsning af en problemsituation vil vi i de følgende afsnit beskrive de centrale begreber, som benyttes i stor udstrækning gennem dette projekt.

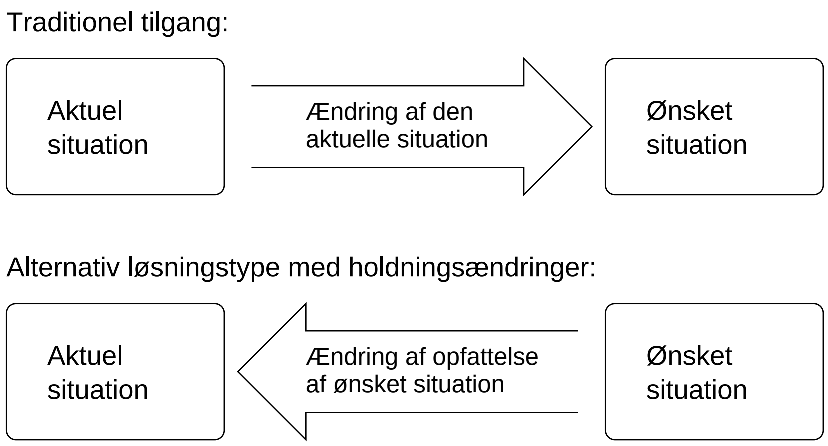


Figur 4.2: Holistisk problemløsning, frit oversat efter [13].

4.2.1 Problemer og løsninger

Vi benytter i denne rapport ofte ordene **problem** og **løsning**. Generelt og bredt formuleret kan man sige, at der foreligger et problem, når en aktuel situation ikke stemmer overens med en ønsket situation. En løsning på det foreliggende problem er et middel, som kan bringe den nuværende situation i overensstemmelse med den ønskede situation. Det er en almindelig opfattelse, at en sådan løsning derfor bringer de berørte personer nærmere den ønskede situation, således at udgangspunktet for problemet ændres, men en løsning kan ligeledes være en ændring i opfattelsen af den ønskede situation, således at denne flyttes nærmere den aktuelle situation [4].
En alternativ tilgang til problemløsning er at se på hele situationen omkring en problematisk og/eller konfliktfyldt situation, et såkaldt *mess*. I vores tilfælde er der som udgangspunkt ikke tale om et *mess*, men derimod et klart defineret problem stillet af virksomheden, som vi ved hjælp af brugerinddragelse søger at udvide til også at omfatte kvalitative aspekter [13].

I figur 4.3 ses princippet i de to overordnede måder at løse problemer på. Det er naturligvis også muligt at løse problemer som en kombination af de to tilgange.



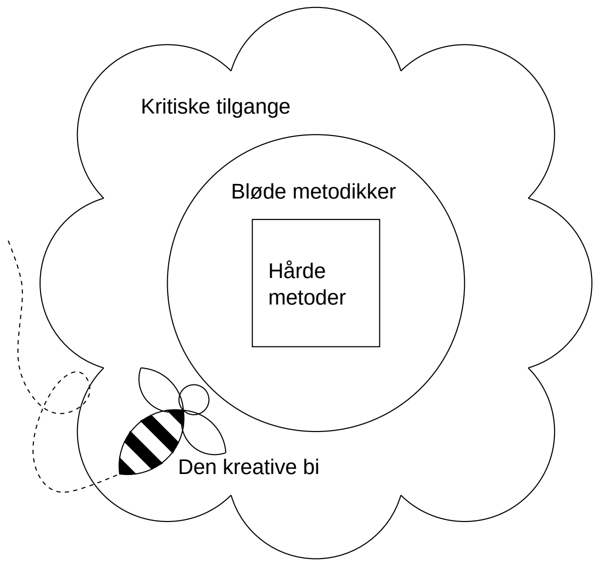
Figur 4.3: Forskellige typer løsninger til problemer.

I forbindelse med den matematiske tilgang, er det hovedsageligt den første løsningstype, der tages i betragtning, idet den anden oftest repræsenterer holdningsændringer, hvilket typisk ikke inddrages ved brug af hårde operationsanalytiske metoder [4]. I forbindelse med den bløde operationsanalytiske tilgang kan begge løsningstyper anvendes.

4.2.2 Problemtilgange

Problemtilgange repræsenterer en måde at betragte verden på samt et afgrænset område af elementer og faktorer. Man kan beskrive problemtilgange som dækkende over en kombination af antagelser og en filosofisk forståelse af og holdning til begreber som eksistens, viden og etik. Overordnet set siger problemtilgangen, **hvorfor** man skal gribe problemer an på en given måde, mens man til sammenligning kan sige, at metodologier specificerer, **hvad** der skal gøres, og en metode (eller hvis mere specifikt, en teknik) giver den mere præcise fremgangsmåde for, **hvordan** man skal gribe problemet an [5].

Der opereres overordnet med fire problemtilgange: hård, blød, kritisk og kreativ. Den hårde og den bløde operationsanalytiske tilgangsvinkel kaldes under ét for den rationelle tilgang. De repræsenterer hhv. den kvantitative og den kvalitative måde at håndtere problemstillinger på. Blandt rationelle metoder kan nævnes simulering og optimering (hårde), scenariemetodikken (delvis hård og blød) og fremtidsværkstedet (blød).
Den kritiske tilgangsvinkel repræsenterer en måde at stille sig kritisk overfor den rationelle måde at anskue verden på. Man stiller spørgsmålstegn ved de grænseområder, der opereres med i den hårde og den bløde operationsanalyse, og ved selve problemstillingen.
Den kreative tilgang dækker over en række teknikker, som fordrer positiv og kreativ tænkning og fokuserer på dannelse af fremtidige visioner og idéer. Den fokuserer på kreativitet, positivitet, spontanitet, synergieffekter og er fremtidsorienteret frem for at koncentrere sig om nuværende problemstillinger og konflikter. Blandt kreative teknikker kan f.eks. brainstorming og mind mapping nævnes [14].



Figur 4.4: Præsentation af hvordan man med udgangspunkt i den traditionelle hårde problemtilgang kan bryde grænserne og udvide problemhåndteringen ved at inddrage elementer fra hhv. den bløde, kritiske og kreative problemtilgang.

For at give læseren et overblik over de overordnede karakteristika ved de fire problemtilgange, ses i figur 4.4 en grafisk oversigt over disse. På figuren er den hårde problemtilgang tegnet som en firkant, hvilket symboliserer den måde, hvorpå verden modelleres inden for den hårde operationsanalyse, hvor der sættes skarpe problemgrænser og sjældent indrages bløde faktorer, som komplicerer problemet. Den bløde operationsanalyse blev udviklet som en kritik af den temmelig firkantede, hårde tilgang og er derfor illustreret som en cirkel, der bryder de grænser, som hårde operationsanalytiske problemløsningsmetoder sætter for problemerne. Endelig kan kritiske og kreative elementer inddrages i problemløsningen, hvorved grænserne igen brydes, og flere aspekter og faktorer tages i betragtning.

4.2.3 Metodikker, metoder og teknikker

Nogle centrale begreber, som ofte forveksles, er metodikker, metoder og teknikker. Vi tager udgangspunkt i John Mingers' [5] og Victor Vidal og Lene Sørensens [1] definition af termerne.
Begrebet teknik (eller værktøj) dækker over veldefinerede fremgangsmåder eller anvisninger på gennemgang af sekvenser af konkrete handlinger, der leder frem til forudsigelige resultater [5].
I brugen af både metoder og metodikker indgår typisk en mængde teknikker/værktøjer, der er specifikt designede til at varetage konkrete elementer i problemløsningsprocessen. Eksempler på teknikker er Lineær Programmering (hård tilgangsvinkel), Brainstorming (blød/kreativ tilgangsvinkel) og interviewteknik (blød tilgangsvinkel).
En metode er en beskrivelse af, hvorledes man gennem en række mere eller mindre specificerede trin kan træffe gode beslutninger i en problemsituation. Termen metoder er ofte benyttet i forbindelse med rationelle fremgangsmåder - især inden for hårde operationsanalytiske løsningstilgange [1].
Metodikker adskiller sig fra metoder ved det, at de fokuserer på beslutningstagningsprocessen frem for konkrete anvisninger for, hvorledes beslutningen bør tages. Begrebet dækker således mere over en ramme for problemhåndteringen end en egentlig forskrift for fremgangsmåden. Termen benyttes ofte i forbindelse med bløde operationsanalytiske tilgange, hvor brugerdeltagelse er et centralt element [1].

Metoder er således velegnede til at håndtere veldefinerede problemer, mens metodikker kan bruges til at danne overblik over ikke veldefinerede og uoverskuelige problemstillinger, hvor der er usikkerhed til stede og eventuelt mange divergerende interesser og faktorer [1].

4.2.4 Gruppe- og læreproces

Et centralt element i flere bløde metodikker er gruppeprocessen, der kan bidrage til problemstrukturering og organisationsudvikling, som kendetegner den bløde operationsanalyse. I en gruppeproces kan man ofte drage fordel af synergieffekter, som ikke opstår ved individuelt arbejde. Desuden vil ofte både deltagere og facilitator(er) gennemgå en læreproces.

Workshops er en samlet betegnelse for arrangementer, der f.eks. kan have til formål at afklare en ikke defineret problemstilling, at generere idéer til fremtidige udviklingsretninger eller at arbejde struktureret hen mod en ønsket situation. På workshops guides processen ofte af en facilitator.
Der drages netop fordel af de positive effekter ved gruppeprocessen, når man afholder workshops. De synergieffekter, der kan opstå, når man arbejder sammen i en gruppe, kan have meget positiv indflydelse på resultaterne af workshoppen. Der er ofte et tema

for en workshop, som der arbejdes inden for. Eksempler på metodikker, der gør brug af workshops, er fremtidsværkstedet [1] og visionskonferencen [12].

Opbyggelse af fælles forståelsesramme og problemerkendelse er en central del af mange bløde metodikker. Et af kendetegnene ved den bløde operationsanalyse er, at der fokuseres på proces, problemafklaring og -strukturering frem for på resultaterne i sig selv. Det er derfor essentielt at finde en fælles basis for løsning af problemet. Denne opbyggelse af en fælles forståelsesramme danner desuden grobund for at kunne bearbejde problemsituationen i fællesskab og giver brugerne et ejerskab overfor den løsning, der findes frem til, således at denne kan blive en succes.

Magt, læring og kommunikation er begreber, som spiller en stor rolle, når mennesker agerer i en social kontekst. Magt dækker over påvirkning af andres forståelse og/eller handling, idet den magtudøvende ønsker at dreje fokus i en bestem retning. Der vil ofte være en magtubalance, idet nogle personer eksempelvis har en negativ holdning, er dominerende eller har en skjult dagsorden. Begrebet læring dækker i denne sammenhæng over udvikling af forståelse og/eller handling blandt personer, der optræder i en social kontekst. Læring opstår som en naturlig følge af gruppearbejdet, idet der skabes forståelse for hinandens meninger og opfattelser, man opnår en indsigt i de ønsker og forventninger, der er til fremtiden, og man ofte får afdækket eventuelle konflikter, som med stor sandsynlighed vil træde frem under gruppearbejdet. Ordet kommunikationen betyder udveksling af information mellem aktørerne i gruppen og er selve basen for gruppearbejdet. Det er primært gennem kommunikation, man har mulighed for at opnå synergieffekter i gruppeprocessen.

4.2.5 Aktører

Aktører er et centralt begreb, der dækker over personer, som på den ene eller den anden måde påvirker eller bliver påvirket af en given problemstilling/-løsning. Aktører kan være problemejere, brugere, konsulenter, organisationer m.v. Ofte er problemejeren, brugeren - og i nogle tilfælde facilitatoren - en del af en organisation, som kan være en virksomhed, en institution eller en anden form for gruppe.

Problemejeren er den person/organisation, der er i en problemsituation, som skal løses. Problemejeren kan som udgangspunkt have en mere eller mindre veldefineret problemsituation, som i løbet af håndteringsprocessen kan ændre sig alt efter, hvilken fremgangsmåde der benyttes.

Brugerne er de personer, som har en praktisk viden om f.eks. et produkt, redskab eller system i kraft af deres anvendelse af dette. I modsætning til eksperter, som oftest har en teoretisk viden om området, har brugere grundet deres rolle som “anvendere” af produktet, redskabet eller systemet en viden, der er af praktisk karakter. Brugere er derfor også personer, der bliver berørt af løsningen på en problemstilling, som vedrører deres virke, og de kan påvirke problemløsningsprocessen, hvis der tages brugerorienterede planlægningsmetoder i brug. Netop princippet om deltagelse er karakteristisk for mange bløde operationsanalytiske metodikker.

Facilitatoren er en person, der guider, støtter og eventuelt styrer en gruppeproces. Der skelnes mellem konsulent- og facilitatorrollen, idet konsulenten er en person, som har til opgave at løse en given problemstilling, og som har en viden inden for det pågældende område, mens facilitatorens primære fokus er på selve processen. Konsulenten kan have forskellige roller i forhold til problemet og problemejeren. I nogle tilfælde fungere konsulenten både som den faglige ekspert og som facilitator.

I mange workshops optræder der en person som facilitator. Vedkommende kan være en ekspert inden for det område, workshoppen/processen fokuserer på, men personen skal primært være "ekspert i facilitering", dvs. vedkommende skal evne at strukturere problemsituationen og håndtere planlægningsprocessen [1].

Facilitatorens rolle er at støtte og guide en gruppeproces, hvor der ofte kan optræde magtubalancer, interessekonflikter eller dødvande i processen.
Nogle af de egenskaber, der er vigtige for en god facilitator, er situationsfornemmelse, finfølelse, entusiasme, positiv udstråling og evnen til at håndtere magtubalancer og eventuelle konflikter i gruppen. Det er desuden vigtigt at kunne fange tråden og følge op på det, der bliver sagt, samt i en vis grad gribe det, der ikke bliver sagt direkte, men ligger i tonefald, ordvalg, kropssprog og i visse tilfælde tavshed.
Man skal som facilitator desuden vurdere, hvorvidt man skal være styrende eller mere passiv, alt efter gruppesammensætningen og udviklingen i processen samt formålet med workshoppen. Det er i denne sammenhæng også vigtigt, at facilitatoren ikke har sin egen dagsorden eller forsøger at styre processen i en bestemt retning, men at vedkommende er og fremstår upartisk og neutral. Det er derfor oftest en fordel, at facilitatoren ikke er involveret i problemstillingen som eksempelvis problemhaver eller bruger.

4.3 Hårde operationsanalytiske metoder

I dette afsnit gives en introduktion til den hårde operationsanalyse som problemløsningstilgang, hvorefter vi præsenterer nogle for projektet relevante problemtyper, og giver en gennemgang af modelleringsprocessen. Sluttelig redegør vi for en række løsningsmetoder og -værktøjer, som vi finder relevante i forhold til den problemstilling, vi bearbejder for DHL.

Den hårde operationsanalyse blev udviklet under 2. Verdenskrig til at optimere brugen af styrkerne og materiellet. Denne problemtilgang, som ofte benævnes den traditionelle tilgang, dækker over flere områder, hvoraf vi bl.a. kan nævne simulering, systembeskrivelse og optimering. Inden for det første område simuleres forskellige løsninger til problemer med det formål at undersøge kvaliteten af disse og identificere eventuelle problemer som flaskehalse i systemet, manglende robusthed osv. Det andet område er især meget benyttet inden for felter som statistik, fysik og biologi til beskrivelse af systemer inden for fagområdet.

Den del af den hårde operationsanalyse, som vi forventer at benytte i dele af håndteringsprocessen, er det tredje område, optimeringsdelen. Her er fremgangsmåden den, at man som et led i den samlede håndtering af problemstillingen udarbejder en eller flere matematiske modeller, der ved brug af en passende løsningsmetode kan beregne en god - eller eventuel optimal - løsning til det betragtede problem.

Den del af den hårde operationsanalyse, vi diskuterer i dette afsnit, kan kort formuleret beskrives som anvendelse af matematiske modeller til hjælp ved beslutningstagen. Man formulerer typisk et objekt, som skal optimeres (eksempelvis maksimering af profit eller minimering af omkostninger), og en mængde begrænsninger, som udgøres af det system af parametre og variable, man opererer inden for i forbindelse med det pågældende problem. Den kvantitative model, som denne matematiske modellering af problemets kriterier udgør, kan efterfølgende løses på forskellige måder med forskellige løsningsværktøjer alt efter problemets størrelse, type, kompleksitet og ønsker til løsningen.

Den hårde operationsanalyse er især egnet til håndtering af veldefinerede problemstillinger, hvor der indgår kvantitative data og er et præcist formuleret mål for løsningen af problemet. Metoderne er ikke hensigtsmæssige i forbindelse med løsning af komplicerede problemer med mange sociale, sociologiske og eventuelt politiske aspekter.

4.3.1 Problemtyper

I dette afsnit præsenterer vi kort nogle forskellige problemtyper og -formuleringer, som er relevante for den senere modellering af lokaliseringsproblemet. Konkrete eksempler på problemformuleringer kan ses i bilag C.

De problemer, som man traditionelt har håndteret med hårde operationsanalytiske metoder, kan overordnet kategoriseres efter beslutningsvariablenes domæner[1]. Disse har stor indflydelse på problemets kompleksitet og dermed på muligheden for at finde optimale eller gode løsninger.

Lineære problemformuleringer (*Linear Programs*, LP) har kontinuerte beslutningsvariable og kan generelt formuleres således:

$$\max \{cx : Ax \leq b, x \in \mathcal{R}_+\} \tag{4.1}$$

hvor x er en n-dimensional søjlevektor, c er en n-dimensional rækkevektor, A er en $m \times n$-matrix, og b er en m-dimensional søjlevektor [2].

Et kendt eksempel på løsning af et lineært programmeringsproblem ved brug af hård operationsanalyse er det såkaldte kaffeproblem, som ses i bilag C.2.

Heltallige problemformuleringer (*Integer Programs*, IP) indeholder kun heltallige variable og kan generelt formuleres således:

$$\max \{cx : Ax \leq b, x \in \mathcal{Z}_+\} \tag{4.2}$$

Et klassisk eksempel på et heltalsproblem er produktionsplanlægning, som kan ses i bilag C.3.

[1] Domænet for en variabel angiver de værdier, som denne må antage f.eks. 0 eller 1 for binære variable.

Binære problemformuleringer (*Binary Integer Programs*, BIP) består udelukkende af binære beslutningsvariable og kan generelt formuleres således:

$$\max\ \{cx : Ax \leq b, x \in \mathcal{B}\} \tag{4.3}$$

Binære beslutningsvariable benyttes ofte til at svare “Ja” eller “Nej” til beslutningsspørgsmål som eksempelvis: “Skal fabrikken f åbnes?” eller “Skal person p arbejde med job j på tidspunkt t?”
Desuden kan binære variable benyttes til at vælge mellem en mængde muligheder, ved at kræve summen over indekset/indeksene af beslutningsvariablen lig 1 (eksempelvis: $\sum_t x_t = 1$).

Binære variable kan desuden benyttes til såkaldte enten eller-begrænsninger, hvor en af to (eller flere) begrænsninger skal gælde. Et eksempel på dette kan være håndtering af to varer med håndteringstider på hhv. h_1 og h_2 og starttider på s_1 og s_2. For at undgå håndtering af de to varer på samme tid skal man sikre, at én af de to følgende begrænsninger er opfyldt:

$$\begin{aligned} s_1 + h_1 &\leq s_2 \\ s_2 + h_2 &\leq s_1 \end{aligned}$$

Da man ikke kan udtrykke disse to begrænsninger, $(s_1 + h_1 \leq s_2 \vee s_2 + h_2 \leq s_1)$, tilføjes en binær variabel y, som sammen med M (et meget stort tal) “vælger” mellem begrænsningerne på følgende måde:

$$\begin{aligned} s_1 + h_1 &\leq s_2 + M \cdot y \\ s_2 + h_2 &\leq s_1 + M \cdot (1 - y) \end{aligned}$$

Hvis $y = 1$, vil første begrænsning ingen betydning have, da højre side vil være meget større end venstre uanset starttiden for håndtering af vare 1. Hvis $y = 0$, vil anden begrænsning af samme årsag være uden betydning, og første betingelse vil være den begrænsende [3].

Et klassisk eksempel på en matematisk formulering af et binært problem er rygsækproblemet, som ses i bilag C.4.

Problemformuleringer med blandede variable (*Mixed Integer Programs*, MIP) består, som benævnelsen røber, af beslutningsvariable med forskellige typer domæner. En generel formulering af et MIP er således:

$$\max\ \{cx + hy : Ax + Gy \leq b, x \in \mathcal{R}_+, y \in \mathcal{Z}_+\} \tag{4.4}$$

Et typisk eksempel på et MIP er *Uncapacitated Lot-Sizing* (ULS) eller mere beskrivende: Produktionsplanlægning over løbende perioder. Et eksempel på dette kan ses i bilag C.5.
Dette simple problem tager ikke hensyn til kapacitetsbegrænsninger i produktionen. Udvidelsen af problemet til omfattelse af produktionskapacitet kaldes *Capacitated Lot-Sizing* (CLS).

Lokaliserings- og distributionsproblemer

Det centrale matematiske problem, vi som udgangspunkt arbejder med i dette projekt, er et lokaliseringsproblem. Vi har valgt at udvide dette til også at omfatte distributionsplanlægning. Lokalisering omhandler den langsigtede strategiske planlægning vedrørende placering af lagre, depoter, omlæsningspladser, fabrikker eller andre bygninger, der skal servicere en mængde kunder. Distributionsproblemer omhandler planlægning af de ruter, som skal køres for at servicere de kunder, der er tilknyttet de forskellige lagre, depoter osv. Dette er således typisk et taktisk problem vedrørende allokering af ressourcer over en mellemlang periode, således at hele systemet fungerer bedst muligt. Distributionsplanlægning kan også udføres på det operationelle plan, hvis der er tale om dag-til-dag-planlægning.

I det grundlæggende lokaliseringsproblem opereres med flere typer variable, og der er derfor tale om et MIP. Der er som minimum to sæt beslutningsvariable. De kontinuerte flow-variable x_{ij} angiver enten andelen af kunde i's efterspørgsel, der tilfredsstilles via facilitet j, eller den mængde, facilitet j leverer til kunde i. De binære beslutningsvariable y_j angiver, hvorvidt facilitet j skal være åben eller ej. Faciliteterne kan være depoter, lagre, omlæsningspladser, fabrikker, terminaler osv.

Lokaliseringsproblemer kan inddeles i to typer: ikke-kapacitetsbegrænsede og kapacitetsbegrænsede, hvor der i første tilfælde ikke er nogen grænse for den mængde gods/kunder, der kan håndteres på faciliteterne, og der i det andet tilfælde er en øvre grænse for kapaciteten af faciliteterne. Det simple tilfælde kaldes på engelsk *Uncapacitated Facility Location* (UFL) og kan formuleres således:

$$\text{Min } \{\textstyle\sum_{i,j} c_{ij}x_{ij} + \sum_j f_j y_j : \sum_j x_{ij} = 1, \forall i,\ \sum_i x_{ij} \leq m y_j, \forall j,\ x_{ij} \in \mathcal{R}_+^{m\times n},\ y_j \in \mathcal{B}^n\}$$

Den kontinuerte beslutningsvariabel x_{ij} angiver andelen af kunde i's efterspørgsel, der tilfredsstilles af facilitet j, den binære variabel y_j angiver, om facilitet j er åben ($y_j = 1$) eller ej ($y_j = 0$), c_{ij} er omkostningen forbundet med servicering af kunde i fra facilitet j, f_j er omkostningen ved at åbne facilitet j, m er antallet af kunder, og n er antallet af potentielle faciliteter.
Objektfunktionen søger at minimere omkostningerne forbundet med hhv. åbning af faciliteter og levering af varer til kunderne, første begrænsning sikrer, at den samlede efterspørgsel imødekommes for hver kunde, og den anden begrænsning sikrer, at kunder kun serviceres fra åbne faciliteter (x_{ij} tvinges til at være lig 0, hvis y_j ikke er lig 1). Slutteligt angives beslutningsvariablenes domæner [2].

I det kapacitetsbegrænsede lokaliseringsproblem skal der desuden tages hensyn til, at der maksimalt kan håndteres en given mængde gods/kunder på de forskellige potentielle faciliteter. Et eksempel på en matematisk formulering af et *Capaciteted Facility Location*-problem (CFL) ses i model 4.5.

$$\begin{array}{llcll}
\text{Min} & \sum_{i,j} d_i c_{ij} x_{ij} + \sum_j f_j y_j & & & \\
\text{Uht.} & x_{ij} \leq y_j, & \forall i,j & (1) & \\
 & \sum_j x_{ij} = 1, & \forall i & (2) & \\
 & \sum_i d_i x_{ij} \leq u_j y_j, & \forall j & (3) & \\
 & x_{ij} \in \mathcal{R}_+^{m\times n}, \quad y_j \in \mathcal{B}^n & & &
\end{array} \tag{4.5}$$

Variablene x_{ij} og y_j og parametrene c_{ij} og f_j er de samme som i UFL, d_i er efterspørgslen fra kunde i, u_j er kapaciteten for facilitet j, m er antallet af kunder, og n er antallet af potentielle faciliteter.
Modellens objektfunktion søger ligesom i det simple tilfælde at minimere de samlede omkostninger forbundet med åbning af faciliteter og servicering af kunder, første begrænsning sikrer, at kunder kun serviceres fra åbne faciliteter, anden begrænsning sørger for, at den samlede efterspørgsel imødekommes for hver kunde, og i tredje begrænsning sikres, at kapaciteten for hver facilitet overholdes. Beslutningsvariablenes domæner er de samme som i det ikke-kapacitetsbegrænsede tilfælde: x_{ij} er kontinuert, og y_j er binær [8].

Et klassisk eksempel på ruteplanlægning er *Vehicle Routing Problem* (VRP), hvor det simple tilfælde vedrørende bestemmelse af ruter for en mængde biler ud fra et enkelt depot kan formuleres således:

$$\begin{array}{llcll}
\text{Min} & \sum_{i,j,k} c_{ij} x_{ijk} & & & \\
\text{Uht.} & \sum_{k,j} x_{ijk} = 1, & \forall i \in \mathcal{I} & (1) & \\
 & \sum_{i,j} d_i x_{ijk} \leq q, & \forall k \in \mathcal{K} & (2) & \\
 & \sum_j x_{0jk} = 1, & \forall k \in \mathcal{K} & (3) & \\
 & \sum_i x_{ihk} - \sum_j x_{hjk} = 0, & \forall h \in \mathcal{I}, k \in \mathcal{K} & (4) & \\
 & \sum_i x_{i(n+1)k} = 1, & \forall k \in \mathcal{K} & (5) & \\
 & x_{ijk} \in \mathcal{R}_+^{|\mathcal{I}|^2\times|\mathcal{K}|} & & &
\end{array} \tag{4.6}$$

Den binære beslutningsvariabel x_{ijk} er lig 1, hvis bil $k(\in \mathcal{K})$ kører direkte fra knude $i(\in \mathcal{I})$ til knude $j(\in \mathcal{J})$, og 0 ellers, c_{ij} er transportomkostningen for kørsel mellem

knude i og j, d_i er efterspørgslen i knude i, og q er kapaciteten for bilerne. Der er i problemstrukturen retningsbestemte kanter mellem knuderne, hvor bilerne kan køre, og der er således ingen kant, som slutter i knude 0, og ingen kant, der starter i knude $n+1$ (begge svarende til depotet).
Objektfunktionen søger at minimere de samlede transportomkostninger for de ruter, bilerne kører med udgangspunkt i depotet. Første begrænsning sikrer, at hver kunde i besøges netop én gang af netop én bil, og i anden begrænsning sikres, at kapaciteten for bilerne overholdes. Tredje begrænsning sørger for, at alle biler forlader depotet, fjerde begrænsning sikrer flowbalancen, således at enhver bil k, der besøger en knude h, forlader denne igen, og i sidste begrænsning sikres, at alle biler kommer tilbage til depotet. Slutteligt fastsættes domænet for den binære beslutningsvariabel [10].

En anden formulering af det simple VRP, som kan ses i bilag C.6, involverer to sæt binære beslutningsvariable, x_{ijk}, som angiver, om bil k kører direkte fra knude i til j, og y_{ik}, som angiver, om knude i besøges af bil k.

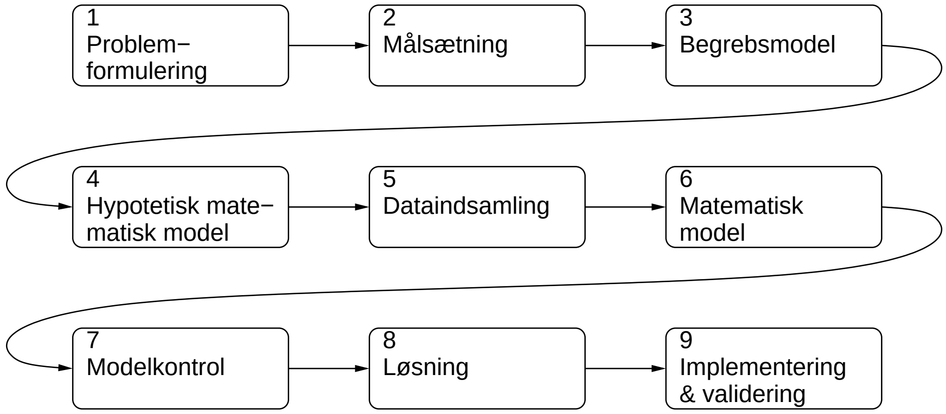
Modellen 4.6 repræsenterer den mest simple udgave af VRP. Nogle af de elementer, som ikke indgår i modellen, men som ofte er relevante i sådanne distributionsproblemer, er: asymmetriske afstande ($c_{ij} \neq c_{ji}$), mulighed for flere ruter pr. bil, tidsvinduer (tidligste og seneste tidspunkt kunden må besøges), flere depoter med hver deres bilpark, krav om rækkefølge på visse kunder, variabel mængde biler, forskelligartede biler (forskellige kapaciteter, transportomkostninger m.v.), mere komplekse objektfunktioner med straffaktorer for eksempelvis sen levering, varighed af ruter, antal biler m.v.

I VRP vil der oftest være tale om både flere depoter, tidsvinduer og forskellige typer biler [9].

En kombination af lokaliserings- og distributionsproblemet, hvor man betragter de to problemer i sammenhæng, kaldes *Location-Routing Problems*, LRP. Ved at arbejde med LRP er der mulighed for at opnå synergieffekter, idet de to delproblemer har indflydelse på hinanden [7].

4.3.2 Udarbejdelse af matematisk model

Hvis man betragter et optimeringsproblem overordnet - fra udgangspunktets problemsituation til implementering af den fundne løsning - indgår en række faser, hvoraf man gennem brug af hårde operationsanalytiske metoder ofte fokuserer på en begrænset del af processen. I figur 4.5 ses et eksempel på segmentering af processen for håndtering af optimeringsproblemer.



Figur 4.5: Ni faser til håndtering af et optimeringsproblem [4].

De ni faser i figuren er et bud på, hvorledes man kan opdele den samlede håndtering af et optimeringsproblem, hvis man vælger at lægge fokus på den hårde operationsanalytiske tilgang. Hårde metoder fokuserer typisk på fase tre til otte, som dækker over: (3) Begrebsmæssig beskrivelse af systemet, dvs. opstilling af relevante faktorer, roller, influensdiagrammer, relationer og afhængigheder således at en senere udarbejdet matematisk model har de rette relationer til systemet, (4) Skitse til den endelige matematiske model, (5) Indsamling af de nødvendige data ud fra den hypotetiske matematiske model, (6) Opbyggelse af den endelige matematiske model ved definition af beslutningsvariable, formulering af målfunktion og konstruktion af begrænsninger, hvor der dog ofte skal revurderes i nogle af de tidligere faser, hvis modellen eksempelvis bliver for kompliceret, (7) Kontrol af modellen med et så stort dataset som muligt, testforsøg og efterprøvning af udsagn fra modellen og (8) Løsning af den matematiske model af problemet ved brug af valgt løsningsmetode [4].

Overordnet kan man om modelleringsprocessen sige, at udfordringen i udarbejdelsen af en matematisk model ikke ligger i selve det at modellere problemet således, at alle begrænsninger opfyldes. Det er ofte forholdsvis let at formulere problemet matematisk, idet variable, der har mange indeks, ofte kan repræsentere de beslutninger, der skal tages, på én gang og dermed ikke giver så mange komplicerede begrænsninger.
Det svære ligger i at opbygge en model, som ud over at overholde de betingelser, der skal være opfyldt, er mulig at løse i praksis, og her kommer valget af beslutningsvariable ind i billedet. Generelt kan man sige, at mange indeks forøger risikoen for, at modellen ikke kan løses til optimalitet, men det afhænger naturligvis af det antal, indeksene repræsenterer. Desuden kan de fleste optimeringsværktøjer ikke klare et stort antal binære eller heltallige variable, hvorfor det er ønskværdigt at arbejde primært med kontinuerte variable, hvis det er muligt. I bilag C.7 ses et eksempel på, hvorledes et problem kan modelleres på forskellige måder.

4.3.3 Løsningsmetoder og -værktøjer

Efter opbyggelsen af den matematiske model, som erfaringsmæssigt skal reformuleres gentagne gange, når nye idéer, problemer, datamangler m.v. dukker op, skal modellen

løses.
Med udgangspunkt i den problemstilling, vi arbejder på for DHL, indskrænkes naturligvis mængden af relevante løsningsmetoder og -værktøjer. Vi vil i dette afsnit kort gøre rede for nogle løsningsværktøjer, der kan være brugbare til det betragtede optimeringsproblem.

Der skelnes overordnet mellem problemer, der kan løses til optimalitet, og problemer, hvor dette ikke nødvendigvis er muligt. Hvorvidt man kan finde den optimale eller må "nøjes med en god" løsning, afhænger meget af problemstørrelse og -type. Det er som nævnt mere vanskeligt at løse problemer med mange binære eller heltallige variable, end hvis der er tale om udelukkende kontinuerte beslutningsvariable. Desuden har mængden af variable og især datastørrelsen en indflydelse på muligheden for at løse problemet til optimalitet. Endelig sætter computerkapaciteten og den benyttede software en begrænsning for løsningsmulighederne.

Problemer, der er forholdsvis små og har lav kompleksitet, kan ofte løses til optimalitet. Der er udarbejdet problemspecifikke algoritmer, som kan løse en del problemer på polynomiel tid[2], dvs. at køretiden ikke vokser eksponentielt med datastørrelsen. Disse problemer kan derfor ofte løses til optimalitet, men er der mange beslutningsvariable, beregninger eller store tal involveret, kan det stadig være umuligt at finde den optimale løsning [2].

Nogle af de løsningsværktøjer, man kan tage i brug til løsning af optimeringsproblemer, er standardprogrammeringssprog som eksempelvis Java, C og C++ samt optimeringsredskaber som eksempelvis GAMS, CPLEX og Excel's solver.
Implementering af en algoritme i et standardprogrammeringssprog kræver nogen programmeringserfaring, da man skal opbygge sit program fra bunden, mens man i modelleringssystemer, som er specielt designede til løsning af matematiske programmeringsproblemer (eksempelvis GAMS og CPLEX), forholdsvis let - og næsten direkte - kan skrive den matematiske model for et problem ind.

Vi benytter i dette projekt GAMS (*General Algebraic Modeling System*) som løsningsværktøj, da det er et redskab, som er forholdsvis let at bruge og umiddelbart kræver mindre tid at benytte, end hvis man eksempelvis skal programmere en algoritme i Java. Man kan mere eller mindre direkte skrive den matematiske model ind i GAMS, da systemet er specielt designet til at løse matematiske optimeringsproblemer såvel lineære som ikke-lineære, samt problemer med blandede beslutningsvariable. GAMS består af en compiler og en mængde solvere[3]. Når man implementerer en matematisk model i GAMS, angives indeks, data, beslutningsvariable, disses domæner, objektfunktion og begrænsninger, og sluttelig defineres typen af problemet (lineær, ikke lineær osv.), der skal løses [20].
I bilag F.2 ses et eksempel på opbygningen af et GAMS-program over kaffeproblemet.

Da GAMS er et standardoptimeringssoftware, ligger der naturligvis nogle begrænsninger i benyttelse af dette som løsningsværktøj. Man kan, som vores projektvejleder udtrykker det, beskrive forskellen på brug af GAMS og en heuristisk fremgangsmåde

[2]Eksempler på problemer, hvor der findes polynomielle algoritmer, er ULS (*Uncapsitated Lot-Sizing*), korteste vej-problemet (*Shortest Path Problem*) og tildelingsproblemet (*Assignment Problem*).
[3]På IMM's servere benyttes CPLEX 9.0-solveren, som er den nyeste version af softwaren.

ved et tøjindkøb, hvor man i stedet for at gå til en skrædder og få syet tøjet, så det passer nøjagtig, går i en standardtøjkæde og køber tøjet, som er syet efter gennemsnitlige mål og faconer. Man kan sagtens få rigtig gode resultater ud af at benytte standardredskaber, men hvis man har tiden til rådighed og muligheden for det, kan det give bedre resultater at udarbejde en løsningsmetode, der er designet specielt til det pågældende problem, som eksempelvis ved at opbygge en problemspecifik heuristisk algoritme i C++.

4.4 Bløde operationsanalytiske metodikker

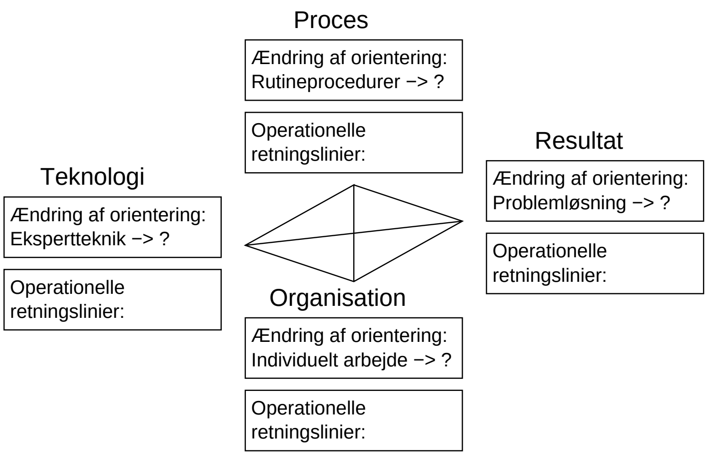
Den bløde operationsanalyse, som også kaldes den praktiske, begyndte sin udvikling i slutningen af 1970'erne og starten af 80'erne [11].
Disciplinen opstod som følge af kritik af, at nogle problemstillinger nok kunne løses med den hårde operationsanalyse, men at det beregnede resultat på trods af den matematiske optimalitet ikke tilfredsstillede brugeren.

Et kendt eksempel, der illustrerer denne problemstilling, er det såkaldte kaffeproblem (*The Coffee Problem*), som ses beskrevet i bilag C.2. Som det ses i eksemplet, kan man ved at benytte den traditionelle hårde operationsanalyse finde det optimale antal kopper, som en mand og kone med deres forskellige kaffepræferencer til sammen skal drikke for at konsumere mest muligt af det, de får serveret på caféen. Kvantificering og optimering er essentielle elementer i den hårde operationsanalyse, hvor der objektivt enten maksimeres eller minimeres på et objekt. I den bløde operationsanalyse er subjektet i fokus, idet brugerens subjektive opfattelser danner baggrund for valg og fravalg, inden en eventuelt løsning findes.
I kaffeeksemplet kunne man altså starte med at spørge personerne, hvor mange kopper de kunne tænke sig at drikke eller tilbyde hver person tre kopper kaffe, hvorefter man kunne se, om nogen af dem overhovedet kunne drikke flere kopper [11].
I eksemplet ses således, at den hårde operationsanalyse frembringer én løsning, mens der ved brug af den bløde operationsanalyse kan frembringes en række af forskellige tanker og argumenter for tilfredsstillelse af brugernes behov, som kan tages i betragtning, inden manden og konen sætter kaffen til livs.

De bløde fremgangsmåder er i højere grad problemstrukturerende end problemløsende. De er derfor velegnede til komplekse og ellers uoverskuelige situationer. Mange af de bløde metodikker er også meget procesorienterede og har aktørdeltagelse som et centralt element.
I den bløde operationsanalyse søges det ikke at finde en beregnet optimal løsning, men snarere at opstille en række forskellige alternative løsningsmuligheder, som hver især kan betragtes ud fra deres fordele, ulemper og usikkerheder. Bløde metodikker er ofte mere fokuserede på at frembringe hjælpeværktøjer til f.eks. at foretage en evaluering end faktisk at foretage den.
En fare ved de bløde operationsanalytiske metodikker er, at de kan misbruges til manipulation, f.eks. ved at blive brugt som et redskab til at legalisere ledelsesbeslutninger under påskud af, at brugerne er blevet inddraget i processen.
I de bløde fremgangsmåder er brugen af matematik ofte begrænset, hvorimod man

ved brug af hårde operationsanalytiske metoder ofte strukturerer problemet i en matematisk model. I den bløde operationsanalyse søges problemsituationen ofte grafisk visualiseret for at give deltagerne overblik over situationen.
Arbejdsprocessen i de gruppeprocesorienterede bløde fremgangsmåder kræver ofte (eller lettes) ved brugen af en facilitator til at lede forhandlingerne blandt deltagerne og holde fokus (se afsnit 4.2.5 side 16 om facilitatorens rolle).

I løbet af vores studietid har vi stiftet bekendtskab - og i flere tilfælde fået praktisk erfaring - med forskellige bløde fremgangsmåder, og vi vil i de efterfølgende afsnit kort beskrive dem, vi finder relevante i forhold til projektet.
De vil hver især kort blive vurderet ud fra fire dimensioner, der kan identificeres for metodikker/metoder: proces, resultat, organisation og teknologi. I figur 4.6 ses de fire dimensioner, som de er præsenteret af Victor Vidal og Lene Sørensen. Her er formålet at evaluere metodikken i forhold til "traditionelle" metoder, hvormed der menes konventionelle metoder inden for strategiudvikling og planlægning [1].
Herudover vil vi i de følgende beskrivelser give vores indtryk af de af metodikkerne, vi tidligere praktisk har anvendt.



Figur 4.6: Evaluering af metoders/metodikkers fire dimensioner i forhold til konventionelle fremgangsmåder [1].

4.4.1 SWOT-analysen

SWOT-analysen er en metodik, der i høj grad bruges af virksomheder til udarbejdelse af forretningsstrategier for at maksimere deres profit i forhold til konkurrenter og markedssituationer. Navnet kommer fra forkortelsen af de engelske ord ***S****trengths*, ***W****eaknesses*, ***O****pportunities* og ***T****hreats*, som udgør de centrale faktorer, man arbejder med i fremgangsmåden. Gennem en SWOT-analyse skal ledelsen søge at vurdere virksomhedens stærke og svage sider i forhold til de forandringer, der sker i organisationens omgivelser, og herefter finde strategier, der udnytter virksomhedens interne styrker og eksterne muligheder samt neutraliserer de interne svagheder i forhold til eksterne trusler.
SWOT-analysen er specielt velegnet til "problematiske" situationer, idet der opnås over-

blik og struktur over organisations nuværende situation gennem anvendelse af SWOT-matricen, som ses i tabel 4.1. Der findes ikke nogen defineret metode til, hvorledes henholdsvis de interne styrker og svagheder samt de eksterne muligheder og trusler identificeres. Man kan eksempelvis gøre brug af brainstorming og diskussion og på den måde komme frem til punkterne.
Den efterfølgende SWOT-analyse, der både kan gennemføres individuelt og i workshops, fokuserer udelukkende på praktiske mål og synlige resultater i form af konkrete strategier og ikke på den individuelle udvikling af deltagerne i processen. Ud fra de nedskrevne interne egenskaber og eksterne påvirkninger udarbejdes substrategier således, at man ved kombination af de identificerede punkter maksimerer de interne styrker og eksterne muligheder og minimerer de interne svagheder og de eksterne trusler.
Der findes ikke nogen metode, som angiver, hvorledes SWOT-analysen gennemføres, men en anvisning i seks trin på, hvorledes den kan udføres [1].
Trinene er:

(1) Etablering af SWOT-arbejdsgruppe. Overvejelser omkring deltagernes indbyrdes forhold og baggrund for deres subjektivitet.

(2) Kreativitet. Brainstorming over punkter til SWOT-matricen styret af en facilitator.

(3) Kvalitativ prioritering. De identificerede punkter vurderes m.h.t. deres relevans og indflydelse.

(4) Strukturering i SWOT-matrix. Struktureringen giver overblik efter den foretagede kvalitative vurdering.

(5) Nedbrydning af SWOT-matrix. Nedbrydning af analysen i delområder for at gøre det menneskeligt muligt at overskue situationen.

(6) Udvikling af strategier. For de forskellige områder udvikles strategier f.eks. ved hjælp af brainstorming.

SWOT-analysen har altså fokus på strukturering af en problemsituation. Arbejdet kan foregå individuelt eller i grupper. Resultaterne er dokumenterede tilsagn om handlinger, politikker og strategier. Vores vurdering af SWOT-analysen er, at det er en metodik, som er let at gå til og let at anvende i praksis.

	Eksterne muligheder (**O**)	Eksterne trusler (**T**)
Interne styrker (**S**)	Maxi-maxi-strategier	Maxi-mini-strategier
Interne svagheder (**W**)	Mini-maxi-strategier	Mini-mini-strategier

Tabel 4.1: SWOT-matricen [1]. Ved kombination af søjler og rækker udarbejdes substrategier til maksimering af de ønskede elementer og minimering af de ikke ønskede elementer.

4.4.2 Scenariemetodikken

Scenariemetodikken bruges både af private og offentlige organisationer. Metodikken kan bruges til at skabe debat ved brug af scenarier eller som basis for udvikling af planer og strategier og som støtte i forbindelse med beslutningstagen for fremtiden. Et scenarie er et billede på, hvorledes tingene kan udvikle sig, og hvordan fremtiden kan komme til at se ud. Der findes ingen fast defineret fremgangsmåde eller metode for, hvorledes scenarierne skal bruges, og der er derfor tale om en metodik med stor valgfrihed i inddragelse af redskaber og værktøjer.
Scenariemetodikken har sit udgangspunkt i den hårde operationsanalyse. Den opstod inden for militæret, for at man kunne forberede sig på eventuelle diplomatiske kriser. Ved brug af scenariemetodikken kan mulige fremtidssituationer afklares ved konstruktion af detaljerede scenarier og udvikling af strategier, der kan imødekomme - eller bruges i - fremtiden.
Fire grundlæggende principper er kendetegnende for troværdig brug af scenariemetodikken: relevans, sammenhæng, sandsynlighed og gennemsigtighed. Fremtidsbillederne skal have relevans og en sammenhæng til nutiden. Hypoteserne skal derfor med en vis sandsynlighed være realistiske muligheder. Desuden skal scenarierne være lette at forstå med hensyn til forudsætninger og mulige konsekvenser.
Scenariemetodikken kan gennemføres individuelt eller i workshops, og i begge tilfælde er der mulighed for at inddrage ekspertviden til visse dele af processen. Teknologien spænder fra simple til mere vanskelige værktøjer. Der er fokus på strukturering gennem udarbejdelse af eller stillingtagen til scenarier. Resultaterne kan være meget forskellige, men der er mulighed for at udvikle dokumenterede tilsagn om handlinger, politikker og strategier, samt at skabe en forståelse for problemet blandt de involverede personer [1].
Det er vores vurdering, at scenariemetodikken er let at bruge og særlig velegnet som udgangspunkt for diskussioner. Vi har tidligere brugt scenarier som en udemærket del af en workshop, hvor de blev brugt til den afsluttende debat.

4.4.3 Fremtidsværkstedet

Fremtidsværkstedet er en metodik, der tager udgangspunkt i én eller flere problemstillinger, som enten er defineret på forhånd eller kommer frem under gruppearbejdet. Udgangspunktet for fremtidsværkstedet er deltagernes interesser, som danner basis for en fælles kritik og udarbejdelse af ændringsforslag for fremtiden. Formålet med fremtidsværkstedet er at afdække kritik af en eller flere problemstillinger, udarbejde en bred vifte af forslag til forbedringer og skabe en fælles platform og forståelse, man kan arbejde videre ud fra.
Fremtidsværkstedet bliver som metodik løbende udviklet og tilpasset samfundet, aktørerne og de aktuelle problemstillinger. Traditionelt sker gennemførelsen i fem veldefinerede faser udført under ledelse af en facilitator og gennem deltagernes interaktion:

(1) Forberedelsesfasen. Her findes et tema, lokale, arbejdsmateriale m.m.

(2) Kritikfasen. Problemet/problemerne fremlægges gennem deltagernes kritik, og der opnås en vis sammenfatning af situationen.

(3) Fantasifasen. Deltagernes ønsker og forslag til fremtidige ændringer får frit løb, hvorfor nogle forslag ofte vil få utopisk karakter.

(4) Virkelighedsgørelsesfasen. Ved at sammenholde fremtidsønsker med kritikpunkter skabes udkast og forslag til, hvorledes løsningsforslag kan virkeliggøres.

(5) Opfølgningsfasen. Her følges der op på arbejdet i fremtidsværkstedet både for processen og virkeliggørelsen af de skabte resultater.

De enkelte faser har stor betydning for både læreprocessen og for resultaterne, synlige såvel som usynlige. Deltagerne i fremtidsværkstedet gennemgår en udviklingsproces, som både er rettet mod gruppen og mod det enkelte individ. Teknologien er åben, men har fokus på brug af fantasier og strukturering gennem brainstorming. Resultaterne af fremtidsværkstedet er både synlige og usynlige. Gruppen kan ende med at udarbejde nogle konkrete handlingsplaner, politikker og strategier, der eventuelt skal arbejdes videre på. Desuden opnår deltagerne - både som gruppe og individer - en større fælles forståelse og et bedre indblik i situationen [1].

Vi har tidligere anvendt fremtidsværkstedet som metodik, og finder især kritikfasen interessant, da deltagerne her får mulighed for at tage udgangspunkt i deres utilfredshed med den nuværende situation eller deres bekymringer for fremtidige forandringer. Alle bliver hørt, og dermed får deltagerne indblik i hinandens tanker vedrørende temaet. Fremtidsværkstedet er - efter vores vidende - den eneste metodik, der har dette element i en så udtalt form, hvor deltagerne får afløb for deres frustrationer og herefter er parate til idégenerering med et positivt fremtidssyn for øje.

4.4.4 Visionskonferencen

Visionskonferencen er en metodik, der tager udgangspunkt i individer og gruppers behov og ønsker for fremtiden. For at kunne skabe visioner for fremtiden er det en hjælp, at tanker og associationer bliver skabt i en god atmosfære, der muliggør brug af kreativitet, forestillingsevne og visdom. Visionskonferencen er inspireret af fremtidsværkstedet og kreative teknikker.
Udførelsen af en visionskonference sker typisk som en éndagsworkshop over et på forhånd defineret tema. Arbejdet i workshoppen sker under ledelse af en facilitator, der har til opgave at gøre gruppens bearbejdning af temaet lettere. Visionskonferencen er også en velegnet metodik til arbejde med større grupper på eksempelvis 30-60 personer.
Arbejdet i visionskonferencen opdeles i en divergent fase efterfulgt af en konvergent fase. I den divergente fase er opgaven at producere så mange idéer, projekter og mulige løsninger som muligt. Idéerne kan spænde fra ting, der kan realiseres inden for kort tid til utopisk ønsketænkning uden chance for realisering. Efter den divergente fase holdes typisk en pause, inden der skiftes til den konvergente fase. Her udvælges et par af de mest lovende idéer, som fremkom under den divergente fase, og der arbejdes videre med udviklingen af disse. I den konvergente fase skal deltagerne være realistiske, de

skal overveje konsekvenser og nødvendige tiltag, men samtidig være positive og kreativt tænkende. Den konvergente fase kan derfor være mere vanskelig for nogle deltagere at gennemføre, da de har svært ved at lægge den divergente tænkning fra sig. Andre igen ønsker hurtigt at afslutte slutte konvergeringen med den hidtil bedst fundne løsning.
Visionskonferencen har som metodik fokus på kreativitet, deltagelse og brug af en facilitator til at guide den kreative problemløsningsproces. Resultaterne af visionskonferencen er både synlige og usynlige. De synlige resultater kan være oplæg til handlingsplaner eller strategier. De usynlige resultater fremkommer gennem den kreative interaktion, der er mellem konferencens deltagere i såvel den divergente idégenererings- som den konvergente konkretiseringsfase. I begge faser sker en høj grad af læring både kollektivt og individuelt i form af ejerskab for "temaet" og tilsagn om fremtidig deltagelse i f.eks. realisering af udarbejdede handlingsplaner [12].
Vi har begge været facilitatorer ved tidligere afholdte visionskonferencer og har derfor god erfaring med metodikken, der kræver relativ enighed blandt deltagerne samt god facilitering for at skabe de ønskede resultater.

4.4.5 Bløde teknikker og værktøjer

I dette afsnit gives en kort gennemgang af fire forskellige teknikker, som benyttes i flere bløde operationsanalytiske metodikker, og som vi finder relevante i forbindelse med den problemstilling, vi arbejder med.
Interviewteknikken bruges i mere eller mindre udtalt form i størstedelen af de bløde metodikker. Eksempelvis kan en facilitator guide en proces ved at stille et spørgsmål. Brainstorming kan bruges som idégenereringsværktøj og er en hyppigt anvendt teknik i mange bløde metodikker. Mind maps er et ideelt værktøj til at skabe struktur over komplekse problemsituationer og kan udføres, hvis blot man har skrive- og/eller tegneredskaber tilrådighed. *Rich pictures* er karikaturbilleder over en problemsituation, og disse associationsskabende visualiseringer har til formål at skabe debat og give stof til eftertanke blandt dem, der betragter dem.

Interviewteknik

Interviewteknik er i sig selv ikke en metode, men indgår som en del af mange af især de bløde operationsanalytiske metodikker. Interviewteknik bruges mere eller mindre bevidst i mange sammenhænge f.eks. i almindelige hverdagssamtaler eller i forbindelse med kommunikation på arbejdspladsen.
Interviewteknik handler om strukturering af spørgsmål således, at spørgeren opnår et ønsket formål. Dette indebærer, at spørgeren på forhånd gør sig overvejelser omkring spørgsmåltypen og måden, hvorpå spørgsmålene stilles.
Spørgsmål kan klassificeres inden for adskillige kategorier. Et eksempel er **åbne/lukkede spørgsmål**. Åbne spørgsmål har uendeligt mange svarmuligheder, mens de ekstremt lukkede kun har én svarmulighed. En anden spørgsmålsgruppe er **hv-ordene** hvem, hvorfor, hvornår osv. Hv-ordene kan bruges som indledning til både åbne og lukkede spørgsmål og er typisk forholdsvis lette for en uerfaren interviewer at bruge.

Sammenfattende spørgsmål er en spørgsmålstype, der søger at opsummere det, der hidtil er blevet sagt og drage en konklusion. **Pausen** kan bruges, når man holder vejret og lader tiden give den interviewede mulighed for at tænke, associere og eventuelt komme med nye udsagn. Pausen kan, når den bliver brugt bevidst, betegnes som et meget åbent spørgsmål. Endelig findes **hypotetiske spørgsmål**, som eksempelvis kan bruges til at lukke op for drømme og ønsker for fremtiden.
Der er altså en række af forskellige typer af spørgsmål, der kan resultere i meget forskellige udfald af det samlede interview. Det er en god idé inden et interview at gennemtænke og planlægge spørgsmålene således, at man på forhånd kan gøre sig en idé om, hvilken retning interviewet vil udvikle sig i. Som nævnt har den måde, hvorpå spørgsmålet stilles, også en stor indflydelse på resultatet af interviewet. Formuleringen, pauserne, brug af slang eller fremmedord samt længden af de enkelte spørgsmål er nogle af de ting, der mere eller mindre bevidst kan bruges i et interview.
En bestemt interviewform er det **kvalitative forskningsinterview**, der udføres med det formål at foretage en kvalitativ analyse af den interviewedes situation. Metodisk er det kvalitative forskningsinterview halvstruktureret, idet det gennemføres efter en mere eller mindre udførlig interviewguide. Interviewet optages på bånd og skrives senere ordret af til senere analyse. I den efterfølgende fortolkning er det vigtigt at forholde sig kritisk til egne tolkninger for, at man ikke kommer til at bearbejde interviewet, “som fanden læser bibelen” [16].
Vores erfaring med brug af interviewteknik er, at det især er vigtigt at skabe en god atmosfære mellem spørger og svarer, samt at man som interviewer overvejer sit ordvalg nøje. Hvis det ikke fra interviewets start lykkes at skabe tillid mellem spørger og svarer, vil den interviewede typisk begrænse sine svar til at være konkrete og ikke følelsesprægede. Endelig kan vi nævne, at vi har god erfaring med at bruge båndoptager til at fange interviewets detaljer.

Brainstorming

Brainstorming er en kreativ teknik, der søger at åbne op for deltagernes associationer, tankerækker, idéer, viden og erfaringer vedrørende et konkret problemområde. Ved brainstorming giver man tanker - og ofte tale - frit løb under den forudsætning, at man ikke kommer med lange argumentationer for egne idéer. Desuden er det ikke tilladt at kritisere andres forslag eller forkaste dem som dårlige, urealistiske osv.
Hvis flere personer skal brainstorme i en gruppe, kan det være en god idé med en facilitator til at sikre, at reglerne bliver overholdt, samt at alle bliver hørt. En anden måde, hvorpå man kan udføre brainstorming ved deltagelse af mange mennesker, er at udlevere et stykke papir til alle deltagere, hvorpå de kan nedskrive deres idéer. Efter et antal minutter sender alle deltagere deres papir videre til naboen, der så arbejder videre på de allerede fremkomne idéer. Herefter kan papiret igen sendes videre, og der fortsættes så længe, det ønskes.
Efter en brainstorming er det nødvendigt med en opsamling eller sortering i de genererede idéer, da de givetvis vil have varierende kvalitet og relevans for problemet [14].
Vi er selv flittige brugere af brainstorming - både som internt arbejdsredskab og som en teknik, vi som facilitatorer har glæde af i forbindelse med afholdelse af workshops.

Mind map

Mind mapping er et visuelt eller verbalt redskab til at skabe struktur over komplekse situationer. Definitionen på et mind map er et kreativt mønster over relationerne mellem idéer, tanker, processer, objekter osv.
Som teknik er mind mapping meget let at bruge og kan i princippet anvendes af mennesker i alle aldersgrupper. Mind maps bryder med den lineære tænkning, hvor man typisk forsøger at skabe struktur ved brug af en liste, der starter i øverste venstre hjørne på et stykke papir og slutter i nederste højre hjørne. I udarbejdelsen af et mind map bruges ikke kun den rationelle men også den kreative halvdel af hjernen. Der findes ikke nogen regler for, hvorledes et mind map skal se ud, men en god idé er at starte på midten af et stort stykke papir, hvorefter man f.eks. ved brug af forskellige farver, symboler og stikord nedskriver sine tankerækker i forskellige koblinger på papiret [12], [14].
Vi har god erfaring med at bruge mind maps til at strukturere komplicerede problemsituationer, hvorefter diskussion af valgmulighederne lettes.

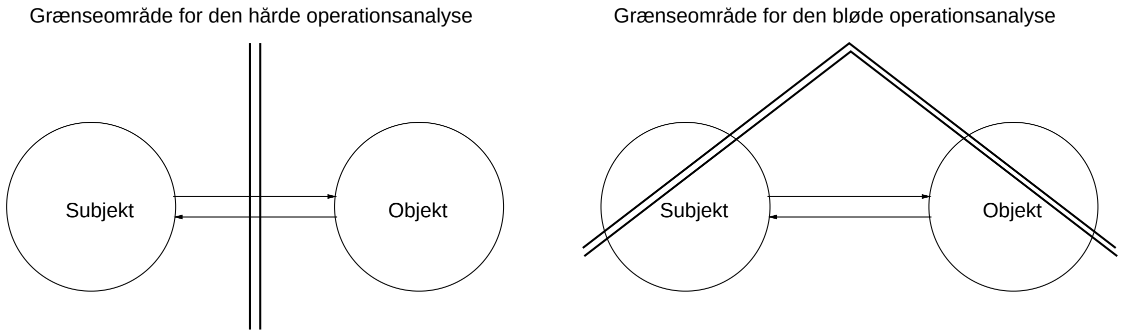
Rich pictures

'Rige billeder" (fra engelsk *rich pictures*) er tegneserieagtige karikaturer af situationen omkring konfliktfyldte og problematiske situationer. Ved brug af *rich pictures* forsøges det gennem debat at give den enkelte en opfattelse og erkendelse af situationen, og hvad der skal til for at ændre denne. Ved brug af billederne kan deltagerne opnå et større overblik over problemsituationen og herigennem udvide deres forståelsesfelt. De kan bruges som udgangspunkt til at diskutere antagelser, som normalt tages for givet, og til at tydeliggøre alternativer [6].
Vi har ikke tidligere anvendt *rich pictures*, men vi er fascinerede af de muligheder, man ved hjælp af kreativitet kan skabe gennem brugen af disse. Sådanne billeder siges at kunne vise mere med nogle få streger, end der kan skrives med tusinde ord.

4.5 Multimetodologi

De mange forskellige metodikker, metoder og teknikker, vi gennem vores studium har stiftet bekendskab med, har forkellige styrker og svagheder, hvorfor de er egnet til forskellige problemtyper eller forskellige faser i en kompleks problemløsningsproces. Termen multimetodologi dækker over en kombination af forskellige metodikker og metoder i strukturering, håndtering og/eller løsning af en problemstilling, hvormed der drages fordel af forskellige tilgangsvinkler.

I figur 4.7 vises en grafisk oversigt over vores bud på, hvordan man kan karakterisere den måde, man sætter grænseområdet for problemløsning på, med hhv. hårde og bløde operationsanalytiske fremgangsmåder. I figuren ses, hvordan man sætter grænseområdet mellem subjektet og objektet, når man arbejder med hård operationsanalyse, således at der er begrænset interaktion mellem disse. På denne måde modelleres problemer gennem en betragtning af verden som bestående af (kendte) parametre og (ukendte) variable. Når man vælger de parametre og begrænsninger, der skal indgå i løsningsprocessen for et optimeringsproblem, opbygges og løses en kvantitativ model, som oftest implementeres uden subjektiv indgriben. Det er ofte en ekspert (eller eventuelt en lille gruppe eksperter), der udarbejder den matematiske model, og problemstillingens aktører har derfor typisk ingen direkte indflydelse på dette. Der, hvor der eventuelt foregår en iterativ proces, er i selve problemafgrænsningen, som kan ændres/tilpasses, hvis der i implementering af løsningen opstår problemer eller utilfredsheder blandt brugerne.



Figur 4.7: Grænseområder i hhv. den hårde og den bløde operationsanalyse.

Det ses ligeledes, hvordan de hårde grænser brydes ved anvendelse af bløde operationsanalytiske metodikker. Her er en mere direkte interaktion mellem den subjektive og den objektive verden, og hvor der i den hårde operationsanalytiske tilgang ikke er nogen påvirkning af løsningsprocessen fra subjektet, fokuserer man i bløde metodikker på interaktionen mellem de subjektive problemopfattelser og håndteringen af den objektive verden. Til forskel fra den hårde problemløsning foregår der her en planlægningsproces under stadig indflydelse af relevante aktører.
Grænseområdet adskiller således ikke subjektet og objektet, men da der foregår en udvælgelse af brugere/aktører, som ved deres subjektive problemopfattelse definerer, hvilke elementer der skal indgå i planlægningen (og dermed den kvalitative model), sker der en fravælgelse af en del af hhv. den subjektive og den objektive verden.

Spørgsmålet er, om der overhovedet eksisterer problemer, hvor der ikke spiller subjektive faktorer ind. Dette kan diskuteres. Hvis man eksempelvis arbejder med optimering af elektroniske kredsløb, synes problemet umiddelbart ikke at være påvirket af subjektive faktorer. Men man kan dog altid stille spørgsmålene: "Skal vi overhovedet løse dette problem?", "Hvem påvirkes af problemstillingen/løsningen - har vi eventuelt overset nogen eller noget?" og "Hvem skal bruge dette, og hvad er behovet?"

Den problemstilling, vi arbejder med i dette projekt, er med sikkerhed ikke i den kategori, hvor man kan diskutere, om den er objektiv og blottet for menneskelige faktorer. Det er en kompliceret problemstilling, der berører mange mennesker i virksomheden foruden de rent økonomiske aspekter.
Den objektive verdensopfattelse, der ligger til grund for den hårde operationsanalyse, er ikke gearet til at håndtere komplekse problemer, hvor der sjældent er konsensus omkring problemstillingen og ønsket til forandring eller målet med problemløsningen. Tilsvarende har den bløde operationsanalyse nogle svagheder, idet det ofte forudsæt-

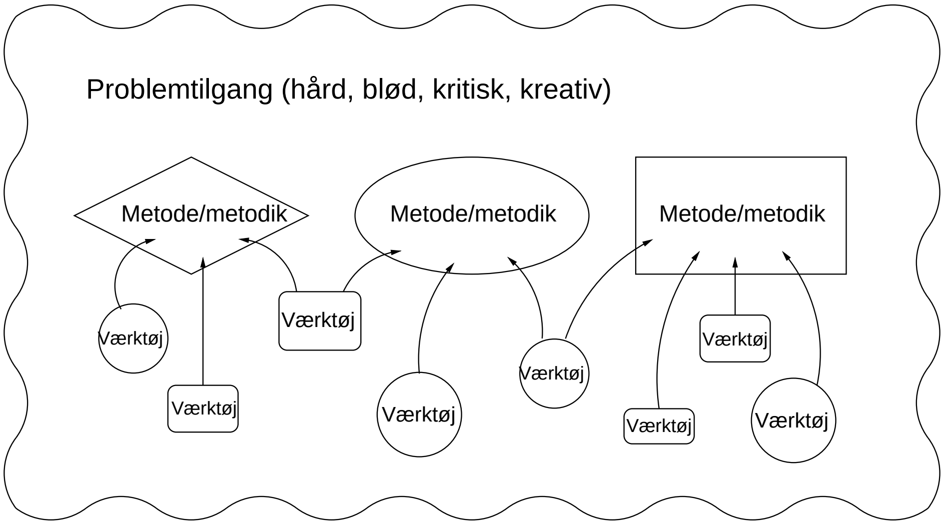
tes, at brugere/aktører har et fælles ønske om at opnå enighed og løse det betragtede problem, at der ikke er nogle uovervindelige interessekonflikter, at alle er interesserede i at deltage i problemløsningsprocessen osv. [1].

Konkret for den betragtede problemstilling ligger den kvantitative kompleksitet i de mange parametre og beslutningsvariable, som er knyttet til lokaliseringsproblemet. Af eksempler kan f.eks. nævnes tilknytning af kunder til terminaler og kapacitet på terminaler og biler. Kompleksiteten ved den kvalitative del af problemstillingen vil givetvis være, at der blandt medarbejderne i DHL er forskellige holdninger til, hvor terminalerne i Vestdanmark skal placeres.

I erkendelse af, at hverken den løsningsorienterede hårde eller den procesorienterede bløde operationsanalyse i sig selv er i stand til at danne basis for en helhedsorienteret håndtering af den betragtede problemstilling til skabelse af brugbare resultater, gør vi i dette projekt brug af multimetodologi.
En sådan kombination kan ske på forskellige måder, og nedenstående ses nogle karakteristiske eksempler:

- Anvendelse af forskellige metoder til forskellige stadier i processen.
- Udbygning af en valgt metode gennem tilføjelse af teknikker og elementer fra en eller flere andre metoder.
- Sammensætning af en helt unik metode ud fra dele af metoder med eftertragtede egenskaber/fokusområder.

Når forskellige metoder kombineres, kan dette ske på flere niveauer. Som det ses på figur 4.8, kategoriseres metoder og metodikker overordnet efter tilgangsvinklen, rationel (hård og blød), kritisk og kreativ. Metoderne kan herunder opdeles i forskellige stadier, hvori der benyttes en eller flere mere eller mindre veldefinerede værktøjer [5].



Figur 4.8: Et eksempel på én problemtilgang, som er basis for en mængde metodikker/metoder, der igen kan dekomponeres. De mindste bestanddele er her værktøjerne, som indgår i metodikkerne/metoderne.

Den centrale force ved multimetodologi er, at man får en mere nuanceret og helhedsorienteret problemhåndtering og -løsning. Ved at kombinere de forskellige tilgange drages nytte ved styrkerne ved dem hver især og netop dette - at tage det, man finder egnet til hver del af problemhåndteringen fra de forskellige fremgangsmåder - er kernen i multimetodologi.
Tilgangen har desuden følgende fordele:

(1) Man kan ofte validere data og resultater ved kombination af forskellige datakilder, metoder og analyser.

(2) Man kan opnå en positiv, kreativ effekt af at opdage nye og paradoksale faktorer i andre problemtilgange og/eller metoder.

(3) Man bryder grænser for problemstillinger således, at man inddrager aspekter, som kan bidrage til bedre løsninger og kan have stor betydning for kvaliteten af ens arbejde.

De forskellige problemtilgange fokuserer på forskellige niveauer i en problemstilling. Den hårde tilgang inddrager primært målbare data og kvantitative elementer og fokuserer på problemløsning. Den bløde tilgang tager hensyn til subjektive problemopfattelser og fokuserer ofte på strukturering og klarlægning af problemstillingen frem for løsning. Kritiske teknikker udvider rammerne for de rationelle tilgange og stiller sig kritisk over for bl.a. selve problemstillingen, og kreative teknikker bygger på positivitet, fremtidige muligheder og spontan idégenerering. De forskellige tilgange har hver især styrker og svagheder, og det er vigtigt at gøre sig klart, hvad målet er for både proces og resultat, når man vælger fremgangsmåde [5].

Nogle af de ting, man skal overveje, når man benytter multimetodologi i en problemløsningsproces, er:

- Hvilke problemtilgange er hensigtsmæssige i forhold til problemet?
- Hvilke metodikker/metoder vil være egnede?
- Hvilke teknikker og værktøjer skal indgå i problemløsningsprocessen?
- Hvordan skal processen designes (forskellige metoder i forskellige faser, udbygning af en kendt metode, sammensætning af unik metode eller anden fremgangsmåde)?

Selve designet af problemhåndteringsprocessen er en yderst vigtig del af overvejelserne. Opererer man med et problem, der har mange adskillelige faser, hvor der skal tages hånd om forskellige faktorer, kan det være en fordel at benytte forskellige metoder i hver fase, således at metodernes styrker matches med de enkelte delprocesser. En anden mulighed er at tage udgangspunkt i en kendt metode og udbygge denne med teknikker og værktøjer, som forbedrer den i forhold til problemstillingen eller bidrager med flere vinkler og tager hånd om ting, som den valgte metode ikke umiddelbart fokuserer på. Man kan også vælge at sammensætte en helt unik metode til det problem, man opererer med. På den måde bliver fremgangsmåden meget problemspecifik, hvilket kan være en fordel, hvis man designer processen fornuftigt. Ved en sådan brug af multimetodologi tager man de elementer fra de enkelte metoder, som man finder egnede, og sammensætter dem til en specifik fremgangsmåde for det betragtede problem.

Endelig er det i overvejelserne omkring brug af forskellige teknikker og værktøjer væsentligt at vurdere sin egen erfaring med dem. Mange metodiske redskaber appellerer til forskellige personer, og det kan have stor betydning for resultatet, om man har en god eller dårlig erfaring med brugen af disse.

Vi har i dette kapitel givet en faglig diskussion af hård og blød operationsanalyse samt kritiske og kreative teknikker og endelig begrebet multimetodologi. Som beskrevet i kapitel 2 er det vores mål at kombinere hårde og bløde operationsanalytiske metodikker/metoder for at drage fordel af de forcer, de forskellige problemtilgange har.
Det bliver derfor interessant at bruge tilgangen på et konkret problem. Det er således vores hensigt at benytte multimetodologi i håndteringen af en virkelig og kompliceret problemstilling, således at de teoretiske argumenter og diskussioner kan få jordforbindelse og kan komme problemejere i "den virkelige verden" til gode - i første omgang DHL i kraft af resultaterne af dette projekt. Herudover vil vi finde ud af om vores hypotese, om at der ved kombination af forskellige bløde og hårde operationsanalytiske metoder og metodikker opnås mere holistisk problemhåndtering og skabes mere brugbare resultater, holder.

Kapitel 5

Problemhåndtering

I de foregående kapitler har vi beskrevet vores mål for rapporten, introduceret virksomheden samt givet beskrivelser og argumenter for forskellige metoder og problemtilgange. I dette kapitel redegør vi for vores valg af overordnet fremgangsmåde for håndtering af den fra DHL stillede opgave.

For kort at ridse vores situation op, var vores indgang til projektet, at vi gennem vores studium har stiftet bekendtskab med mange såvel hårde som bløde metoder og fremgangsmåder. Disse er hver især velegnede i forbindelse med forskellige problemsituationener, men det var vores klare opfattelse, at man ved håndtering af en virkelig og dermed kompliceret problemstilling i samarbejde med en virksomhed ville nå længst ved at benytte et bredt spektrum af metoder.
Vores ønske var derfor at designe et forløb, hvor vi i følge vores hypotese kunne opnå en helhedsorienteret håndteringsproces og skabe brugbare resultater ved benyttelse af både hårde og bløde operationsanalytiske metoder, teknikker og værktøjer.

Vores indledende kontakt med virksomheden var som tidligere nævnt med repræsentanter fra ledelsen, der set i lyset af de mange omvæltninger, som sammenlægninger og opkøb havde medført, ønskede undersøgt, hvor og hvor mange terminaler, der skulle være i Vestdanmark.
Den konkrete opgave, som vi efter indledende møder med virksomhedsrepræsentanterne blev enige om at arbejde med, kunne håndteres ud fra mange forskellige tilgangsvinkler, og vi var af den klare opfattelse, at problemstillingen var af en sådan størrelse og betydning, at det krævede grundige overvejelser omkring fremgangsmåde for at kunne håndtere den på en kvalificeret måde. En helt central del af vores arbejde lå derfor i selve designet af vores problemhåndteringsproces. I vores redegørelse for rapportens mål i kapitel 2 ses vores førstehåndsindtryk af, hvorledes en problemtilgang kan håndteres. Vi mente, som illustreret i figur 2.1 på side 4, at en velegnet fremgangsmåde ville være at starte med indsamling af basisviden omkring virksomheden for herefter at benytte hårde, bløde eller en kombination af disse metoder til løsningen af den definerede problemstilling og eventuelt skabe nye grænser for "problemrummet".

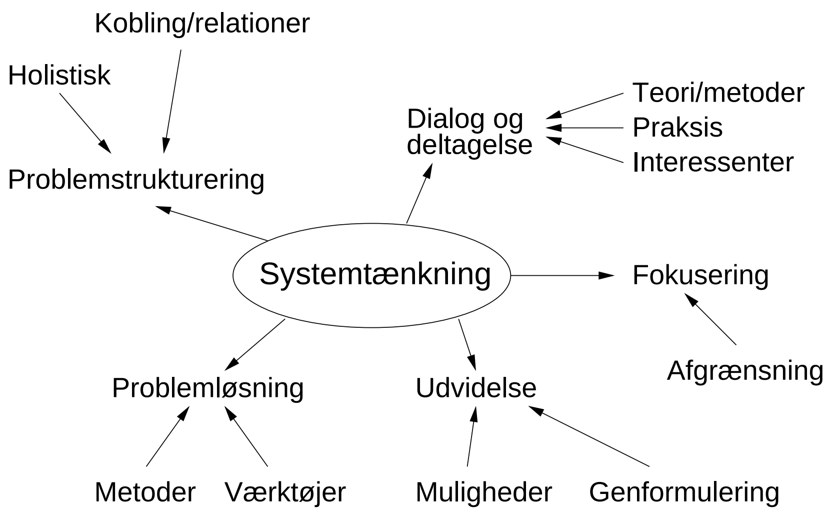
Efter de indledende møder med vores kontaktpersoner i virksomheden besluttede vi at brainstorme over selve problemhåndteringsprocessen, hvorledes vi bedst muligt kunne gribe situationen an samt hvilke faser, metoder og tilgange, vi kunne benytte. Som

resultat af dette fandt vi frem til en problemhåndtering i tre etaper: første fase bestående af dataindsamling, anden og tredje fase (som kunne forløbe sideløbende) bestående af hhv. beregning på den konkrete problemstilling omkring antallet af terminaler i Vestdanmark og indragelse af virksomhedens medarbejdere gennem en procesorienteret tilgang.
Ud fra overvejelser omkring de i kapitel 4 beskrevne metoder og værktøjers egnethed til de forskellige dele af projektforløbet, valgte vi at foretage nedenstående opdeling af problemhåndteringen. I hvert af de tilsvarende kapitler (6, 7 og 8) beskrives udvælgelsen af egnede metoder samt designet af den specifikke fremgangsmåde til hver del af problemhåndteringen:

- Anskaffelse af basisviden.
- Matematisk modellering.
- Planlægning og afholdelse af workshops.

I vores tilgang til problemet ønskede vi at se på virksomheden som helhed men for at kunne overskue den komplekse problemsituation, som arbejdet med en virksomhed repræsenterer, foretog vi en dekomposition af problemhåndteringen i tre etaper.

I den valgte etapeopdeling af problemhåndteringsprocessen ville de forskellige elementer af systemtænkningen, som - i vores forståelse af begrebet - er en holistisk måde at forholde sig til problemløsning på, inddrages. Figur 5.1 viser de forskellige elementer, der tages i betragtning i forbindelse med systemtænkning [15].



Figur 5.1: Elementerne i systemtænkning frit oversat efter [15].

Gennem anskaffelse af basisviden ville første del af problemstruktureringen opnås, og samtidig var det vores forventning at opnå deltagelse og dialog med medarbejderne på virksomheden gennem anvendelse af interviewteknik og møder med nøglepersoner. Derved ville det være muligt at afgrænse og/eller udvide grænserne for problemstillingen samt eventuelt at formulere nye mål. Igennem arbejdet med den matematiske modellering ville vi foretage nogle afgrænsninger, som kunne muliggøre løsning af en matematisk model over problemet. Ved sideløbende at anvende workshops ville vi opnå deltagelse og dialog med virksomhedens medarbejdere, hvilket kunne give en udvidelse af løsningsrummet, da nogle af vores på forhånd stillede grænser måske ville blive udfordret og prøvet. Både den løsningsorienterede matematisk modellering og den procesorienterede workshoptilgang repræsenterede problemløsende og problemstrukturerende elementer.

5.1 Anskaffelse af basisviden

I denne etape skulle kendskabet til virksomheden øges. Der skulle skaffes oplysninger omkring den fysiske opbygning, terminalstruktur, medarbejdere og arbejdsgange samt de kvantitative data til senere beregninger. Desuden var det vores hensigt i den indledende fase at "komme ind under huden" på de personer, som vi skulle samarbejde med i projektet, samt at udvide vores netværk af kontaktpersoner i virksomheden. Der skulle opbygges nogle positive relationer med basis i gensidig tillid, så medarbejderne i virksomheden ville kunne se, at de ville få så meget ud af vores arbejde, at de også ville lægge energi og tid i projektet.
Da vi blev stillet opgaven med at se på terminalstrukturen i Vestdanmark, var vi fra starten enige om, at vi hurtigst muligt ville ud på de nuværende terminaler for med egne øjne at danne os et indtryk af størrelse og eventuelt umiddelbare ligheder og forskelle. I denne beslutning lå derfor allerede et valg om, at vi ikke ville nøjes med oplysninger fra ledelsesrepræsentanterne, men selv ønskede at udvide problemstillingen. Desuden lå der implicit et valg omkring brug af en eller anden form for interviewteknik til indsamlingen af data fremfor passivt at få informationen serveret. I disse valg lå også en prioritering af at vægte den pragmatiske problemtilgang i projektet højere end den rent teoretiske under den forudsætning, at den teoretiske tilgang dog naturligt var vores fundament.

5.2 Matematisk modellering

Til beregning på den præsenterede konkrete problemstilling ønskede vi at benytte matematisk modellering til identificering af en - ud fra de til rådighed værende data - tilfredsstillende løsning på det rent fysiske lokaliseringsproblem. Ved at løse en opstillet matematisk model for problemet ville vi som udgangspunkt kunne give en indikation af det antal terminaler, DHL burde have i Vestdanmark, og hvor disse skulle placeres. Som en udvidelse af den præsenterede problemstilling ville vi efterfølgende udarbejde en distributionsmodel til at planlægge selve afhentnings- og leveringsmønsteret i de områder, som i følge lokaliseringsmodellen skulle være tilknyttet hver terminal.

5.3 Planlægning og afholdelse af workshops

Problemstillingen omkring antallet af terminaler i Vestdanmark var et strategisk spørgsmål af en sådan karakter, at det i høj grad ville berøre medarbejderne i DHL. Det var vores overbevisning, at en nødvendig forudsætning for succes ville være, at de involverede medarbejdere følte et ejerskab for strategier og beslutninger, så eventuelle forandringer kunne foregå med alles accept og billigelse.
Workshops blandt medarbejderne ville derfor efter vores mening være en velegnet fremgangsmåde til i dette projekt at indsamle idéer og ønsker samt inddrage de personer, der ville blive berørt af fremtidige strategiske ændringer i DHL. Desuden var det vores hensigt gennem deltagelse og brugerorienteret fokus at identificere de centrale bløde faktorer, som de involverede medarbejdere kunne frembringe, og som ikke umiddelbart kunne finde sin plads i forbindelse med den matematiske håndtering af problemstillingen. Vi ville som tredje del af håndteringsprocessen derfor benytte en workshoptilgang til inddragelse af medarbejderne og dermed fokusere på gruppeprocessen fremfor individuelle tilgange i denne fase af problemhåndteringen. Som tema for workshoppen ville vi præsentere spørgsmålet: "Hvordan forbedres samarbejdet og logistikken i DHL?", hvorved vi ville fokusere på aspekter, som kunne bidrage til løsning af den fra DHL's ledelse stillede opgave.

Kapitel 6

Basisviden om virksomheden

I dette kapitel beskrives de overvejelser, der lå til grund for den første del af vores tredelte problemhåndteringsproces. Denne anskaffelse af viden om virksomheden havde til formål at give os informationer omkring produkter, procedurer, arbejdsgange, medarbejdere, problemstillinger osv. Herudover var denne første kontakt til virksomheden vigtig for at skabe de relationer og kontakter, der var nødvendige for at “komme ind under huden” på medarbejderne. Vi mente, at det var særdeles vigtigt at skabe et netværk af kontakt- og ressourcepersoner at trække på i løbet af projektperioden.
Vi var fra projektets begyndelse enige om, at vi med egne øjne og ører ville indsamle de data og informationer, som kunne danne udgangspunkt for den videre håndtering af problemsituationen. Vi mente, at det var nødvendigt selv at udvide det fra virksomheden stillede konkrete problem, dels for at tilføje de menneskelige faktorer og dels for selv at kunne forholde os kritisk til og sortere i de informationer og indtryk, som vi havde fået gennem kontakten med DHL. Indsamlingen af basisviden gav os desuden mulighed for at sætte grænserne for det problemområde, som vi i projektet beskæftiger os med.
I kapitlet beskrives først vores valg af fremgangsmåde. Dernæst giver vi en kort oversigt over den mængde møder og terminalbesøg, som udgjorde en stor del af arbejdet med indsamling af basisviden, og derefter præsenterer vi de centrale resultater, vi fik ud af denne første del af vores problemhåndteringsproces.

6.1 Fremgangsmåde

Indsamlingen af basisviden foregik med øje for, at vi skulle bruge konkrete informationer for at kunne løse problemet matematisk. Desuden ville vi i denne fase forberede relevante personer på, at vi senere ville afholde et workshoparrangement. I et forsøg på at opnå struktur over den viden, vi ville indsamle på virksomheden, besluttede vi os for at anvende interviewteknik, der som tidligere nævnt indebærer, at vi inden etableringen af kontakten skulle gøre os overvejelser om hvilket sprog, der skulle anvendes, samt hvilken type af spørgsmål, vi ville stille og rækkefølgen af disse.

Vores indsamling af viden foregik på følgende måder:

- Møder med kontaktpersoner.
- Terminalbesøg og rundvisninger.
- Mailkorrespondance.
- Telefonsamtaler.

Fordelen ved møder og terminalbesøg var, at vi havde en direkte kommunikation ansigt til ansigt og dermed kunne få et mere indgående kendskab til personerne. Ulempen var, at det tog tid både at planlægge og udføre. Mailkontakt havde en fordel pga. den hurtige kommunikationsform, mens ulempen var, at mails af nogle personer kunne blive ignoreret eller taget useriøst og som sådan ikke så forpligtende. I bilag J ses oversigten over mailkorrespondancen gennem projektforløbet. Fordelen ved telefonsamtaler var, at de var mere forpligtende og gav en mere direkte kommunikation end mailkorrespondancen. Både vi og medarbejderne havde bedre muligheder for at forklare budskabet, og vi kunne stille umiddelbart opfølgende spørgsmål. Telefonsamtalerne var dog meget tidskrævende, da vi på DTU ikke havde umiddelbar adgang til en telefon.

Til hver af de fire måder at indsamle basisviden knyttede sig en forberedelses-, udførelses- og evalueringsfase.
I forberedelsesfasen overvejede vi eksempelvis, hvilken person/personer, vi skulle tale med, hvad vi troede, denne person vidste om os og om virksomheden, samt hvad personens baggrund og placering var i organisationen. Desuden skulle der forberedes nogle spørgsmål, der var tilpasset modtageren, således, at de eksempelvis blev formuleret forskelligt afhængigt af, om de skulle stilles til f.eks. afdelingschefen eller til truckføreren. Inden et interview overvejede vi også, hvilke redskaber, der skulle medbringes, for at interviewet kunne forløbe gnidningsfrit og under optimale vilkår.
Under udførelsen/afholdelsen af et møde eller terminalbesøg var vi opmærksomme på vigtigheden af fra start at få etableret en dialog, som kunne medføre, at kontaktpersonerne i virksomheden var villige til at bidrage med informationer som svar på vores spørgsmål, og at de eventuelt på egen hånd ville give os oplysninger osv., som kunne være nyttige.
Under besøg på virksomheden lærte vi meget om produkter, arbejdsgange m.m., og det var derfor vigtigt for os at notere så mange detaljer som muligt undervejs, for senere at kunne huske det hele. Desuden tog vi på alle terminalbesøg en masse billeder.

Vi sørgede for altid at være velforberedte til møder og terminalbesøg, idet vi tog højde for de ovenfor beskrevne overvejelser. Efter alle besøg på virksomheden lavede vi referater, som vi hurtigt sendte til godkendelse hos de personer, vi havde besøgt, for på den måde at kontrollere, om vi havde forstået alt korrekt, få afklaret tvivlsspørgsmål og eventuelt stille opfølgende spørgsmål. Desuden bestod evalueringen i, at vi selv diskuterede vores indtryk af de personer, som vi havde talt med samt informationer og observationer fra virksomhedsbesøget.

6.2 Møder og terminalbesøg

I dette afsnit gives en kort gennemgang af de 14 møder og terminalbesøg, vi i efteråret 2003 arrangerede eller deltog i. Referaterne af disse ses i hhv. bilag D og E. Ved hvert møde eller terminalbesøg angives, hvem der var til stede fra den pågældende terminal, hvordan besøget forløb, og hvad de primære resultater var.

Indledendemøde i Vallensbæk d. 10. juni.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Problemformuleringsmøde i Vallensbæk d. 19. august.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Warm Welcome i Vallensbæk d. 25. august.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg og produktorienteringsmøde i Brøndby d. 12. september.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Disponentbesøg i Brøndby d. 25. september.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Orienteringsmøde i Vallensbæk d. 13. oktober.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg på Odense kurerstation d. 30. oktober.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg på Kolding kurerstation d. 30. oktober.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg på Padborg godsterminal d. 30. oktober.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg på Stilling godsterminal d. 6. november.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg på Stilling kurerstation d. 6. november.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg på Aalborg godsstation d. 6. november.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg, Aalborg, kurerstation 6. november.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Terminalbesøg, Esbjerg, godsterminal 21. november.
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

6.3 Resultater

I de følgende afsnit redegør vi for de centrale resultater, vi fik ud af de mange møder, terminalbesøg, telefonsamtaler og mails. Overordnet opnåede vi en stor viden om de mange forskellige aspekter i og omkring virksomheden og den problemstilling, vi skulle håndtere for DHL. Vi fik naturligvis mere ud af forløbet, end vi har præsenteret i det følgende, men vi har samlet de vigtigste elementer i de kategorier, som vi i projektforløbet gjorde stor brug af.

6.3.1 Projektemne og forventninger til projektet

Et centralt resultat, som fremkom under de første to møder med DHL samt en mængde mails, var fastlæggelse af projektemne og specificering af den konkrete opgave. Vi blev også præsenteret for virksomhedens forventninger til konkrete og brugbare værktøjer og handlingsplaner (gerne med økonomisk argumentation), som kunne implementeres eller give stof til debat i virksomheden. Dette svarede godt overens med vores forventninger til at udarbejde speciale i samarbejde med en virksomhed, så det fælles udgangspunkt for samarbejdet var lagt.

6.3.2 Udvidelse af netværket af kontaktpersoner

En anden meget vigtig ting, der kom ud af de mange møder og terminalbesøg, var udvidelse af vores netværk af kontaktpersoner. Ved at møde medarbejderne ansigt til ansigt skabte vi en basis for samarbejde, og det gjorde, at når vi ringede til personerne for at få yderligere oplysninger, havde vi positive samtaler, da vi havde mødt hinanden før. Vi lærte i løbet af projektperioden mange mennesker i DHL at kende, og det var i høj grad med til at give os et bredt indblik i virksomhedens kulturer og samarbejdet mellem medarbejdere, afdelinger og terminaler.

6.3.3 Terminalstruktur og fysisk opbygning

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

6.3.4 Arbejdsgange og produkter

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

6.3.5 Kendskab til medarbejderne

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

6.3.6 Forandringer i virksomheden

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

6.3.7 Opsamling

Gennem projektforløbet havde vi flere gange opfølgende samtaler eller møder med vores kontaktpersoner, hvilket gjorde, at de hele tiden vidste, hvor langt i processen vi var, samt var bekendt med vores ønsker, problemer og spørgsmål. Desuden havde de ved disse møder mulighed for at sikre sig, at vi var på rette spor.
I løbet af projektperioden havde vi gennem terminalbesøg, møder, mails og telefonsamtaler kontakt med over tredive forskellige medarbejdere fra DHL, hvilket var meget tidskrævende, men også meget lærerigt i forbindelse med vores projekt.
Kontakten med disse personer gav os et godt indblik i organisationen og de forandringer, som til stadighed skete og sker i virksomheden.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

Denne vores første del af problemhåndteringsprocessen gav os mange nyttige informationer om virksomheden, men ingen konkrete kvantitative data, som var nødvendige til anden del af problemhåndteringsprocessen, den matematiske modellering. Det lykkedes os i denne fase af projektet at skabe et bredt netværk af kontaktpersoner i DHL, som gav os en positiv tilkendegivelse om, at ville deltage i den workshop, som vi fortalte, at vi påtænkte at afholde som tredje del af vores problemhåndteringsproces.
Desuden kunne vi gennem oparbejdelsen af viden om virksomheden sætte grænserne for det videre håndteringsforløb. De elementer, vi som resultat af denne fase fravalgte, var bl.a. terminaloperationer og forbedringer af kurerdelen, selvom vi ville hente inspiration fra denne del af virksomheden.

De opnåede resultater fra denne del af problemhåndteringen bliver i kapitel 9 sammenholdt med resultaterne fra de to øvrige etaper i håndteringsprocessen.

Kapitel 7

Matematisk modellering

I dette kapitel beskrives og redegøres for de overvejelser, som lå til grund for anden del af problemhåndteringen, hvor vi ved brug af matematisk modellering søgte at besvare den fra DHL stillede opgave. Vi valgte i denne del af håndteringsprocessen at angribe den mere kvantitative del af opgaven ved at opbygge matematiske modeller og teste disse i GAMS.

I kapitlet beskrives indledningsvis (afsnit 7.1) arbejdet med de oprindelige modeller for hhv. lokaliseringsproblemet, som skulle bestemme terminalplaceringen, og udvidelsen af problemstillingen til omfattelse af ruteplanlægningen for de til en terminal tilknyttede kunder.
Kapitlets anden del (afsnit 7.2) omhandler udarbejdelse og løsning af modellen for den samlede problemstilling LRP, hvor både lokaliserings- og distributionsproblemet indgik.

Vores fremgangsmåde for den matematiske håndtering af hhv. lokaliserings-, distributionsproblemet og LRP var delt op i følgende faser:

- Klarlæggelse af problemstruktur, relationer, mål og begrænsninger.
- Udarbejdelse af matematisk model.
- Løsning af matematisk model.
- Evaluering.

7.1 Oprindelig planlagt fremgangsmåde

Vores oprindelige plan var at udarbejde to modeller, én for hver af de to delproblemer, lokalisering og distribution. Det betragtede lokaliseringsproblem omhandlede bestemmelse af det optimale antal terminaler i Vestdanmark samt placeringen af disse, og distributionsproblemet omhandlede udnyttelsen af materiellet til hhv. afhentning og levering af gods på den bedst mulige måde.

7.1.1 Lokaliseringsproblemet

Det generelle kapacitetsbegrænsede lokaliseringsproblem CFL, som er formuleret og beskrevet i afsnit 4.3.1 side 21, lå til grund for modelleringen af det betragtede problem. Den store forskel på de to problemer lå i, at vi skulle sikre, at alle forsendelser blev transporteret fra en bestemt afsender til en bestemt modtager, hvor det generelle problem ikke specificerer nogen krav vedrørende udgangspunkt og destination for varerne men blot sikrer, at alle kunder serviceres fra terminalerne. Denne forskel bød på nogle udfordringer, idet hele transportvejen for hver forsendelse skulle besluttes.

Problemstruktur

Spørgsmålet omkring antallet og placeringen af terminaler i Vestdanmark var et optimeringsproblem, hvor vi enten kunne maksimere profitten eller minimere omkostningerne forbundet med løsningen af problemet. Da det tidligt i projektforløbet viste sig, at vi ikke kunne få adgang til regnskaber eller tal for omsætning og fortjeneste, valgte vi at modellere problemet som et minimeringsproblem, hvor de samlede omkostninger forbundet med servicering af kunderne skulle minimeres. De begrænsninger, der umiddelbart skulle være opfyldt, var servicerings- og kapacitetskriterier.

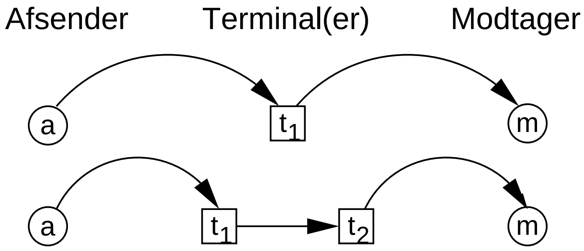
Nedenstående ses den opstilling af de mål og kriterier, der lå til grund for formuleringen af den eksakte matematiske model. Omkostningerne kunne opdeles i posterne, transport-, håndterings- og driftsomkostninger. Transportomkostningerne kunne direkte afledes af afstandene mellem afhentnings-, leveringsstederne og terminalerne sammenholdt med udgifter til chauffører og kilometerpriser. Håndteringsomkostningerne var forskellige fra terminal til terminal og blev angivet som en pris pr. mængde håndteret gods. Driftsomkostningerne dækkede over en samlet parameter for hhv. leje af lokaler, el, varme, vedligeholdelse osv. Ud fra disse betragtninger kunne en begrebsmodel for problemet formuleres således:

Minimér:	Transportomkostninger,	
	Håndteringsomkostninger og	
	Driftsomkostninger	
Således at:	Virksomhedens kunder serviceres og	(1)
	Terminalernes og bilernes kapacitet overholdes	(2)

Udarbejdelse af matematisk model for lokaliseringsproblemet

Udarbejdelse af en matematisk model foregår typisk over en længere periode, hvor flere forskellige modeller formuleres, revurderes og ændres. Vi påbegyndte arbejdet med den matematiske model for lokaliseringsproblemet i oktober 2003, i december tog en model, som omfattede alle begrænsninger, form, og den blev færdiggjort i januar 2004.
Vi vil ikke præsentere alle de modeller, der blev formuleret i løbet af modelleringsprocessen, men væsentlige trin i udviklingen bliver beskrevet, og lokaliseringsmodellen præsenteres i sin helhed i slutningen af dette afsnit.

Den indledende modelleringstilgang var at betragte problemstrukturen, som det ses i figur 7.1, hvor de mulige transportveje for en forsendelse er angivet: godstransport fra afsenderkunde a til modtagerkunde m over én (t_1) eller to ($t_1 \rightarrow t_2$) terminaler.



Figur 7.1: Grafisk oversigt over den indledende problemstruktur.

Denne struktur gjorde det nødvendigt at beslutte, hvorvidt en forsendelse skulle over én eller to terminaler samt hvilken/hvilke, der skulle benyttes. Vores første beslutningsvariabel for transporterne var derfor $x_{at_1t_2mb}$, der angav, hvorvidt bil b skulle køre fra afsenderkunde a over terminal t_1 og t_2 (hvor t_1 godt kunne være lig t_2, hvilket svarede til transport over én terminal) til modtagerkunde m.
Denne beslutningsvariabel repræsenterede i kraft af sine fem indeks næsten 10 mio. binære variable[1], hvilket efter vores formodning ikke ville være muligt at løse til optimalitet, idet løsningsrummet ville blive meget stort.

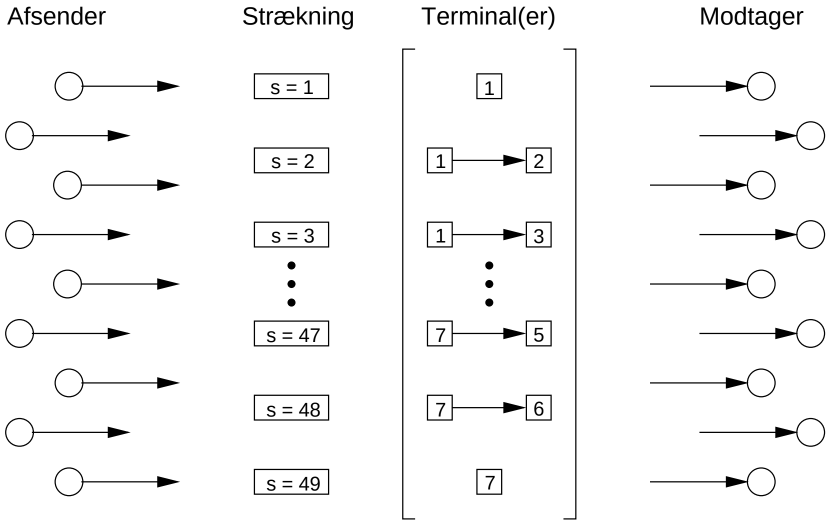
Efter dette indledende modelleringsarbejde blev en række modeller formuleret i takt med, at nye idéer og problemer dukkede op. Det første større skridt, vi tog til en markant forbedring, og som førte os et godt stykke nærmere den færdige lokaliseringsmodelmodel, beskrives i det følgende afsnit.

Den ændrede problemstruktur var et resultat af erkendelsen af, at den model, vi som udgangspunkt arbejdede med, indeholdt et for stort antal variable. Vi revurderede derfor den problemstruktur, der lå til grund for den indledende modellering af problemet. Der var to elementer, som ændrede problemstrukturen markant og førte til en reduktion i modelstørrelsen.

For det første blev vi opmærksomme på, at beslutningsvariablen $x_{at_1t_2mb}$ angav valg af transportvej fra afsender og hele vejen til modtager, selvom det ikke var nødvendigt at bestemme sidste transportled (fra terminal til modtager), da det var givet, hvor forsendelsen skulle leveres. Valget, som beslutningsvariablen skulle repræsentere, vedrørte derfor kun transporten fra afsender til anden terminal (eller første hvis der kun benyttedes én terminal), og transporten fra terminal til modtagerkunde skulle således ikke repræsenteres af en beslutningsvariabel, da dette sidste transportled blot skulle indgå i omkostningsberegningerne.

[1]Hvis vi antog, at der var 100 afsenderkunder, 7 terminalplaceringer, 100 modtagerkunder og 20 biler.

For det andet fandt vi frem til en problemstruktur, hvor hver terminal ikke længerere blev betragtet som en valgmulighed, således at beslutningsproblemet blev bygget op over strækninger som en kombination af én eller to terminaler. Princippet i den nye problemstruktur ses i figur 7.2.



Figur 7.2: Den ændrede problemstruktur med strækninger som kombination af terminaler.

Denne måde at anskue problemet på gav færre valgmuligheder, idet man for hver forsendelse skulle beslutte, hvilken af de 49 mulige strækninger[2], der skulle benyttes til transporten, hvor man i den oprindelige struktur først skulle beslutte, hvilken terminal der skulle være den første derefter, hvilken terminal der skulle være den anden, og endelig hvortil forsendelsen skulle leveres.

Til dette problem angav beslutningsvariablen x_{fs}, om forsendelse f skulle transporteres over strækning s. Dette gav derfor en reduktion til bare små 5.000 beslutningsvariable[3]. Hertil kom, ligesom i den oprindelige problemstruktur, to binære beslutningsvariable y_t og z_b, som angav hhv., om terminal t skulle være åben eller ej, og om bil b skulle benyttes eller ej, samt nogle kontinuerte variable, der benyttedes til beregninger i begrænsninger og objektfunktion.

Lokaliseringsmodellen med færre binære variable byggede således på den ændrede problemstruktur, men selvom denne resulterede i langt færre variable, var det stadig muligt, at problemet ikke ville kunne løses, idet de ca. 5.000 variable var binære, hvilket ville vanskeliggøre løsningen. Ved at ændre x_{fs} til en kontinuert variabel, kom vi frem til en formulering, der kun indeholdt så mange binære variable, som der var terminaler (y_t) og biler (z_b)[4].

Det, der kunne gå tabt ved at eliminere den binære variabel og i stedet benytte en kontinuert variabel, var betingelser som eksempelvis $\sum_s x_{fs} = 1,\ \forall f$, hvor vi oprindelig

[2] Antallet af kombinationsmuligheder hvor en eller to af i alt syv terminaler indgik.
[3] Antallet blev beregnet ud fra 100 forsendelser f og 49 strækninger s.
[4] Antallet af binære variable var lig summen af de 20 biler b og de 7 terminaler t.

sikrede, at alle forsendelser blev transporteret over netop én strækning og altså ikke blev splittet op.
Det var vores vurdering, at tabet af denne begrænsningsmulighed ikke ville være noget problem af to årsager. For det første foretog DHL ofte afhentninger af forsendelser med flere biler, og for det andet var det vores formodning, at løsning af problemet naturligt ville resultere i valg af netop én strækning for hver forsendelse i stedet for opsplitning, da det ville mindske transportomkostningerne.

I tabel 7.1 ses de parametre og beslutningsvariable, der indgik i den færdige matematiske formulering af lokaliseringsproblemet.

Parametre	
F_f	Forsendelsesmængde for forsendelsesnummer f
T_b	Transportomkostning pr. km for bil b
H_t	Håndteringsomkostning på terminal t
D_t	Driftsomkostning på terminal t
V_t	Volumen (kapacitet) for terminal t
K_b	Kapacitet for bil b (forskellig for distributions- og lastbiler)
S_{st}	0-1-matrix der angav, om strækning s indeholdt terminal t
$Foerst_{st}$	0-1-matrix der angav, om terminal t lå først på strækning s
$Sidst_{st}$	0-1-matrix der angav, om terminal t lå sidst på strækning s
ax_f, ay_f	x- og y-koordinat for afsender af forsendelse f
mx_f, my_f	x- og y-koordinat for modtager af forsendelse f
x_t, y_t	x- og y-koordinat for terminal t
Beslutningsvariable	
$x_{fs} \geq 0$	Mængde af forsendelse f der skulle transporteres over strækning s
$y_t = \{0, 1\}$	Åbnes terminal t ($y_t = 1$) eller ej ($y_t = 0$)?
$z_b = \{0, 1\}$	Benyttes bil b ($z_b = 1$) eller ej ($z_b = 0$)?
$p_{ftb} \geq 0$	Mængde af forsendelse f bil b skulle afhente og køre til terminal t
$l_{sb} \geq 0$	Mængde *line haul*-forsendelser bil b skulle køre på strækning s ($t_1 \rightarrow t_2$)
$D_{ftb} \geq 0$	Mængde af forsendelse f bil b skulle levere fra terminal t

Tabel 7.1: Notation for den matematiske model for lokaliseringsproblemet.

En nærmere beskrivelse af parametre og beslutningsvariable i lokaliseringsproblemet ses i bilag C.8.

Den matematiske model for lokaliseringsproblemet blev formuleres således:

$$
\begin{array}{llllll}
\text{Min} & \displaystyle\sum_{t,b} T_b \frac{\sum_f [\frac{\sum_t p_{ftb}}{F_f} \sqrt{(ax_f - x_t)^2 + (ay_f - y_t)^2}]}{[\frac{\sum_t p_{ftb}}{2F_f}]} + & & & & \\
& \displaystyle\sum_t H_t \sum_{fb} p_{ftb} + & & & & \\
& \displaystyle\sum_{s,b} \frac{T_b l_{sb}}{K_b} + & & & & \\
& \displaystyle\sum_t H_t \sum_{fb} d_{ftb} + & & & & \\
& \displaystyle\sum_{t,b} T_b \frac{\sum_f [\frac{\sum_t d_{ftb}}{F_f} \sqrt{(mx_f - x_t)^2 + (my_f - y_t)^2}]}{[\frac{\sum_t d_{ftb}}{2F_f}]} + & & & & \\
& \displaystyle\sum_t D_t y_t & & & & \\
\text{Uht.} & \displaystyle\sum_s x_{fs} & = & F_f, & \forall f & (1) \\
& \displaystyle\sum_f x_{fs} & \leq & S_{st} V_t y_t, & \forall s, t & (2) \\
& \displaystyle\sum_s Foerst_{st} x_{fs} & = & \sum_b p_{ftb}, & \forall f, t & (3) \\
& \displaystyle\sum_{f,t} p_{ftb} & \leq & K_b z_b, & \forall b & (4) \\
& \displaystyle\sum_s Sidst_{st} x_{fs} & = & \sum_b d_{ftb}, & \forall f, t & (5) \\
& \displaystyle\sum_{f,t} d_{ftb} & \leq & K_b z_b & \forall b & (6) \\
& \displaystyle\sum_f (\sum_t S_{st} - 1) x_{fs} & = & \sum_b l_{sb}, & \forall s & (7) \\
& l_{sb} & \leq & K_b z_b, & \forall s, b & (8) \\
& \displaystyle\sum_s l_{sb} & = & 0, & b \leq 10 & (9) \\
& \multicolumn{5}{l}{x_{fs} \in \mathcal{R}_+^{|\mathcal{F}| \times |\mathcal{S}|}, \quad y_t \in \mathcal{B}_+^{|\mathcal{T}|}, \quad z_b \in \mathcal{B}_+^{|\mathcal{B}|},} \\
& \multicolumn{5}{l}{p_{ftb} \in \mathcal{R}_+^{|\mathcal{F}| \times |\mathcal{T}| \times |\mathcal{B}|}, \quad l_{sb} \in \mathcal{R}_+^{|\mathcal{S}| \times |\mathcal{B}|}, \quad d_{ftb} \in \mathcal{R}_+^{|\mathcal{F}| \times |\mathcal{T}| \times |\mathcal{B}|}}
\end{array}
\qquad (7.1)
$$

Objektfunktionen, der skulle minimere de samlede omkostninger, bestod af seks led, hvoraf de første fem repræsenterede transportvejen for forsendelser. Det første led var de samlede omkostninger forbundet med afhentning af forsendelser, dvs. transporten

fra afsenderkunde til (første) terminal. Andet led var de samlede håndteringsomkostninger på alle første terminaler. Tredje led repræsenterede omkostningerne forbundet med *line haul*-transporter. Fjerde og femte led var hhv. håndteringsomkostninger på anden terminal (for de strækninger, der bestod af to terminaler) og omkostninger forbundet med levering af forsendelser til modtagerkunder. Sjette led i objektfunktionen repræsenterede driftsomkostninger på alle de terminaler, der blev besluttet åbne.
Den første begrænsning sikrede tilfredsstillelse af efterspørgslen, idet summen over alle strækninger s af de forsendelsesmængder, der skulle transporteres på strækningerne, skulle være lig den mængde, der svarede til forsendelse f.
Anden begrænsning sikrede både, at der kun blev sendt gods over de strækninger, hvor terminalen/terminalerne var åbne (dvs. hvor $y_t = 1$), samt at kapacitetsbegrænsninger for terminalerne ikke blev overskredet.
I tredje begrænsning blev den samlede mængde gods, der blev hentet ved afsender af forsendelse f og kørt til terminal t, beregnet. Denne størrelse var lig summen over alle strækninger af $Foerst_{st} \cdot x_{fs}$. Denne mængdesum skulle fordeles på de biler, som skulle afhente gods og køre det til terminal t, dvs. summen over alle biler b af *pick up*-variablen p_{ftb}.
Fjerde begrænsning sikrede, at kapaciteten for bil b ikke blev overskredet, når denne skulle benyttes til afhentninger, samt at der ikke blev afhentet gods med "ikke benyttede" biler. Dermed blev det også sikret, at en bil kun blev benyttet til enten afhentning, *line haul*-transport eller levering, idet den binære variabel z_b blev lig 1, når bil b blev taget i brug.
Femte og sjette begrænsning sikrede det samme for leveringstransporterne, som tredje og fjerde begrænsning sikrede for afhentningerne.
I syvende begrænsning blev den samlede mængde *line haul*-gods, der skulle transporteres på strækning s, beregnet. Denne størrelse var lig summen over al gods, der skulle transporteres på strækninger med to terminaler (dvs. $\sum_t S_{st} = 2 \Rightarrow (\sum_t S_{st} - 1) = 1$). Denne sum var således lig summen over alle biler b af *line haul*-mængden l_{sb}.
I ottende begrænsning blev det sikret, som tilsvarende i begrænsning fire og seks, at kapaciteten for biler, der skulle benyttes til *line haul*-transport, blev overholdt, samt at beslutningsvariablen z_b blev sat lig 1, når bil b blev benyttet.
Niende begrænsning sikrede, at der ikke blev benyttet distributionsbiler ($b \geq 11$) til *line haul*-transport, og sluttelig blev beslutningsvariablenes domæner angivet.

Størrelsen af modellen kunne beregnes ud fra datamængden, som vi måtte antage, da vi ikke kendte de reelle datastørrelser. Hvis antallet af forsendelser ($|\mathcal{F}|$) var 100 og antallet af biler ($|\mathcal{B}|$) 20, og der var 7 terminaler ($|\mathcal{T}|$), hvilket medførte 49 strækninger ($|\mathcal{S}|$), fik vi 33.907 variable, hvoraf 27 var binære[5]. Efter samme antagelser kunne vi beregne modellen til at bestå af 2.922 begrænsninger[6].

[5] Antallet af variable blev beregnet således: $\sum_{f,s} x_{fs} = 100 \times 49 = 4.900$, $\sum_t y_t = 7$, $\sum_b z_b = 20$, $\sum_{f,t,b} p_{ftb} = 100 \times 7 \times 20 = 14.000$, $\sum_{s,b} l_{sb} = 49 \times 20 = 980$ og $\sum_{f,t,b} d_{ftb} = 100 \times 7 \times 20 = 14.000$.

[6] Antallet af begrænsninger blev beregnet således: $100+49\times7+100\times7+20+100\times7+20+49+49\times20+10$.

Løsning af lokaliseringsmodellen

Vi forsøgte at løse den matematiske model for lokaliseringsproblemet ved brug af optimeringsværktøjet GAMS. Koden til programmet kan ses i bilag F.3.

Da vi testede modellen på et konstrueret eksempel, viste det sig ikke muligt at løse problemet i GAMS (i bilag G.2 ses fejlmeddelselsen), hvilket kunne hænge sammen med flere ting. Vi vurderede, at der var to primære årsager til, at problemet ikke kunne løses i den præsenterede formulering:

(1) I et forsøg på at undgå for mange binære variable i modellen, havde vi opbygget denne således, at den bestod af et forholdsvis stort antal reelle variable og komplicerede afhængigheder mellem disse. Da vi som nævnt mistede nogle muligheder for at formulere valg og beslutninger, da vi fravalgte størstedelen af de binære variable, blev begrænsningerne for de reelle variable mindre gennemskuelige udregninger, hvilket komplicerede modellen.

(2) For på en virkelighedstro måde at kunne udregne de reelle afstande, som bilerne skulle tilbagelægge, uden at kende de faktiske ruter, ville vi benytte `min`- og `max`-funktionerne. Disse kan dog ikke benyttes i GAMS, når der er tale om et problem med blandede variable (`mip`), hvilket gjorde det nødvendigt at beregne tilnærmede afstande på en måde, som var temmelig svær at gennemskue. Dette medførte desuden, at man ikke umiddelbart kunne se, om modellen reelt fandt en god eller eventuelt en optimal løsning, hvorfor det var svært at vurdere kvaliteten af denne.

Efter erkendelsen af, at lokaliseringsmodellen ikke kunne løses ved brug af GAMS, fortsatte vi med at arbejde frem mod en bedre formulering af problemet, hvilket gled over i arbejdet med den samlede lokaliserings- og ruteplanlægningsmodel LRP, som præsenteres i afsnit 7.2. I dette modelleringsarbejde forsøgte vi at imødekomme ovenstående problemer med lokaliseringsmodellen.

7.1.2 Distributionsproblemet

Et klassisk eksempel på distributionsproblemer (eller ruteplanlægningsproblemer) er VRP, der ses formuleret og beskrevet i afsnit 4.3.1 side 21. Ligesom CFL udgjorde basen for opbygningen af den matematiske model for lokaliseringsproblemet, lå denne generelle model for VRP til grund for modelleringen af det betragtede ruteplanlægningsproblem.

Når vi bruger betegnelsen "distributionsproblem", dækker dette over ruteplanlægningsproblemet for afhentning og levering.

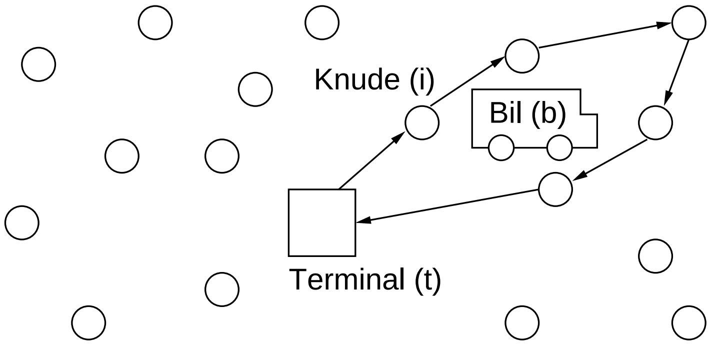
Problemstruktur

Optimeringsproblemet omkring ruteplanlægningen for afhentning og levering kunne i princippet både formuleres som et profitmaksimerings- og som et omkostningsminimeringsproblem. Med samme argumenter som i lokaliseringsproblemet valgte vi i modellen at minimere omkostningerne forbundet med afhentnings- og leveringsoperationerne.

Mål og kriterier for distributionsproblemet kunne opstilles således:

Minimér:	Transportomkostninger	
Således at:	Der afhentes/leveres ved alle kunder og	(1)
	Bilernes kapacitet overholdes	(2)

Transportomkostningerne, som skulle minimeres, afhang af de distancer, bilerne skulle køre, samt kilometerprisen for bilerne. Bilerne skulle servicere alle de kunder, der var knyttet til den pågældende terminal, og bilernes kapacitet skulle overholdes. I figur 7.3 ses en grafisk oversigt over problemstrukturen for distributionsproblemet.



Figur 7.3: Problemstruktur for distributionsproblemet.

Modellen skulle således bestemme bilruter for hver åben terminal, således at alle kunder ville blive besøgt af mindst én bil. Disse ruter skulle vælges således, at de kørte bildistancer multipliceret med de respektive kilometerpriser tilsammen blev mindst mulige. På baggrund af denne begrebsmodel og problemstruktur udarbejdede vi den matematiske model for distributionsproblemet.

Udarbejdelse af matematisk model for distributionsproblemet

Til forskel fra arbejdet med den matematiske model for lokaliseringsproblemet var det forholdsvis ukompliceret at modellere distributionsproblemet. Vi påbegyndte den matematiske model i februar 2004, og selve udarbejdelsen gik forholdsvis hurtigt i sammenligning med modelleringen af lokaliseringsproblemet. Dette hang som nævnt sammen med, at problemet lå meget tæt op ad det velkendte VRP, således at vi slet ikke i samme omfang som ved modelleringen af lokaliseringsproblemet skulle overveje delproblemer, kriterier og vanskelige formuleringer.

Der bliver derfor ikke beskrevet flere etaper i dette afsnit, men blot de få skridt, der var fra formuleringen af det generelle VRP til modellen for det betragtede ruteplanlægningsproblem.

Der var to store forskelle mellem modellen for det simple VRP og DHL's ruteplanlægningsproblem. Den ene var, at det simple VRP indebærer, at hver kunde kun skal besøges af én bil, mens det i det aktuelle distributionsproblem var nødvendigt at afhente/levere med flere biler, hvis forsendelsesmængden var stor eller skulle forskellige steder hen/kom forskellige steder fra. Den anden forskel lå i kapaciteten for bilerne, som ikke var konstant. Disse to forskelle betød, at begrænsningerne $\sum_{k,j} x_{ijk} = 1, \; \forall i \in \mathcal{I}$ og $\sum_{i,j} d_i x_{ijk} \leq q, \; \forall k \in \mathcal{K}$ fra det generelle VRP skulle ændres, således at de kom til at svare til det betragtede distributionsproblem.

I første begrænsning skulle "=" i princippet ændres til "≥", da flere biler godt kunne besøge den samme kunde. Dette ville dog nødvendiggøre en række andre ændringer i modellen[7]. Derfor valgte vi at repræsentere hver enkelt forsendelse som en ny kunde i modellen (dvs. hvis eksempelvis en afsender havde gods til to forskellige modtagere, blev denne repræsenteret af to knuder/kunder i grafen). Dette betød, at der i modellen skulle opereres med flere kunder, end der reelt var, men til gengæld var det muligt at beholde lighedsbegrænsningen i den simple matematiske formulering.

Anden begrænsning skulle ændres således, at højre side repræsenterede de forskellige kapaciteter, bilerne havde. Den konstante faktor q skulle derfor erstattes af en parameter med indekset b. Ved omskrivning til den notation, vi benyttede i modellen, blev begrænsningen således ændret til $\sum_{i,j} F_i x_{ijb} \leq K_b, \; \forall b$, hvor forsendelsesmængden F_i svarede til efterspørgslen d_i i VRP, og kapaciteten K_b erstattede konstanten q.

I tabel 7.2 ses de parametre og beslutningsvariable, der indgik i den matematiske model for distributionsproblemet.

Parametre	
F_i	Forsendelsesmængde for kunde i
A_{ij}	Afstand mellem knude i og j
T_b	Transportomkostning pr. km for bil b
K_b	Kapacitet for bil b (forskellig for distributions- og lastbiler)
Beslutningsvariable	
$x_{ijb} = \{0, 1\}$	Kører bil b direkte fra knude i til j ($x_{ijb} = 1$) eller ej ($x_{ijb} = 0$)?

Tabel 7.2: Notation for den matematiske model for distributionsproblemet.

[7] Eksempelvis skulle anden begrænsning i VRP, der sikrer overholdelse af bilkapaciteten, ændres, da denne i den generelle formulering sikrer, at summen over alle kunder af efterspørgslen d_i multipliceret med beslutningsvariablen x_{ijb} ikke overstiger kapaciteten q. Hvis det skulle være en mulighed, at kunde i blev besøgt af flere biler, skulle begrænsningen tilpasses således, at summen over de andele af kundernes samlede forsendelse, som bil b skulle afhente/levere, ikke ville overstige kapaciteten.

Den matematiske model for distributionsproblemet blev formuleres således:

$$
\begin{array}{llcllc}
\text{Min} & \sum_{i,j,b} A_{ij} T_b x_{ijb} & & & & \\
\text{Uht.} & \sum_{b,j} x_{ijb} & = & 1, & \forall i & (1) \\
& \sum_{i,j} F_i x_{ijb} & \leq & K_b, & \forall b & (2) \\
& \sum_{j} x_{0jb} & = & 1, & \forall b & (3) \\
& \sum_{i} x_{ihb} - \sum_{j} x_{hjb} & = & 0, & \forall h, b & (4) \\
& \sum_{i} x_{i(n+1)b} & = & 1, & \forall b & (5) \\
& x_{ijb} \in \mathcal{R}_{+}^{|\mathcal{I}|^2 \times |\mathcal{B}|} & & & &
\end{array}
\tag{7.2}
$$

Objektfunktionen skulle minimere de samlede omkostninger forbundet med servicering af de kunder, der var tilknyttet terminalen. Første begrænsning sikrede, at hver kunde i blev besøgt netop én gang. Anden begrænsning sikrede, at kapaciteterne for bilerne ikke blev overskredet. I tredje begrænsning blev det sikret, at alle biler kørte ud fra terminalen ($i = 0$) netop én gang. Fjerde begrænsning sikrede, at det samme antal biler (netop én bil) kørte hhv. til og fra hver kunde, således at der ikke blev "ophobet" eller opstod et "negativt antal" biler i knuderne. Svarende til tredje begrænsning blev det i den femte sikret, at alle biler skulle vende tilbage til terminalen ($i = n + 1$) igen. Til sidst blev domænet for beslutningsvariablen x_{ijb} angivet.

Størrelsen af distributionsmodellen blev beregnet efter samme antagelser om datastørrelse som i lokaliseringsmodellen. Med 100 forsendelser og 7 terminaler fik vi i alt 207 knuder (100 afsenderkunder, 100 modtagerkunder og 7 terminaler), hvilket gav 856.980 binære variable og 4.407 begrænsninger[8].

Løsning af distributionsmodellen

Efter formuleringen af distributionsproblemet, som skulle bygge på tilknytningen af kunder til terminaler ud fra lokaliseringsmodellen, var det videre arbejde med denne allerede godt i gang, og den samlede model for de to delproblemer var begyndt at tage form. Da det ikke var meningsfyldt for dette projekt at løse et testeksempel for distributionsproblemet alene, som vi ikke havde mulighed for at tilpasse den virkelige situation, forsøgte vi ikke at løse modellen i GAMS.

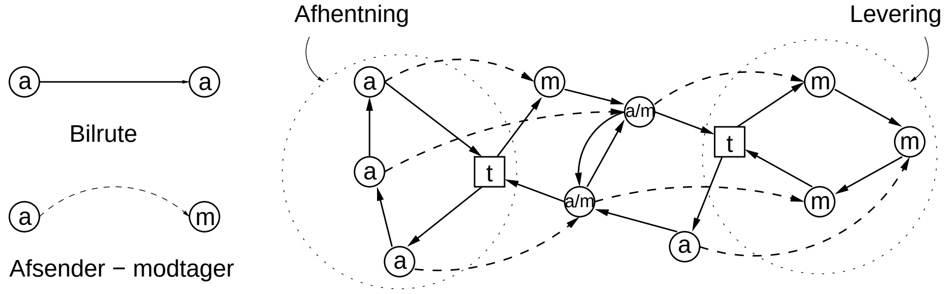
[8] Disse antal blev beregnet således: $\sum_{i,j,b} x_{ijb} = 207 \times 207 \times 20 = 856.980$ og $200 + 40 + 40 + 200 \times 40 + 40 = 4.407$.

7.2 Samlet lokaliserings- og distributionsproblem

Matematisk modellering af et LRP (*Location-Routing Problem*), som er en kombination af lokaliserings- og distributionsproblemer, medfører et mere omfattende arbejde end separate formuleringer af de to delproblemer. Vi forventede dog at opnå nogle af de synergieffekter, der gik tabt ved at betragte de to delproblemer hver især. Desuden ville løsningen af det samlede problem muligvis give mere tilfredsstillende resultater, idet den først anvendte dekomposition af problemstillingen ville have medført, at løsningen for hvert delproblem ikke nødvendigvis svarede til den bedst mulige løsning for det samlede problem.
Da vi i forbindelse med lokaliseringsproblemet havde udført et stort forarbejde, var processen frem mod den endelige matematiske model forholdsvis kort, men dog langt fra problemfri.

7.2.1 Problemstruktur

En væsentlig ændring i problemstrukturen i forhold til det foregående arbejde med modellerne bestod i antallet af terminaler, der blev givet mulighed for transport over. I lokaliseringsmodellen kunne forsendelser transporteres fra afsender til modtager over enten én eller to terminaler. Vi valgte at foretage en begrænsning, således at transporterne skulle foregå fra afsender til modtager over blot én terminal.
At udelukke muligheden for at transportere forsendelser over flere terminaler var en væsentlig simplificering i forhold til arbejdet med den matematiske modellering af problemet, idet problemstrukturen blev betydelig mindre kompliceret. I forhold til virkeligheden for virksomheden ville simplificeringen naturligvis have en vis indflydelse, men da der reelt kun blev opereret med én *line haul* i Danmark, og denne "terminal til terminal-transport" foregik mellem Stilling- og Brøndby-terminalen, ville forenklingen ikke have nogen umiddelbar indflydelse på LRP for Vestdanmark, som jo ikke inkluderede terminalen i Brøndby. Der var dog en begrænset transport af stykgods mellem Aalborg- og hhv. Stilling- og Brøndby-terminalen, så her ville modellen have en svaghed i forhold til virkeligheden.
På figur 7.4 ses princippet i problemstrukturen for det betragtede LRP. Afsendere er angivet med a, modtagere med m og terminaler med t. De optrukne linier angiver bilruter, og de stiplede linier angiver sammenhængen mellem afsendere og modtagere.



Figur 7.4: Problemstruktur for det samlede problem (LRP). Her er vist et simpelt eksempel med to afhentnings- og to leveringsruter.

Ligesom beskrevet i begrebsmodellen for lokaliseringsproblemet var målet med modellen at minimere de samlede omkostninger forbundet med transport, håndtering og drift, idet det var disse tre faktorer, som skulle vejes op imod hinanden i forbindelse med beslutning af antallet og placeringen af terminaler.
De overordnede begrænsninger var stadig servicering af kunder og overholdelse af bil- og terminalkapaciteter, men dertil kom tilknytning af hhv. afsender- og modtagerkunder til terminaler. I formuleringen af lokaliseringsmodellen bestod valget i tilknytning af forsendelser til strækninger (x_{fs}). Som beskrevet i følgende afsnit resulterede en ændring af beslutningsvariable i nødvendigheden af at tilføje en begrænsning, der sikrede, at modtagerkunder blev tilknyttet samme terminal som deres respektive afsenderkunder.
Derfor kom begrebsmodellen med problemets kriterier til at se således ud:

Minimér:	Transportomkostninger,	
	Håndteringsomkostninger og	
	Driftsomkostninger	
Således at:	Virksomhedens kunder serviceres,	(1)
	Afsender- og modtagerkunder tilknyttes samme terminal og	(2)
	Terminalernes og bilernes kapacitet overholdes	(3)

7.2.2 Udarbejdelse af matematisk model

Vi påbegyndte modelleringsarbejdet i forbindelse med løsningen af lokaliseringsproblemet, som foregik i februar 2004. Processen var ikke som i de foregående afsnit klart opdelt i en formuleringsfase efterfulgt af implementering og eventuel løsning, da vi sideløbende med modelleringen løste mindre testproblemer i GAMS for at sikre brugbarhed af modellen. Når en model ikke kunne løses, ændrede vi således iterativt formuleringen, indtil den endelige model fremkom.
Modelleringsarbejdet tog udgangspunkt i lokaliseringsmodellen, hvor den store svaghed lå i afstandsberegningen. Da lokaliseringsmodellen ikke indeholdt nogen beslutningsvariabel, der angav bilernes ruter, blev beregningen af de samlede kørte distancer en forholdsvis grov tilnærmelse.
For at imødekomme dette ændrede vi sættet af beslutningsvariable radikalt. Vi vil igen ikke præsentere alle de mange formuleringer, vi i løbet af modelleringsprocessen arbejdede med, men i de følgende afsnit fremhæve to væsentlige trin i forløbet.

Første trin i sammenlægningen af lokaliserings- og distributionsproblemet

Den første store ændring skete ved indførslen af beslutningsvariablene x_{ij}, y_t, z_b og w_{kt}, som alle var binære. Variablen x_{ij} angav, om der blev kørt direkte fra knude i til knude j, dvs. om en af de benyttede biler b havde strækningen (i, j) på sin rute. Variablene y_t og z_b angav som hidtil, hvorvidt hhv. terminal t og bil b skulle benyttes. Tilknytningsvariablen w_{kt} repræsenterede sammenhængen mellem kunder k og terminaler t og skulle således være lig 1, hvis kunde k og terminal t blev besøgt af den samme bil b. Netop dette kriterium medførte vanskeligheder, idet der ikke var nogen variabel, der knyttede biler til knuder.

Modellen, som nu indeholdt både beslutningen omkring placering af terminaler og ruter for biler, kunne let beregne afstande, idet beslutningsvariablen x_{ij} blot skulle sammenholdes med afstandene mellem knuderne, men til gengæld gav tilknytningskriterierne store problemer, hvilket gjorde, at vi igen ændrede beslutningsvariablene.

Tilføjelse af besøgsvariabel, der angav rækkefølge

Den anden vigtige ændring, som skulle føre frem til den endelige matematiske model for problemet, bestod i indførelsen af indekset n, som angav nummeret for et knudebesøg. Beslutningsvariablen x_{ij} blev ændret til x_{inb} og angav således, hvorvidt bil b besøgte knude i som nummer n. Dette gav således direkte bilruterne, mens der til gengæld lå en udfordring i beregning af de kørte afstande. Den store fordel ved denne beslutningsvariabel var, at den repræsenterede rækkefølgen på knudebesøg for hver bil uden at have det store antal indeks, som distributionsmodellens x_{ijb} havde. Ved at benytte nummerindekset n, hvis mængde $|\mathcal{N}|$ var langt mindre end antallet af knuder $|\mathcal{I}|$, blev antallet af binære variable reduceret betydeligt, hvilket skulle gøre det muligt at løse modellen i GAMS. I tabel 7.3 ses de indeks, parametre og beslutningsvariable, der indgår i den endelige matematiske model.

Indeks	
$i, j \in \mathcal{I}$	Knuder, dvs. terminaler og (afsender-/modtager-)kunder
$t \in \mathcal{T} \subset \mathcal{I}$	Terminaler
$k, l \in \mathcal{K} \subset \mathcal{I}$	Kunder
$a \in \mathcal{A} \subset \mathcal{K}$	Afsenderkunder
$m \in \mathcal{M} \subset \mathcal{K}$	Modtagerkunder
$b \in \mathcal{B}$	Transportbil
$n, h \in \mathcal{N}$	Nummer på en bilrute
Parametre	
M_a	Mængde af gods som afsenderkunde a skal have transporteret
T_b	Transportomkostning for bil b
H_t	Håndteringsomkostning for terminal t
D_t	Driftsomkostning for terminal t
Vol_t	Volumen for terminal t
Kap_b	Kapacitet for bil b
S_{am}	0-1-matrix der angiver sammenhæng mellem a og m
Aa_{ij}	Afstand mellem afsenderkunder a og terminaler t
Am_{ij}	Afstand mellem modtagerkunder m og terminaler t
Beslutningsvariable	
$x_{inb} = \{0,1\}$	Besøger bil b knude i som nummer n ($x_{inb} = 1$)?
$y_t = \{0,1\}$	Åbnes terminal t ($y_t = 1$)?
$z_b = \{0,1\}$	Benyttes bil b ($z_b = 1$)?
$w_{amt} = \{0,1\}$	Knyttes afsender a og modtager m til terminal t ($w_{amt} = 1$)?
$d_{i,j,n,b} \geq 0$	Distance bil b kører fra i som nummer n til j som nummer $n+1$

Tabel 7.3: Notation for den endelige matematiske model for det samlede problem, LRP.

Indekset i dækker over samtlige knuder (mængden $\mathcal{I}$), dvs. både terminaler, afsender- og modtagerkunder. I flere af modellens begrænsninger indgår der forskellige værdier af i, hvorfor indekset j indføres som et alias og derfor tilhører samme mængde.
Indekset t dækker over terminaler ($\mathcal{T} \subset \mathcal{I}$), k angiver kunder ($\mathcal{K} \subset \mathcal{I}$), og a og m dækker over hhv. afsender- og modtagerkunder ($\mathcal{A}$ og $\mathcal{M} \subset \mathcal{I}$). Alle disse fire indeks er indeholdt i mængden af knuder. Da det i en enkelt begrænsning er nødvendigt at sammenholde kunder med forskellige værdier af k, benyttes indekset l som et alias. Indekset b dækker over bilparken ($\mathcal{B}$), og n er nummeret i en bilrute, hvor en knude i grafen besøges ($\mathcal{N}$). Indekset h et alias for n.

Den mængde gods, som afsenderkunde a skal sende, angives ved M_a, transport-, håndterings- og driftomkostningerne angives ved hhv. T_b, H_t og D_t, og Kap_b og Vol_t er kapaciteterne for biler og terminaler. Matricen S_{am} har et ettal på de pladser, hvor afsenderkunde a skal sende gods til modtagerkunde m, og et nul på de pladser, hvor der ikke er nogen sammenhæng mellem a og m. Afstandsmatricerne Aa_{ij} og Am_{ij} indeholder afstandene mellem afsenderkunder og terminaler hhv. modtagerkunder og terminaler.

Beslutningsvariablen x_{inb} er som beskrevet binær og lig 1, hvis bil b besøger knude i som nummer n på dens rute, og 0 ellers. Det er denne beslutningsvariabel, der knytter de to delproblemer lokaliseringen og distributionen sammen. Ved sammenhængen mellem x_{inb} og den binære variabel y_t, der er lig 1, hvis terminal t åbnes, og 0 ellers, bestemmes placeringen af terminalerne, og ved sammenhængen med den binære variabel z_b, som er lig 1, hvis bil b benyttes, og 0 ellers, bestemmes antallet af biler og deres ruter ud fra terminalerne.
Den binære beslutningsvariabel w_{amt} angiver tilknytningen mellem afsender-, modtagerkunder og terminaler. Hvis afsenderkunde a skal sende til modtagerkunde m, og godset transporteres over terminal t, sættes w_{amt} lig 1, og 0 ellers.
Modellens eneste kontinuerte variabel d_{ijnb} angiver den deldistance, som bil b tilbagelægger mellem knude i som nummer n og knude j (som nummer $n+1$). Hvis bil b ikke kører direkte fra i til j, vil d_{ijnb} således være lig 0. Summen af alle disse distancer indgår i objektfunktionen. Umiddelbart kan de mange indeks på variablen undre, men det viste sig i løbet af modelleringsprocessen, at dette valg af beslutningsvariabel var det mest hensigtsmæssige til afstandsberegningen. Vi redegør for dette i gennemgangen af modellen senere i afsnittet.

Den endelige matematiske model for det samlede problem er således:

$$
\begin{array}{llcll}
\text{Min} & \multicolumn{4}{l}{\displaystyle\sum_{i,j,n,b} T_b d_{ijnb} + \sum_{a,m,t} H_t M_a w_{amt} + \sum_t D_t y_t} \\
\text{Uht.} & \displaystyle\sum_{n,b} x_{knb} & = & 1, & \forall k \quad (1) \\
 & \displaystyle\sum_{i} x_{inb} & \leq & 1, & \forall n,b \quad (2) \\
 & x_{anb} + x_{mhb} & \leq & 1, & \forall a,m,n,h,b \quad (3) \\
 & \displaystyle\sum_{t} x_{t1b} & = & z_b, & \forall b \quad (4) \\
 & \displaystyle\sum_{k} x_{k2b} & = & z_b, & \forall b \quad (5) \\
 & \displaystyle\sum_{l} x_{ln-1b} & \geq & \displaystyle\sum_k x_{knb}, & \forall n > 2, b \quad (6) \\
 & x_{tnb} & \leq & \displaystyle\sum_k x_{kn-1b}, & \forall t, n > 2, b \quad (7) \\
 & \displaystyle\sum_{t,n} x_{tnb} & = & 2z_b, & \forall b \quad (8) \\
 & w_{amt} & \geq & S_{am}\left(\displaystyle\sum_n x_{anb} + \sum_{n>2} x_{tnb}\right) - 1, & \forall a,m,t,b \quad (9) \\
 & x_{t1b} & \geq & w_{amt} + \displaystyle\sum_n x_{mnb} - 1, & \forall a,m,t,b \quad (10) \\
 & \displaystyle\sum_{t} w_{amt} & = & S_{am}, & \forall a,m \quad (11) \\
 & Vol_t y_t & \geq & \displaystyle\sum_{n,b} x_{tnb}, & \forall t \quad (12) \\
 & Vol_t y_t & \geq & \displaystyle\sum_{a,m} w_{amt} M_a, & \forall t \quad (13) \\
 & Kap_b z_b & \geq & \displaystyle\sum_{a,n} M_a x_{anb} + \sum_{a,m,n} S_{am} M_a x_{mnb}, & \forall b \quad (14) \\
 & d_{ijnb} & \geq & \left(Aa_{ij} + Am_{ij}\right)\left(x_{inb} + x_{jn+1b} - 1\right), & \forall i,j,n,b \quad (15) \\
 & \multicolumn{4}{l}{x_{inb} \in \mathcal{B}^{|\mathcal{I}|\times|\mathcal{N}|\times|\mathcal{B}|}, \quad y_t \in \mathcal{B}^{|\mathcal{T}|}, \quad z_b \in \mathcal{B}^{|\mathcal{B}|},} \\
 & \multicolumn{4}{l}{w_{amt} \in \mathcal{B}^{|\mathcal{A}|\times|\mathcal{M}|\times|\mathcal{T}|}, \quad d_{ijnb} \in \mathcal{R}^{|\mathcal{I}|^2\times|\mathcal{N}|\times|\mathcal{B}|}}
\end{array}
\tag{7.3}
$$

Objektfunktionen minimerer de samlede omkostninger forbundet med transport, håndtering og drift.

Den første begrænsning sikrer, at alle kunder k besøges netop én gang, idet summen over alle numre n og biler b af x_{knb} kræves lig 1.
Anden begrænsning formulerer, at en bil kun kan være ét sted ad gangen, dvs. summen over alle knuder i af x_{inb} er højst er lig 1.

I tredje begrænsning sikres det, at samme bil ikke benyttes til både afhentning og levering, da summen af de to variable x_{anb} og x_{mhb} (hvor h er et alias for n) skal være mindre end eller lig 1.
Grunden til, at vi brugte denne begrænsning, var, at DHL havde levering om formiddagen og afhentning om eftermiddagen, hvilket hang sammen med deres tidskoordinering af produktionen samt kundernes ønsker omkring besøgstider. Man kunne alternativt have ladet bilerne køre kombinerede afhentnings- og leveringsruter, hvorved man givetvis kunne have sparet en del transportomkostninger ved at optimere ruterne, hvor afsender- og modtagerkunder lå tæt ved hinanden. I så fald skulle begrænsningen omkring overholdelse af bilkapaciteter ændres, således at der blev taget hensyn til den ekstra plads, der ville blive i bilen, når en forsendelse blev afleveret. Dermed ville ruterne kunne rumme flere kunder. Desuden ville rækkefølgen (numrene n) komme til at spille en rolle i bilkapacitetsbegrænsningen, hvilket ikke er tilfældet i denne model.

I fjerde, femte, sjette, syvende og ottende begrænsning formuleres sammenhænge og rækkefølger for bilruterne. Fjerde og femte ligning sikrer hhv., at den første knude på en bilrute er en terminal t, og at andet besøg er ved en kunde k, hvis bil b benyttes.
Sjette begrænsning siger, at hvis bil b besøger en kunde k som nummer n (dvs. hvis $x_{knb} = 1$), så skal den også have besøgt en kunde som nummer $n - 1$, så der ikke er "huller" i ruterne. Derfor skal summen over alle kunder l af x_{ln-1b} være større end eller lig summen over alle kunder k af x_{knb}, for alle numre $n > 2$, da første og andet besøg er fastsat i fjerde og femte begrænsning.
Syvende begrænsning formulerer kravet om, at alle bilruter skal slutte i en terminal, da det afhentede gods skal ind og håndteres på terminalen, og bilerne skal returnere efter leveringsruterne for at kunne blive benyttet til den efterfølgende afhentning. Uligheden siger, at hvis bil b besøger en terminal t som nummer n (hvor $n > 2$), så skal bilen have besøgt en kunde k som nummer $n - 1$.
Endelig sikrer ottende begrænsning, at alle benyttede biler besøger en terminal netop to gange, så med denne begrænsning sluttes ringen, og sammenhængen i bilruterne er sikret.

De efterfølgende begrænsninger ni, ti og elleve vedrører tilknytning af kunder til terminaler. Tilknytningsvariablen w_{amt} bruges til at beregne håndteringsomkostningerne i objektfunktionen, og desuden tjener den det formål at sikre, at afsender- og modtagerkunder, hvorimellem der skal transporteres gods, knyttes til samme terminal.
Det var en temmelig stor udfordring at finde frem til en brugbar og præcis formulering af niende og tiende begrænsning. De sammenhænge, begrænsningerne skulle formulere var følgende:

(1) Hvis samme bil b besøger afsenderkunde a samt terminal t som sidste knude på sin rute (da godset skal leveres ind til håndtering på terminalen), og parameteren

S_{am} er lig 1 (dvs. afsenderkunde a skal sende gods til modtagerkunde m), da skal a og m tilknyttes terminalen t.

(2) Hvis modtagerkunde m er tilknyttet terminal t, da skal der for en af de benyttede biler gælde, at den skal besøge både terminal t som første knude (da godset skal leveres fra terminalen) samt kunde m.

(3) For alle kundepar (a, m) hvor parameteren S_{am} er lig 1, skal tilknytningsvariablen w_{amt} være lig 1 for netop én af terminalerne t.

Dette medførte følgende modelleringsmæssige konsekvenser:

$$\sum_n x_{anb} + \sum_{n>2} x_{tnb} = 2, \text{ for én bil } b \quad \wedge \quad S_{am} = 1$$

$$\Rightarrow \quad w_{amt} = 1$$

$$\Rightarrow \quad \sum_n x_{mnb} + x_{t1b} = 2, \text{ for én bil } b, \text{ og}$$

$$\sum_t w_{amt} = S_{am}, \text{ for alle afsender- og modtagerkunder}$$

Det første udtryk er netop sandt, når $S_{am} \cdot (\sum_n x_{anb} + \sum_{n>2} x_{tnb}) = 2$, og da vi gerne ville sætte tilknytningsvariablen lig 1 i dette tilfælde, skulle niende begrænsning derfor sikre, at w_{amt} er større end eller lig ovenstående udtryk minus 1.
Da det tredje af ovenstående udtryk enten er lig 0, 1 eller 2, alt efter hvilken bil b der er tale om, og om bilen besøger modtagerkunde m og/eller terminal t, kunne man ikke formulere tiende begrænsning på samme måde som ved tilknytningsbegrænsningen for afsenderkunderne. Det, vi ville sikre, var, at bil b besøger terminal t, hvis den besøger modtagerkunde m, og denne er knyttet til terminalen.
Derfor siger tiende begrænsning, at x_{t1b} skal være større end eller lig $w_{amt} + \sum_n x_{mnt} - 1$, så denne sættes lig 1, hvis variablene på højre side af ulighedstegnet tilsammen er lig 2.
Endelig sikres der i begrænsning elleve, at alle afsender-modtager-kundepar, hvor S_{am} er lig 1, knyttes til netop én terminal.

Tolvte begrænsning sikrer, at der ikke transporteres noget over en terminal, der ikke er åben, og trettende begrænsning sørger for, at volumenkapaciteten for alle benyttede terminaler overholdes. I fjortende begrænsning sikres, at bilkapaciteterne for benyttede biler overholdes, idet summen over alle afsenderkunder a og numre n af x_{anb} multipliceret med forsendelsesmængden M_a tilsammen med summen over alle modtagerkunder m og numre n af x_{mnb} multipliceret med den mængde, de skal modtage $(S_{am} \cdot M_a)$, ikke overstiger kapaciteten for bil b.

Den sidste begrænsning er en beregning af de deldistancer, bil b tilbagelægger.
Vi havde tidligere i modelleringsprocessen formuleret denne således: $\sum_{i,j,n}(x_{inb} + x_{jn+1b} - 1) \cdot A_{ij} = d_b$, hvor A_{ij} var lig afstanden fra knude i til j, og d_b var lig den samlede distance, som bil b kørte. Ved løsning af problemet viste det sig, at modellen af naturlige årsager på denne måde blot beregnede samtlige afstande mellem i og j $(|\mathcal{I}| - 1)$ gange.

Det, vi skulle formulere var følgende (hvor A_{ij} repræsenterede afstandene mellem knuderne i og j):

$$
\begin{aligned}
x_{inb} + x_{jn+1b} = 2 \quad &\Rightarrow \quad d_b = A_{ij} \\
x_{inb} + x_{jn+1b} = 1 \quad &\Rightarrow \quad d_b = 0 \\
x_{inb} + x_{jn+1b} = 0 \quad &\Rightarrow \quad d_b = 0
\end{aligned}
$$

Det var altså ikke muligt blot at sætte variablen d_b lig afstanden gange $(x_{inb}+x_{jn+1b}-1)$, da det ville resultere i negative værdier, når sidste af ovenstående udtryk var sandt. Derfor indførte vi variablen d_{ijnb}, så afstandsberegningen foregik skridt for skridt. Femtende begrænsning siger således, at d_{ijnb} skal være større end eller lig afstanden mellem i og j multipliceret med $(x_{inb} + x_{jn+1b} - 1)$. Bliver værdien af udtrykket i parantesen lig 1 (dvs. hvis bil b kører direkte fra i til j), bliver deldistancen d_{ijnb} lig afstanden Aa_{ij} eller Am_{ij}, alt efter om det er en afsender- eller en modtagerkunde, der besøges. Bliver udtrykket i parantesen lig 1 eller 0, vil d_{ijnb} også være lig 0, da summen af variablen minimeres i objektfunktionen.

Sluttelig erklæres beslutningsvariablens domæner. De er alle binære med undtagelse af distancevariablen d_{ijnb}, som er kontinuert.

Da vi ikke havde modtaget de rigtige data fra DHL, var det ligesom i de foregående afsnit ikke muligt at beregne den reelle størrelse af modellen. Hvis vi antager, at antallet af knuder $|\mathcal{I}|$ er 207, hvoraf 7 er terminaler $|\mathcal{T}|$ og 200 er kunder $|\mathcal{K}|$ (med hhv. $|\mathcal{A}| = 100$ og $|\mathcal{M}| = 100$), antallet af numre[9] $|\mathcal{N}|$ er 8, og antallet af biler $|\mathcal{B}|$ er 20, bliver antallet af beslutningsvariable således: 33.120 x_{inb}, 7 y_t, 20 z_b, 70.000 w_{amt} og 6.855.840 d_{ijnb}.

Modellen indeholder således over 100.000 binære variable[10] og næsten syv mio. kontinuerte variable. Antallet af begrænsninger blev ligeledes udregnet ud fra den anslåede størrelse af indeksmængderne og er næsten 23 mio.[11] Dette er forholdsvis meget især pga. den store mængde binære variable. Dog er antallet af binære variable forholdsvis begrænset i forhold til de små 900.000 i distributionsmodellen, og da variablen x_{inb} ligeledes repræsenterer besøg, og modellen således kan bestemme såvel terminalplaceringer (lokaliseringsproblemet) som bilruter (distributionsproblemet), mente vi, at et antal binære variable på ca. 100.000 var acceptabelt.

7.2.3 Løsning af den matematiske model

Løsningen af modellen foregik i etaper, hvor et lille testeksempel med bare to terminaler, tre kunder og tre biler først blev løst for afhentningsdelen af problemet alene. Derefter blev eksemplet udvidet med yderligere fem kunder, således at der i alt var fire

[9] Dette antal er beregnet ud fra en anslået minimumsmængde $\min_a\{M_a\}$ på 5 paller og en bilkapacitet på højst 34 paller, hvorved en bil maksimalt kan besøge 6 kunder og 2 terminaler på en rute og dermed i alt højst 8 knuder.

[10] Antallet af variable beregnes således: $33.120 + 7 + 20 + 70.000 = 103.147$

[11] Antallet af begrænsninger beregnes således: $200 + 8 \cdot 20 + 100 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 20 + 20 + 20 + 6 \cdot 20 + 7 \cdot 6 \cdot 20 + 20 + 100 \cdot 100 \cdot 7 \cdot 20 + 100 \cdot 100 \cdot 7 \cdot 20 + 100 \cdot 100 + 7 + 7 + 20 + 207 \cdot 207 \cdot 8 \cdot 20 = 22.467.254$.

afsender/modtager-kundepar, og problemet blev løst for både afhentning og levering. Sideløbende med denne løsningsproces blev den matematiske formulering løbende ændret og forbedret, således at den endelige model (7.3) er resultatet af en lang iterativ proces med formuleringer, revurderinger, tests, tilføjelser og ændringer af begrænsninger samt reformuleringer af modellen.

Man kan i GAMS justere antallet af iterationer (`iterlim`) og antallet af sekunder (`reslim`), der skal køres, samt tolerancen (`optcr`) i forhold til en beregnet nedre grænse for værdien af løsningen (se eventuelt en beskrivelse af GAMS i bilag F.2.)
Vi fandt efter at have testet modellen på en række eksempler med forskellige tolerancer og antal kunder ud af, at problemet var så komplekst, at det ikke var muligt at finde en acceptabel løsning inden for en rimelig tidsramme. Vi forsøgte derfor at løse modellen med hhv. 10, 14, 20 og 40 kunder med en længere tidsramme på omkring to uger, men da der skulle skiftes styresystem på IMM's servere, blev de alle i slutningen af løsningsperioden afbrudt uden resultater.
For at vise, at modellen dog kunne løses, løste vi et testeksempel med ti kunder og en tolerance på 90%. Antallet af iterationer og sekunder blev sat højt for at sikre, at disse parametre ikke ville blive de begrænsende faktorer.
Vi valgte at placere de ti kunder i yderpunkterne af Vestdanmark for at tilpasse testeksemplet til import- og eksportstrømmene gennem *gates* i hhv. Esbjerg, Frederikshavn og Padborg, samt forsendelser på tværs af Storebælt (repræsenteret ved to kunder i Knudshoved). De potentielle placeringer af terminaler blev sat lig de byer, hvor der i forvejen lå bygninger til forsendelseshåndtering. I tabel 7.4 ses parametre, kundefordeling og potentielle terminalplaceringer i testproblemet.

Parametre i testproblemet				
$\lvert\mathcal{K}\rvert$	$\lvert\mathcal{T}\rvert$	`iterlim`	`reslim`	`optcr`
10	7	9999999	745200	0.90

Kunder i testproblemet				
$(a = 1)$ Esbjerg ↓ $(m = 9)$ København	$(a = 2)$ Frederikshavn ↓ $(m = 8)$ Padborg	$(a = 3)$ Padborg ↓ $(m = 10)$ København	$(a = 4)$ København ↓ $(m = 7)$ Frederikshavn	$(a = 5)$ København ↓ $(m = 6)$ Esbjerg
$(S_{19} = 1)$	$(S_{28} = 1)$	$(S_{310} = 1)$	$(S_{47} = 1)$	$(S_{56} = 1)$

Terminaler i testproblemet						
$(t = 11)$	$(t = 12)$	$(t = 13)$	$(t = 14)$	$(t = 15)$	$(t = 16)$	$(t = 17)$
Esbjerg	Padborg	Herning	Kolding	Stilling	Aalborg	Odense

Tabel 7.4: Testproblemets parametre, kundefordeling og terminalkandidater. Sammenængen mellem afsenderkunder a og modtagerkunder m angives med parameteren S_{am}.

Ved at logge ind på vores konto `proj45@sunfire.imm.dtu.dk` og benytte kommandoen `nohup screen -S tikunder gams lrp.gms` kørtes GAMS-programmet. Første kommando `nohup` gjorde, at vi kunne logge ud efter at have startet programmet og lade dette køre, til løsningen var fundet. Ved at skrive `screen -S tikunder` kunne vi i løbet af processen logge ind og følge kørslen og på et vilkårligt tidspunkt få terminal-billedet frem gennem kommandoen `screen -r tikunder`.

Køretiden var forholdsvis kort. Efter bare 12 minutter (727,93 sekunder) havde solveren fundet en løsning. Løsningsfilen `lrp.lst` præsenteres i bilag G.3, og i bilag G.4 ses de væsentlige tal fra denne.

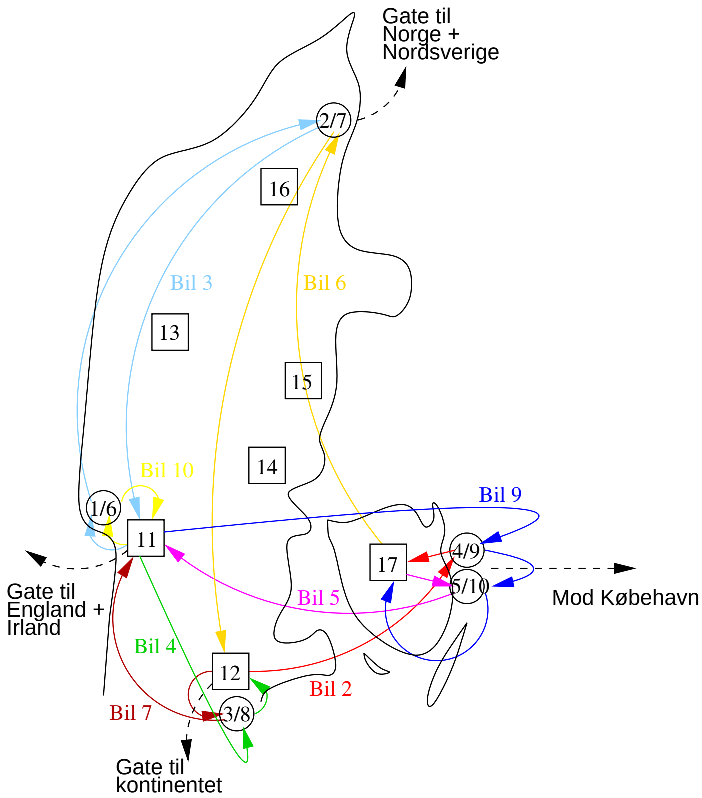
En oversigt over resultaterne fra løsningen af modellen kan ses i tabel 7.5, og figur 7.5 viser en grafisk præsentation af den fundne løsning.

Objektværdi	
Samlede omkostninger:	27.802,50

Åbne terminaler ($y_t = 1$)	**Kundetilknytning** ($w_{amt} = 1$)			
Terminal t	Tilknytning af kunder (a, m)			
11 (Esbjerg)	(1,9)	(2,8)	(3,10)	(5,6)
12 (Padborg)				
17 (Odense)	(4,7)			

Benyttede biler ($z_b = 1$)	**Besøgsvariable** ($x_{inb} = 1$)			
Biler b	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
2 (Padborg → Odense)	12	4	17	-
3 (Esbjerg → Esbjerg)	11	1	2	11
4 (Esbjerg → Padborg)	11	8	12	-
5 (Odense → Esbjerg)	17	5	11	-
6 (Odense → Padborg)	17	7	12	-
7 (Padborg → Esbjerg)	12	3	11	-
9 (Esbjerg → Odense)	11	9	10	17
10 (Esbjerg → Esbjerg)	11	6	11	-

Tabel 7.5: Oversigt over beslutningsvariable og sammenhænge i løsningen af den matematiske model over det samlede problem, LRP.



Figur 7.5: Grafisk præsentation af GAMS-løsningen på LRP.

Af den fundne løsning kan det ses, at der ifølge det konstruerede testproblem skulle være åbne terminaler i Esbjerg, Padborg og Odense, mens der på de resterende lokaliteter ikke skulle håndteres gods. Løsningen indebar brug af otte biler, og seks ud af de otte ruter indeholdt blot ét kundebesøg.

Det var vores vurdering, at løsningen ikke svarede til DHL's lokaliseringsproblem, og dette hang sammen med flere ting. Resultatet skal ses i sammenhæng med de grænser, som blev udgjort af de til- og fravalg, vi foretog i såvel modellerings- som løsningsfasen. En meget væsentlig begrænsning i modellen for problemet lå i vores manglende kendskab til de økonomiske tal for virksomheden. De omkostninger, der i modellen er angivet for hhv. transport, håndtering og drift, var alle vores vurderinger ud fra de udtalelser, der kom frem under terminalbesøgene. Derfor afspejlede disse ikke direkte virkeligheden.
En anden svaghed lå i kundefordelingen. Testeksemplet repræsenterede en meget begrænset kundemasse, og fordelingen af kunder lå derfor langt fra virkeligheden. Desuden var det med til at fordreje løsningen, at der i testeksemplet var et misvisende forhold mellem antallet af terminaler og antallet af kunder.
Modellen indeholder desuden de standardbilkapaciteter, som vi fik kendskab til under terminalbesøgene, på trods af, at man ofte pakkede bilerne mere end dette. Havde vi haft adgang til data, som kunne give os information om de godsmængder, der reelt blev pakket på bilerne, ville modellen på mere virkelighedstro vis afspejle denne parameter.
Et element, som vi mere bevidst fravalgte i modelleringsfasen, var tidsvinduer og sæsonvariationer, da dette ville medføre, at problemet størrelse ville stige væsentligt. Model-

len indeholder intet tidsperspektiv, og løsningen kunne således repræsentere virksomhedens operationer for én dag. Fravalget af tidsvinduer så som færgeafgange, *line hauls* og kundernes ønskede besøgstider var en svaghed ved modellen, idet disse formodentlig ville have haft en væsentlig indflydelse på resultatet. Desuden kunne en parameter som køre-/hviletider have haft betydning for længden af bilruterne.
Endelig lå der i vores valg af løsningsmetode og -værktøj en afgrænsning, idet brug af andre redskaber muligvis havde givet andre resultater. Hertil kom tidsfaktoren og de tekniske begrænsninger, som gjorde det vanskeligt at løse et virkelighedstro problemtilfælde.

Den meget hurtige løsning af problemet gav således ikke noget imponerende resultat i forhold til den optimale placering af DHL's terminaler i Vestdanmark. Dog vil det ofte være meget værdifuldt for en virksomhed at få en god løsning på problemet hurtigt, hvis denne skal bruges i operationen inden for en begrænset tidsramme, mens en optimal løsning, der eksempelvis tager en måned at finde, ikke vil være interessant, da man skal bruge resultaterne hurtigere.

Det primære resultat af denne etape af problemhåndteringen var således en eftervisning af den matematiske model på et mindre testeksempel, samt en erkendelse af, at virkelige problemer er svære at modellere og løse matematisk. Selv for et forholdsvis begrænset geografisk område gav det os store udfordringer at formulere problemstillingen matematisk, og løsningsprocessen viste sig også at være vanskelig.
Skulle DHL ønske at bruge modellen til at løse det reelle problem med de faktiske data, vil det enten kræve en videre bearbejdning af modellen med henblik på at effektivisere denne, en investering i hard- og/eller software med større beregningskapacitet end de løsningsværktøjer, vi benyttede, eller en fornuftig tilpasning af virksomhedens data til den ændrede model. Desuden kunne man muligvis opnå gode - og eventuelt bedre - resultater ved at konstruere en problemspecifik heuristik.

Den præsenterede løsning af det beskrevne problemtilfælde bliver i kapitel 9 sammenlignet med og vurderet i forhold til resultaterne fra hhv. indsamling af basisviden om virksomheden og de afholdte workshops.

Kapitel 8

Workshops

I dette kapitel beskrives indledningsvis de forventninger og tanker, der lå bag vores oprindelige plan for en samlet workshop og herefter forberedelsen af de fem workshops, som vi i stedet afholdt. Herunder redegøres og argumenteres for vores valg af fremgangsmåde og den praktiske forberedelse af arrangementerne. Derefter beskriver vi selve forløbet omkring afholdelsen af de fem workshops, og slutteligt præsenterer vi resultaterne fra denne fase af håndteringsprocessen.
Det var fra projektets begyndelse vores hensigt at anvende én eller flere bløde metodikker til inddragelse af brugerne. Vi lagde os fra start ikke fast på én eller flere bestemte metoder, da vores erfaring siger, at disse bør vælges specielt og designes til det aktuelle problem, temaet og deltagerne.

8.1 Oprindelig planlagt workshop

For at få input fra medarbejderne til forbedring af samarbejdet og logistikken i DHL, inviterede vi repræsentanter fra de forskellige terminaler i Vestdanmark til at deltage i et workshoparrangement. Vores ønske var at samle to medarbejdere fra hver af de fem terminaler samt nogle personer fra kurerdelen til en fælles workshop. Derudover inviterede vi vores kontaktpersoner. I tabel 8.1 ses to eksempler på de udsendte invitationer. De havde alle en individuel indledning og en fælles afslutning. De potentielle deltagere, som vi havde mødt i forbindelse med vores terminalbesøg, havde vi forberedt ved allerede ved denne lejlighed at fortælle dem om workshoppen.

Vi var bevidste om, at alle medarbejdere i DHL havde travlt, hvorfor vi i vores indledende planlægning havde taget højde for dette ved at begrænse tidsrummet for workshoppen til ca. tre timer. Vi havde i indbydelsen givet flere forskellige datoer, som deltagerne kunne vælge i mellem, samt skrevet, at stedet ville blive valgt, så den samlede transporttid minimeredes.

— Eksempel på individuel indledning på den oprindelige workshopinvitation —

```
Hej Tom og Erling
Tak for et hyggeligt møde i går. Det var dejligt, at I satte tid af
til at besvare nogle af vores mange spørgsmål - det gav en god
afklaring omkring opbygningen af virksomheden!
Som nævnt vil vi i uge 47 gerne afholde en workshop med temaet
"Hvordan forbedres logistikken og samarbejdet mellem afdelingerne i DHL?"
```

——————— Et andet eksempel på individuel indledning ———————

```
Hej Michael
Vi er to studerende fra Danmarks Tekniske Universitet, som skriver
afgangsprojekt i samarbejde med DHL og har Tina Abrahamsen som
kontaktperson. Vi skal i den forbindelse kigge på jeres faciliteter i
Vestdanmark og undersøge, om der eventuelt kan forbedres på den
nuværende struktur.
Vi har hørt fra Tina, at du er ansvarlig for kurerdelen af DHL i
Vestdanmark. Vi vil derfor invitere dig til at deltage i en workshop i
uge 47 med temaet "Hvordan forbedres logistikken og samarbejdet mellem
afdelingerne i DHL?".
```

———————— Fælles afrunding på alle invitationerne ————————

```
Vi inviterer ca. to personer fra hver af de tidligere Danzas-kontorer
Odense, Kolding, Padborg, Esbjerg, Stilling, Aalborg samt
repræsentanter fra kurerdelen af DHL. Hvis I ikke selv har mulighed
for at deltage, vil det være en stor hjælp for os, hvis I kan finde
eller anbefale en anden fra jeres afdeling/terminal, som kan være med
til at repræsentere jer ved workshoppen.

Vi forestiller os, at arrangementet tager omkring tre timer og
afholdes inden for tidsrummet 10 - 16. Vi vil fastlægge tidspunktet
alt efter, hvornår de forskellige deltagere kan. Den nærmere placering
bestemmes således, at den samlede transport for deltagerne minimeres.

Vil I venligst give os besked om, hvilke af tre følgende dage, I har
mulighed for at deltage: Mandag d. 17. november, onsdag 19. november
og torsdag d. 20. november.
Vi håber på tilbagemelding snarest muligt, således at vi kan planlægge
de nærmere detaljer samt lave de endelige aftaler om tidspunktet.

Mange hilsener fra Britt og Louise
```

Tabel 8.1: To eksempler på invitation til den oprindelige workshop. De har hver en individuel indledning og en fælles afslutning.

Det viste sig dog temmelig hurtigt, at der ikke var opbakning blandt medarbejderne til at deltage i en fælles workshop for Vestdanmark. Der var mange forskellige grunde til, at det ikke kunne lade sig gøre, så som travlhed, implementering af nye it-systemer, afviklingen af Apost og uvillighed til at bruge meget rejsetid.

Vi havde i tankerne forberedt os på, at det måske ikke ville kunne lade sig gøre, og derfor havde vi på et tidligt tidspunkt overvejet muligheden for at afholde terminalbaserede workshops i stedet for et fælles arrangement.

Vi tog derfor igen kontakt til de enkelte repræsentanter, aflyste det oprindelige arrangement og foreslog, at vi kom ud til deres terminaler og afholdt en workshop af en varighed på to til tre timer. Dette blev hurtig godtaget af de forskellige medarbejdere, og der blev derfor fastsat datoer for de enkelte workshops. Dog lykkedes det ikke i første omgang for terminalen i Stilling at finde den fornødne tid, men efter utallige mails og telefonopkald blev der også fastsat dato for denne workshop. Herefter påbegyndte vi planlægningen af workshoppens forløb og designet af den fremgangsmåde og de metoder, som vi ville anvende.

8.2 Design af workshop

Da den oprindelige fælles workshop var aflyst, måtte vi udtænke en ny strategi til at konfrontere de enkelte terminaler med de uhensigtsmæssigheder og problemer, vi gennem vores møder og terminalbesøg var blevet præsenteret for. Desuden var vi meget interesserede i at se, hvilke idéer og forslag til ændringer, der fra de forskellige terminaler ville være til forbedringer af samarbejdet og logistikken i DHL.
Vi skulle designe et forløb, hvor vi i løbet af to til tre timer kunne komme frem til de ønskede resultater. Vi brainstormede over de metoder, metodikker og værktøjer, vi gennem vores studium har stiftet bekendtskab med: SWOT-analysen, visionskonferencen, fremtidsværkstedet, scenariemetodikken, metaforanalyse, *rich pictures*, SODA, SCA, SSM, interviewteknik, sociodrama osv. Se afsnit 4.4 side 25 for beskrivelse af nogle udvalgte metoder.
Vi kom frem til følgende overordnede indholdspunkter til workshoppen: "kritikfase" (inspiration fra fremtidsværkstedet), "idégenereringsfase" (inspiration fra visionskonferencen), "præsentation og diskussion af scenarier" (inspiration fra scenariemetodikken), "brug af SWOT til strukturering" (inspiration fra SWOT-analysen) og "diskussion af vigtige områder" (teknisk prioritering til rapporten).

Kritikfase

Med inspiration fra fremtidsværkstedet (se afsnit 4.4.3 side 28) ville vi inddrage en kritikfase, hvor deltagerne kunne få mulighed for frit at udtrykke deres kritik og utilfredshed med den aktuelle situation eller deres bekymringer for fremtidige forandringer.
Vi mente, at det kunne være farligt at starte med en egentlig kritikfase på de planlagte workshops, da vores indtryk fra de mange terminalbesøg og møder med virksomheden var, at der var meget politik og lurende konflikter lige under overfladen. Desuden mente vi, at vi allerede pga. vores terminalbesøg havde fået indblik i en del kritikpunkter. En reel kritikfase ville derfor være nytteløs som opstart på workshoppen, da ingen af deltagerne formodentlig ville komme med konstruktiv kritik.
Det var vores indtryk, at der også skulle en meget grundig optøning til for at "komme ind under huden" på deltagerne. Desuden var der i DHL's virksomhedskultur en stor

skepsis og usikkerhed for, hvad fremtiden ville bringe, hvilket kunne betyde, at det måske ville være svært at løsrive sig fra kritikken, hvis der først blev "lukket op for posen". Vi ville derfor gemme kritikfasen til sidst i workshoppen, hvor deltagerne både ville få mulighed for at komme med kritik, samt ønsker og prioriteringer til, hvad man i fremtiden burde satse på.

Idégenereringsfase

Vi ville som et centralt element i workshoppen gøre brug af en idégenereringsfase, inspireret af bl.a. fremtidsværkstedet og visionskonferencen (se afsnit 4.4.3 og 4.4.4 side 28). Dette kunne gøres på mange måder. Man kunne f.eks. brainstorme, arbejde meget kreativt eller divergent, og vi kunne som facilitatorer benytte forskellige værktøjer. Vi kunne vælge at være forholdsvis passive eller at være mere styrende gennem struktureret at arbejde med fastlagte emner.
Det var vores indtryk, at medarbejderne i DHL ikke var vant eller gode til på den måde at arbejde visionært med abstrakt idégenerering. Derfor lå der en opgave i at undgå tørre, kedelige og trivielle idéer, når processen skulle faciliteres. En måde at inspirere deltagerne kunne være at benytte visuelle og kreative værktøjer som f.eks. *rich pictures*. Man kunne også flytte rundt med biler, bygninger osv. på et stort danmarkskort. En idégenereringsfase ville efter vores mening være en positiv start på workshoppen, og ved brug af et visuelt redskab ville vi lette deltagernes idégenerering.

Præsentation og diskussion af scenarier

Et af elementerne fra vores brainstorming over indholdspunkter i workshoppen var præsentation af skrækscenarier, som kunne danne grundlag for diskussion af ikke-ønskværdige udviklingsretninger for virksomheden. Til dette værktøj hentede vi inspiration fra scenariemetodikken (se afsnit 4.4.2 side 28). Da vilkårene for terminalerne var forskellige, vil det, som for nogle medarbejdere var en skrækscenarie, givetvis være den oplagte mulighed for andre.
Traditionelt kan scenarier være både realistiske og urealistiske. Præsentation og diskussion af scenarier på workshoppen skulle foregå på en sådan måde, at vi ikke kom til at fornærme eller støde nogen. Dette kunne f.eks. gøres ved at lægge vægt på vores objektivitet og understrege, at scenarierne ikke bevidst skulle repræsentere ændringer, som eventuelt måtte forekomme i virkeligheden. Formålet med at gøre brug af scenarier var at skabe en diskussion om medarbejdernes syn på den fremtidige udvikling for DHL.
Da skrækscenarierne kunne bruges til at afdække en del af den kritik, som deltagerne så ved virksomhedens struktur, mente vi, at fasen med fordel kunne placeres sidst i workshoppen, således at vi ikke risikerede, at deltagerne mod vores intentioner blev fanget i en negativ stemning af kritik.

Brug af elementer fra SWOT-analysen til strukturering

Vi ville desuden inddrage elementer fra SWOT-analysen, der som beskrevet i afsnit 4.4.1 er en letanvendelig og meget konkret metodik, og vi ønskede at gøre brug af SWOT-matricens velegnethed til strukturering af komplekse situationer. Herved kunne deltagerne på en struktureret måde komme med input til de interne stærke og svage sider, som de identificerede i virksomheden og samtidig give deres bud på hvilke muligheder og trusler, der var i omgivelserne.
Ved at opsplitte SWOT-matricen ville vi få medarbejdernes input til styrker, svagheder, muligheder og trusler delvis for den enkelte terminal og delvis for DHL som helhed.

Diskussion af vigtige områder

Som afslutning på workshoppen ville vi give deltagerne mulighed for at give os nogle gode råd til hvilke elementer eller faldgrupper, der kunne være ved udviklingen i virksomheden. Desuden kunne de fortælle, hvad de syntes, der var centrale fokusområder, hvad der burde prioriteres i fremtiden, samt hvad der ville være dårlige beslutninger eller udviklingsretninger for hhv. den lokale terminal og DHL som helhed.

8.2.1 Valgt fremgangsmåde

Resultatet af vores overvejelser vedrørende metode blev en struktur med fire overordnede faser.
Første fase skulle bestå af en kort præsentationsrunde. Man kan diskutere, om en præsentationsrunde er en reel optøningsfase, men det ville dog give deltagerne mulighed for at fortælle lidt om sig selv og på den måde få smurt stemmen.
Anden fase i workshoppen skulle bestå i en positiv idégenereringsfase, hvor deltagerne skulle divergere og ved brug af brainstorming kort fortælle om forslag og idéer, der kunne forbedre samarbejdet og logistikken. I denne fase ville det i henhold til brainstormingsreglerne ikke være tilladt at komme med lange argumenter eller kritik på andres forslag (se afsnit 4.4.5 side 31). Forslag i denne fase kunne både være udtryk for det umiddelbart realiserbare såvel som mere eller mindre utopisk ønsketænkning.
Tredje fase skulle omhandle brug af SWOT-matricen til at konvergere og tænke mere struktureret og konkret på virksomhedens egenskaber og omgivelser både som helhed og lokalt.
Fjerde fase skulle bestå af et antal scenarier som grundlag for en debat om forskellige mulige udviklingsretninger og de problemer, der eventuelt kunne identificeres i forskellige dele af virksomheden. Her ville vi også give mulighed for at udtrykke, hvad man ikke ønskede for de fremtidige strategier.
Afslutningsvis ville deltagernes prioritering af fokusområder og anbefalinger til os som arrangører give input til udviklingsretningen for vores rapport.

Da vi havde besluttet selve workshoppens forløb, påbegyndte vi forberedelsen af det konkrete indhold i de forskellige faser og tilhørende hjælpemidler. Desuden skulle deltagerne fra de forskellige terminaler inviteres.

8.3 Forberedelse af workshop

Efter at have fået positive tilbagemeldinger på vores telefoniske henvendelser omkring de terminalbaserede workshops som erstatning for det oprindeligt planlagte fælles arrangement sendte vi igen invitationer ud til terminalrepræsentanterne. I tabel 8.2 ses et eksempel på en tidsplan og det overordnede indhold i workshoppens forskellige faser (de to sidste punkter på tidsplanen udgjorde tilsammen den sidste fase i workshoppen). I de efterfølgende afsnit beskriver vi vores tanker i forbindelse med udarbejdelse af plancher som visuelle redskaber til workshoppen, overvejelser omkring facilitatorens og referentens roller samt kontakten til og invitationen af deltagerne.

10:00 - 10:10	**Præsentation af deltagere og workshop** (10 min.) *Herunder baggrunden og målet for workshoppen. Planchen med danmarkskortet vises.*
10:10 - 10:45	**Idégenerering for fremtidige udviklingsretninger** (35 min.) *Kreativ brainstorming med udgangspunkt i planchen med fremtidsstjernen.*
10:45 - 11:15	**Udarbejdelse af SWOT-matrix** (30 min.) *Opstilling af interne styrker, svagheder, eksterne muligheder og trusler, både for den aktuelle terminal og for DHL som helhed. Først vises planchen for SWOT-metodikken, herefter plancherne med interne styrker/svagheder og eksterne muligheder/trusler.*
11:15 - 11:35	**Arrangørernes præsentation af fiktive fremtidsscenarier og diskussion af ikke-ønskværdige fremtidsstrategier** (20 min.) *Der tages udgangspunkt i planchen med danmarkskortet med mange små prikker eller én stor. Herefter vises planchen med tegneserien om storkunde Madsen. Disse plancher kan skabe idéer til "hvordan det i hvert fald ikke skal være i fremtiden"- en slags kritikfase.*
11:35 - 12:00	**Deltagernes anbefalinger til arrangørerne og prioritering af fokusområder** (25 min.) *Deltagerne har mulighed for at opsummere deres centrale holdninger eller få indflydelse gennem prioritering af fokusområder.*

Tabel 8.2: Tidsplan for workshops. I kursiv ses vores egne stikord til de forskellige faser.

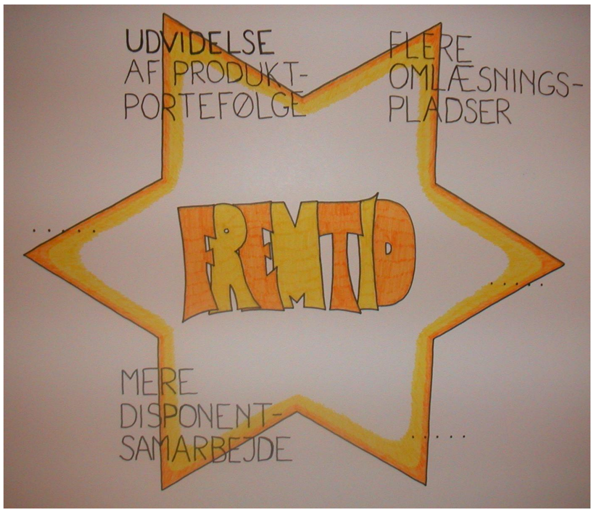
8.3.1 Plancher

Vi konstruerede i alt syv plancher til brug dels som hjælpemidler for facilitatoren og dels til at skabe inspiration hos deltagerne. Plancherne kaldte vi "Danmarkskortet", "Fremtidsstjernen", "SWOT-metodikken", "Interne styrker og svagheder", "Eksterne muligheder og trusler", "Mange små eller Én stor" og "Tegneserie med storkunde Madsen". I det efterfølgende ses de forskellige plancher, og overvejelserne vedrørende deres konstruktion og udformning beskrives.

Danmarkskortet var første planche og skulle fungere som en slags "optøning" til workshoppen, hvor deltagerne kunne få et indtryk af kortet og derfra kunne gøre sig nogle tanker. Som vist i figur 8.1 havde vi markeret terminalernes geografiske placering i Vestdanmark. Desuden havde vi tegnet pile, som viste eksportstrømme fra terminalerne.

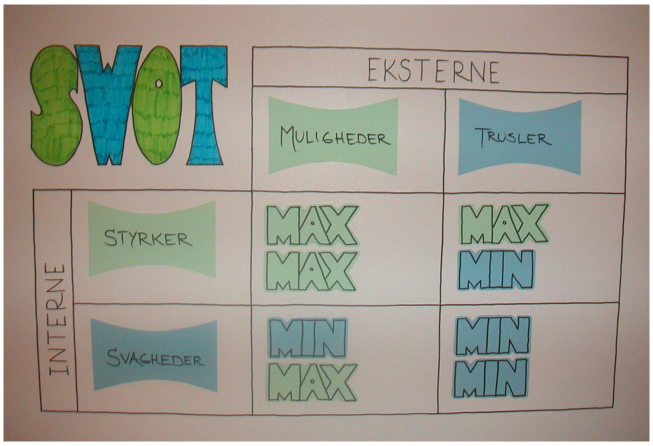
Figur 8.1: Den første planche: Danmarkskortet.

Fremtidsstjernen var anden planche og skulle bruges i idégenereringsfasen som inspiration til deltagernes brainstorming over idéer til forbedring af samarbejdet og logistikken i virksomheden. Det var som tidligere nævnt vores indtryk fra terminalbesøg samt vores erfaringer med facilitering af forskellige typer personer, at medarbejderne i DHL ikke havde den store erfaring med denne form for kreativt og visionært arbejde i en idégenereringsfase. Vi ville derfor bruge kreative redskaber og hjælpemidler, som kunne bidrage til at spore deltagerne ind på den idégenererende tankegang. For at understrege det fremadrettede fokus i fasen skrev vi "Fremtid" på planchen, og det at udviklingen kunne ske i flere forskellige retninger, blev symboliseret ved en stjerne med mange takker. For at give deltagerne inspiration til, hvad forslag og idéer kunne bestå i, skrev vi tre eksempler på fremtidige udviklingstiltag på planchen, mens vi lod resten af stjernetakkerne stå åbne for på den måde at "kaste bolden over til deltagerne", og lade det være op til dem at finde på flere idéer. De på planchen viste forslag blev valgt efter grundige overvejelser, idet de ikke måtte kunne betragtes som dårlige eller stødende for deltagerne. De tre eksempler var derfor åbne, således at de kunne inspirere til mere konkrete idéer og ikke blot diskuteres. Fremtidsstjernen ses på figur 8.2.



Figur 8.2: Den anden planche: Fremtidsstjernen.

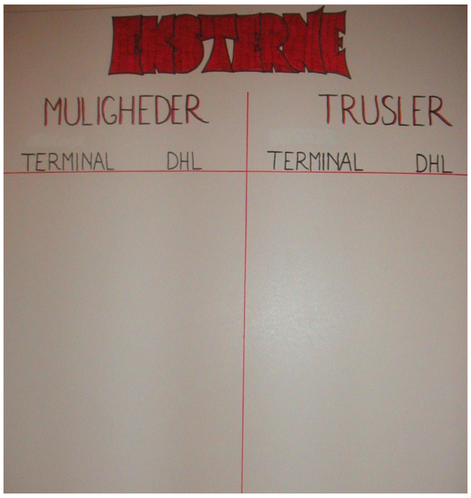
SWOT-metodikken skulle benyttes til at strukturere deltagernes idéer og samtidig få nogle bud på styrker, svagheder, muligheder og trusler, som deltagerne kunne se ved henholdsvis deres lokale terminal og ved DHL som helhed. For at give en kort introduktion til metoden ville vi benytte en planche med de overordnede principper for opstilling af punkter i SWOT-søjler og -rækker. Planchen til introduktion af SWOT-metodikken ses på figur 8.3.



Figur 8.3: Den tredje planche: SWOT-metodikken.

Interne styrker og svagheder var navnet på den fjerde planche. Ved brug af post it's kunne facilitatoren nedskrive deltagernes bud på punkter som karakteriserede hhv. den lokale terminal og DHL som helhed. Efter overvejelser omkring opdelingen af punkter inden for styrker og svagheder blev planchen udarbejdet således, at styrker for hhv. terminalen og DHL skulle stå ved siden af hinanden, da man på denne måde kunne placere en idé på begge søjler på samme tid, og tilsvarende for søjlen med svagheder. På figur 8.4 ses planchen med interne styrker og svagheder for henholdsvis den lokale terminal og DHL.

Figur 8.4: Den fjerde planche: Interne styrker og svagheder.



Figur 8.5: Den femte planche: Eksterne muligheder og trusler.

Eksterne muligheder og trusler var navnet på femte planche. Overvejelserne vedrørende denne ligger implicit i beskrivelserne i ovenstående afsnit. På figur 8.5 ses planchen med eksterne muligheder og trusler for henholdsvis DHL og den lokale terminal.

"Mange små eller Én stor" var sjette planche og skulle bruges til præsentationen og diskussionen af scenarierne i workshoppens sidste fase. Formålet med planchen var at skabe en diskussion om deltagernes syn på den mulige fremtidige udvikling for terminalplacering samt den logistiske og samarbejdsmæsige struktur i DHL.
En af de centrale problemstillinger i DHL var graden af centralisering og decentralisering. Planchen skulle derfor repræsentere to danmarkskort, hvor der på det ene var tegnet mange små prikker og på det andet én stor prik, hvilket symboliserede to ekstremer med hhv. en meget decentral struktur og en situation, hvor nogle eller alle af virksonhedens funktioner var centraliseret.
Scenarierne repræsenterede ikke - med vores vidende - faktiske tendenser eller fremtidsplaner for DHL, men var blot de to situationer sat på spidsen. På figur 8.6 ses planchen med de to danmarkskort. Det kan bemærkes, at den ene prik, som skulle symbolisere centralisering, ikke blev placeret i nogen af terminalbyerne, for på den måde ikke at fastlåse én centraliseringsløsning.

Figur 8.6: Den sjette planche: "Mange små eller Én stor".

Tegneserie med storkunde Madsen var syvende planche og havde til formål at illustrere en problemstilling, som vi på nogle af vores terminalbesøg fik et indblik i. På planchen illustrerede vi, hvordan en kunde i løbet af en dag kunne få mange besøg af vognmænd eller kurerer fra DHL pga. strukturen i virksomheden, hvor afhentning og levering var opdelt efter godsmængde og de enkelte terminalers serviceområde. I det viste scenarie blev kunden, som fik de mange besøg, mere og mere frustreret, som dagen gik. Planchen ses på figur 8.7.

Figur 8.7: Den syvende planche: Tegneserien med storkunde Madsen.

8.3.2 Facilitatorens rolle

Som beskrevet i afsnit 4.2.5 på side 16 er det facilitatorens rolle bl.a. at guide processen, holde tidsplanen, skabe og bibeholde en god stemning, lytte til og fange deltagernes forslag, stille opklarende spørgsmål og sætte tanker og idéer i gang hos deltagerne. Facilitatoren skal desuden ofte undervejs i workshoppen nedskrive deltagernes idéer på stikordsform, således at man kan vende tilbage til tidligere forslag og lade sig inspirere af dem. Et vigtigt redskab for facilitatoren er på forhånd at tænke over hvilke spørgsmål, der eventuelt kan bruges i processen.
Ud fra de generelle overvejelser omkring en facilitators egenskaber og rolle, lavede vi en tidsplan med stikord og indlednde bemærkninger til facilitatoren, der også viste, hvornår de forskellige plancher skulle benyttes (se tidsplanen i tabel 8.2 side 76). I tidsplanen ses fem punkter, som udgjorde workshoppens fire faser, og i det følgende ses vores stikord til de forskellige etaper af workshoppen.

Første fase: Præsentation af deltagere og workshop.
Her ville vi starte med en formel præsentation, og det var vigtigt at skabe en god stemning, da der ikke var nogen reel optøningsfase i workshoppen.

Stikord:
"For dem, vi endnu ikke har mødt, så hedder vi Britt og Louise og skriver eksamensprojekt på vores ingeniørstudium. Britt vil i dag tage referat, og Louise vil være ordstyrer. Målet med denne workshop er for os at indsamle en masse idéer, som vi kan bruge i vores eksamensprojekt. Temaet for dagens arbejde er "forbedring af samarbejde og logistik i DHL". Vi vil gerne have lov til at optage workshoppen på bånd for at lette referatskrivningen, så det håber vi er OK! I vil efterfølgende få referatet og mulighed for at kommentere eller slette i det."

Anden fase: Idégenerering for fremtidige udviklingsretninger.
Da der til idégenereringen skulle bruges brainstorming, skulle reglerne for denne teknik opridses: "Ingen kritik på andres forslag og ingen lange argumentationer for sine egne. Gerne viderebygning på andres idéer eller dele deraf." For at indlede idégenereringen skulle facilitatoren præsentere planchen med fremtidsstjernen og kort fremlægge de tre eksempler på forslag, som vi selv havde skrevet på planchen.

Stikord:
"Nu skal vi generere en masse idéer til fremtidige udviklingsretninger for DHL."

Tredje fase: Udarbejdelse af SWOT-matrix.
Da nogle deltagere sikkert ikke tidligere havde hørt om SWOT-metodikken, skulle denne kort præsenteres. Det, vi skulle bruge SWOT-matricen til, var at danne os et overblik over DHL's situation med hensyn til interne styrker og svagheder og de muligheder og trusler, der var i omgivelserne. Planchen med SWOT-metodikken skulle præsenteres, og her skulle vi kort fortælle om muligheden for at lave substrategier ud fra kombinationer af søjler og rækker til maksimering af styrker og muligheder og minimering af svagheder og trusler, men at det ikke var det, der var formålet med fasen.
Herefter skulle vi vise plancherne med "Interne styrker og svagheder" og "Eksterne muligheder og trusler". Facilitatoren skulle her gøre opmærksom på, at der var foretaget en underopdeling af søjlerne svarende til hhv. den lokale terminal og DHL som helhed.

Stikord:
"I denne fase skal vi forsøge at strukturere nogle af de idéer, der kom frem under idégenereringen, og desuden forsøge at finde flere forslag til de interne styrker og svagheder samt de eksterne muligheder og trusler."

Fjerde fase: Præsentation af fiktivt fremtidsscenarium og diskussion af ikke-ønskværdige fremtidsstrategier.
Her skulle indledes med en præsentation af scenarierne vedrørende centralisering eller decentralisering af forskellige funktioner i DHL.

Stikord:
"Vi har hørt fra flere af jer, at det er vigtigt, at disponenterne sidder samlet, så de kan kommunikere og udveksle erfaringer, men at det samtidig er vigtigt, at de har lokalkendkab og -kontakter. Vi har derfor konstrueret disse billeder for fremtiden, hvor vi sætter det på spidsen. Vi vil gerne høre, hvad I ser som fordel og ulempe ved de to ekstremer."

Herefter kunne facilitatoren fortælle, at vi på vores terminalbesøg havde fået indblik i de forskellige produkter, som de enkelte terminaler disponerede, og at vi ud fra dette havde konstrueret en tegneserie med en kunde, der i løbet af en dag fik besøg af DHL fem gange. De enkelte billeder i tegneserien skulle læses op, hvis deltagerne sad, så de ikke selv kunne læse dem.

Stikord:
"Ville dette kunne forekomme i virkeligheden? Er dette et problem for kunden? Kan man foretage afhentningerne på andre måder?"

Herefter skulle deltagerne kort diskutere ikke-ønskværdige udviklingsretninger for DHL. Hvis deltagerne ikke selv kom på nogle idéer, kunne der eventuelt hentes inspiration fra nogle af de eksterne trusler, der kom frem i SWOT-fasen.

Stikord:
"Nu har vi hørt en masse om, hvad I godt kunne tænke jer, og hvad I har af gode idéer og ønsker. For også at tilgodese de ønsker, I har for, hvordan det ikke bør udvikle sig i fremtiden, vil vi gerne høre...
- *hvad ville være en dårlig udviklingsretning for DHL?*
- *hvad ville være dårlige beslutninger for DHL?*
- *hvordan (i hvilken situation) vil I nødig se DHL i fremtiden?*
- *DHL er i en udviklingsfase; hvad ville være den værst tænkelige udviklingsretning?"*

Som afrunding på workshoppen ville vi gerne have nogle anbefalinger fra deltagerne omkring vigtige fokusområder. Dette ville give deltagerne mulighed for at få indflydelse på, i hvilken retning projektet skulle fokuseres.

Stikord:
"Har I her til sidst nogle gode råd til vigtige fokusområder i vores eksamensprojekt? I må meget gerne prioritere de områder, vi har snakket om: Hvad er vigtigst at tage hensyn til? Hvad skal i hvert fald bevares/ændres?"

Herefter ville vi takke af og eventuelt rose deltagerne for deres indsats i workshoparrangementet.

8.3.3 Referentens rolle

Referentens rolle skulle primært være at observere processen og nedskrive kommentarer. Herudover skulle referenten bidrage til den positive stemning og supplere facilitatoren. Vi valgte at lade referenten observere processen, da vi på den måde bagefter kunne diskutere, hvor i workshoppen deltagerne måske var tilbageholdende, utålmodige eller ivrige efter at fortælle om deres kæpheste.
Desuden skulle referenten observere, hvorledes samspillet mellem deltagerne var, og hvor gode de var til at lytte til og supplere hinanden. Endelig skulle referenten nedskrive deltagernes kommentarer og idéer. Hvor facilitatoren skulle skrive dette i stikordsform til direkte brug for deltagerne, skulle referenten skrive det i mere flydende tekst til brug i efterbehandlingen af workshoppen. Hele forløbet ville blive optaget på bånd til senere udskrivning som bilag til rapporten.
På en workshop er det vigtigt, at deltagerne føler sig godt tilpas, og at der er en god stemning til at underbygge idégenereringen og det kreative arbejde. Vi besluttede derform, at referenten, hvor det var muligt, skulle bidrage med kommentarer, der kunne lette arbejdet og hjælpe facilitatoren med at få deltagerne til at generere idéer. Herudover skulle referenten holde overblikket og stille opklarende spørgsmål, så den rette mening af deltagernes foreslag kunne nedskrives. Desuden skulle referenten hjælpe facilitatoren med at holde øje med tidsforbruget i de enkelte faser, så vi inden for den med deltagerne aftalte tidsramme kunne komme gennem alle de planlagte etaper.

8.3.4 Invitation af deltagere

Da vi efter aflysningen af den oprindeligt planlagte fælles workshop ringede rundt til kontakterne fra de forskellige terminaler og fortalte dem om de terminalbaserede arrangementer, fik vi af de fleste medarbejdere at vide, at der højst kunne sættes halvanden time af. Vi fik via mail eller telefonsamtaler kontakterne til at foreslå andre medarbejdere fra deres terminal, som kunne tænkes at deltage i workshoppen, og herefter ringede vi til disse og fortalte dem kort om idéen. Efter en mængde telefonsamtaler og mails frem og tilbage fik vi planlagt og fastlagt datoerne for workshops i: **Padborg d. 19. november** (hvor en repræsentant fra terminalen i Esbjerg også deltog), **Odense d. 20. november**, **Kolding d. 21. november**, **Aalborg d. 1. december** og **Stilling d. 12. januar** (hhv. i 2003 og 2004).

I tabel 8.3 ses et eksempel på de invitationer, vi inden workshoppen havde sendt til deltagerne.

Kære deltager
Tak fordi du vil deltage i den arrangerede workshop i Odense torsdag d. 20. november kl. 9:00. Dette oplæg giver dig et hurtigt overblik over formålet med workshoppen, tidsplanen for formiddagen og en smule information, som vi vil sætte pris på, at du har læst, inden vi mødes på onsdag.
Det primære formål med workshoppen er at få genereret en masse idéer til, hvordan samarbejdet og logistikken i DHL kan forbedres. Det er medarbejderne på de enkelte terminaler, der har den nødvendige viden og erfaring til at give forslag til hvilke retninger, der vil være ønskværdige at arbejde hen imod - både for den enkelte terminal og for DHL som helhed. Vi vil strukturere de idéer, der kommer frem, således at det giver os noget materiale til vores eksamensprojekt. Efter at have fokuseret på ønskerne til fremtiden bliver der også tid til at få nogle problemstillinger (nuværende såvel som fremtidige) på banen, og slutteligt vil vi meget gerne have nogle anbefalinger af vigtige fokusområder som gode råd til vores projekt.
Vi regner med, at workshoppen kommer til at tage omkring to timer og eventuelt mere, hvis jeres tidsplan tillader det. Vi kommer til at arbejde i flere etaper, hvorimellem der eventuelt vil indlægges pauser efter behov.
Følgende punkter kommer til at være dagsordenen for formiddagens arbejde:

- Præsentation af deltagere og workshop (10 min.).
- Idégenerering for fremtidige udviklingsretninger (35 min.).
- Udarbejdelse af SWOT-matrix (30 min.).
- Arrangørernes præsentation af fiktivt fremtidsscenarium og diskussion af ikke-ønskværdige fremtidsstrategier (20 min.).
- Deltagernes anbefalinger til arrangørerne og prioritering af fokusområder (25 min.).

SWOT-analysen (På engelsk en forkortelse for *Strengths*, *Weaknesses*, *Opportunities* og *Threats*) bruges til på en struktureret måde at opstille virksomhedens/afdelingens interne stærke og svage sider og identificere muligheder og trusler i omgivelserne. Herudfra kan man kombinere de interne sider med de eksterne forhold for at finde ud af hvilke retninger, der er muligt for virksomheden/afdelingen at udvikle sig i.
Resultatet af workshoppen vil være input til vores eksamensprojekt i form af deltagernes ønsker og idéer til hvordan logistikken og samarbejdet kan forbedres. Vi vil efterfølgende udarbejde en rapport med resultater fra workshoppen, som I får mulighed for at kommentere på, inden vi bruger den i vores eksamensprojekt.
Vi ser frem til arrangementet og håber på et positivt og konstruktivt arbejde.
Med venlig hilsen Britt og Louise

Tabel 8.3: Eksempel på det udsendte oplæg til workshoppen i Odense.

8.4 Processen på de afholdelte workshops

Der var mange fællestræk ved de forskellige workshops, selvom de også på mange måder var forskellige. Der var blandt andet stor forskel på, hvor meget facilitering der skulle til for at sætte idégenereringen i gang og for at få processen til at køre.
I de følgende afsnit giver vi en kort beskrivelse af vores indtryk af og forløb på de forskellige workshops.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

Deltagere og proces på workshoppen i Padborg
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Deltagere og proces på workshoppen i Odense
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Deltagere og proces på workshoppen i Kolding
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Deltagere og proces på workshoppen i Aalborg
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Deltagere og proces på workshoppen i Stilling
Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Procesopsamling

Vores overordnede oplevelse af de afholdte workshops var positiv. Det fungerede godt, at den ene af os var facilitator og den anden referent, og at vi supplerede hinanden i løbet af arrangementerne. Det velfungerende samarbejde og den positive faciliteringsproces skyldtes formentlig vores erfaring med afholdelse af workshops, samt at vi var velforberedte og havde lagt en fornuftig plan for forløbet. Der var stor interesse og tilfredshed med deltagelsen blandt medarbejderne på de forskellige workshops, og vores vurdering var, at de var glade for at have indflydelse på den problemstilling og de temaer, vi diskuterede på arrangementerne.

8.5 Resultater af workshops

Efter at have afholdt de forskellige workshops, lyttede vi båndene igennem og skrev fyldestgørende referater. Disse ses i bilag H. Alle deltagerne havde efterfølgende mulighed for at kommentere og rette i deres udtalelser, og referaterne er derfor godkendt af medarbejderne.
Gennem arbejdet med de mange forslag, ønsker og kritikpunkter, der kom frem på de afholdte arrangementer, kom vi frem til nedenstående syv centrale problemområder:

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

8.5.1 Opsamling på resultater

Som det ses af de ovenstående afsnit, fik vi efter behandlingen af de ca. 600 udsagn og idéer, der blev nævnt på de afholdte workshops, en masse forskelligartede resultater.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

Generelt fik vi en meget positiv respons fra de deltagere, som var med på de afholdte workshops. Medarbejderne syntes, at det var meget lærerigt at sætte sig ud over de daglige opgaver og tænke lidt mere bredt over deres arbejdssituation. Mange af deltagerne udtrykte også et ønske om, at ledelsen i DHL ville tage resultaterne af de afholdte workshops til efterretning og ændre og rette op på nogle af de problemområder, som blev diskuteret på de afholdte workshops.

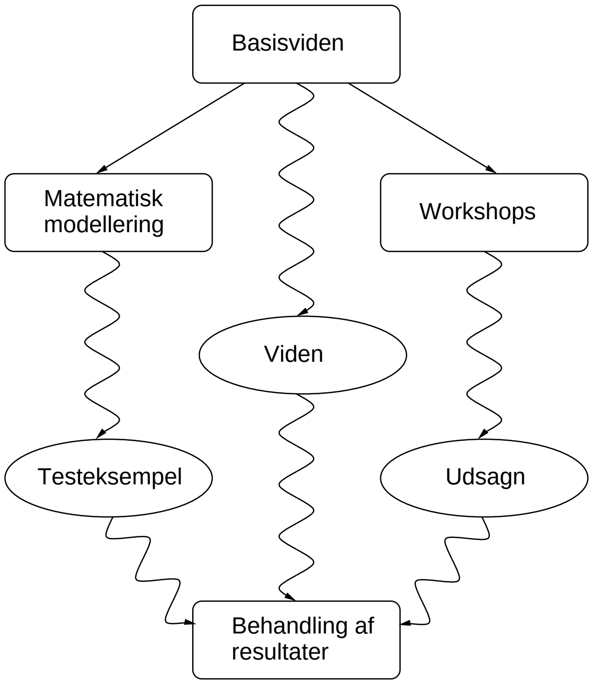
Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

Resultaterne fra denne tredje og sidste del af vores problemhåndtering bliver i kapitel 9 sammenholdt med de to andre etaper i en opsamling og behandling af de centrale resultater for dette projekt.

Kapitel 9

Resultatopsamling

Gennem de tre dele af håndteringsprocessen opnåede vi inden for de afsatte grænser en række forskellige resultater, som vi i dette kapitel vil samle op på. I figur 9.1 ses, hvordan vores problemhåndtering vedrørende basisviden, matematisk modellering og workshops forløb. Desuden ses hvilke resultater, hver af disse faser overordnet har givet os.



Figur 9.1: Grafisk oversigt over forløb og resultater fra den tredelte problemhåndteringsproces.

I de efterfølgende afsnit opridses kort begrænsninger og resultater fra de forskellige dele af problemhåndteringsprocessen.

9.1 Basisviden

I kapitel 6 blev der redegjort for vores indsamling af basisviden, som udgjorde første del af problemhåndteringen.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

9.2 Matematisk modellering

Gennem anden del af håndteringsprocessen, som blev beskrevet i kapitel 7, erfarede vi, at virkeligheden var vanskelig at modellere. Vi foretog derfor en række afgrænsninger og simplificeringer af det virkelige problem for med vores valg af metode og løsningsværktøj at kunne modellere og løse et testproblem.
En klar begrænsning var, at vi ikke kunne løse det reelle problem for virksomheden, da vi ikke havde de kvantitative data. Vi konstruerede derfor et testeksempel, som kunne repræsentere virksomhedens problemstilling i en meget simplificeret udgave. Skulle DHL ønske at benytte modellen til løsning af problemet med de reelle data, ville det kræve en effektivisering af modellen, investering i løsningsværktøjer med større teknisk kapacitet og/eller en væsentlig reduktion i de faktiske data. En løsning af det reelle lokaliserings- (og distributions-) problem ville i så tilfælde kunne angive, hvilke terminaler, der skulle være åbne, og hvilke der skulle lukkes, og dermed skabe det kvantitative grundlag for en debat i ledelsen og blandt medarbejderne, hvis det var ønsket. De primære resultater fra den anden del af håndteringsprocessen var derfor en eftervisning af den opbyggede matematiske model til løsning af et testeksempel for det betragtede lokaliserings- og distributionsproblem, samt en erkendelse af, at virkelige problemstillinger er svære at modellere og løse, og at det er nødvendigt at foretage forholdsvis mange simplificeringer for at kunne håndtere dem matematisk.

9.3 Workshops

Gennem tredje del af problemhåndteringsprocessen, som blev beskrevet i kapitel 8, fik vi fra de afholdte workshops en mængde udsagn fra deltagerne. Resultaterne fremkom inden for de grænser, som vi havde sat blandt andet i valg af deltagere, planlægning og udførelse af workshops samt i behandlingen af resultater.

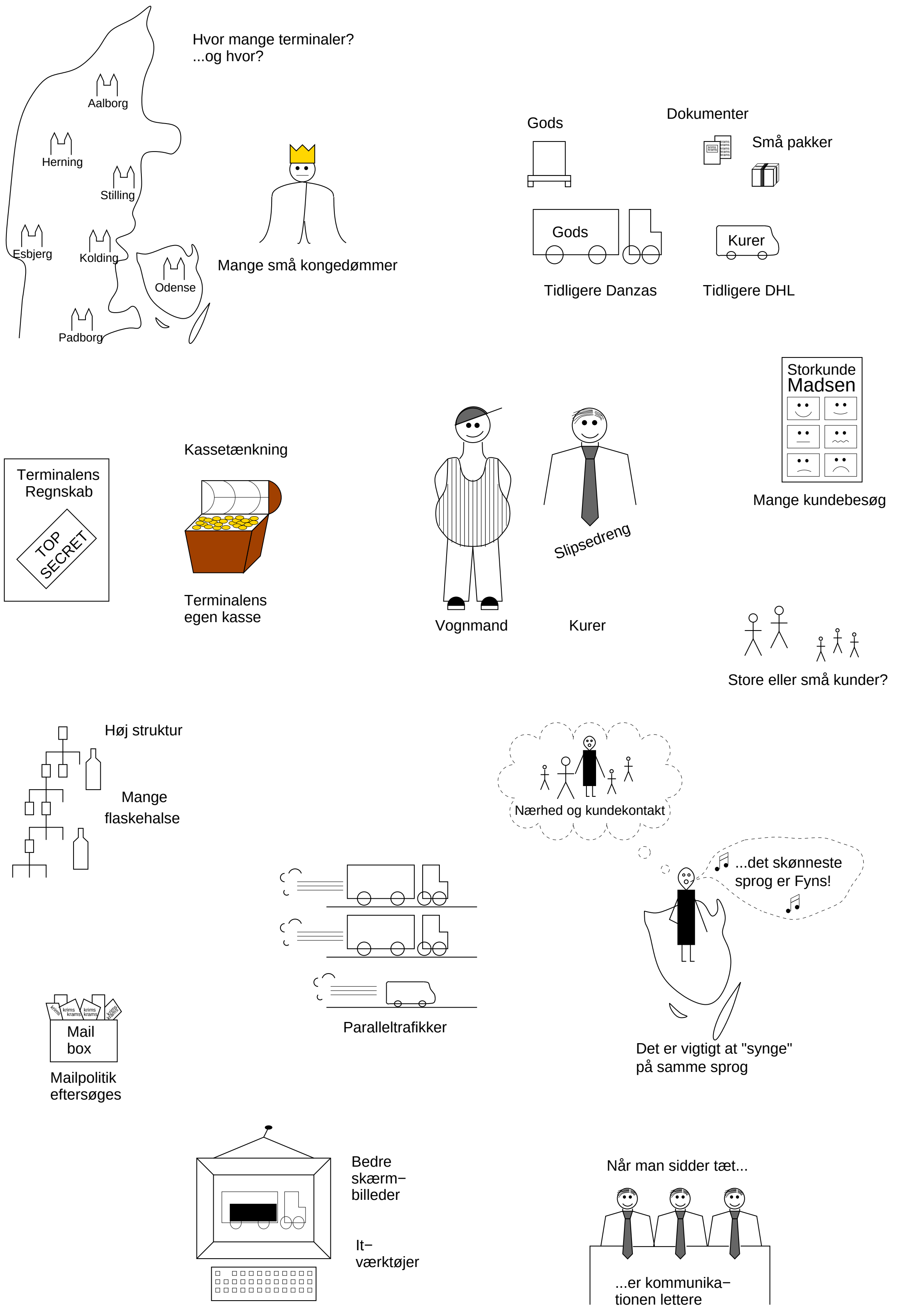
Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

9.4 Opsamling

På baggrund af det fra virksomheden stillede spørgsmål og resultaterne opnået gennem den tredelte håndteringsproces er i figur 9.2 ved brug af *rich pictures* illustreret nogle af de problemstillinger, som medarbejderne gav udtryk for, og som vi gennem terminalbesøg, møder og workshops observerede.

Resultatet af den tredelte håndteringsproces levede ikke op til vores forventninger, da vi i den matematiske modelleringsfase blot kunne løse et testresultat og ikke det reelle problem. Vi har derfor ikke mulighed for at sammenholde de opnåede resultater fra de tre dele af problemhåndteringsprocessen i udarbejdelsen af handlingsplaner. Disse er derfor konstrueret ud fra de konkrete resultater opnået gennem den indsamlede basisviden og de afholdte workshops, som sammenholdes med, hvad man ville kunne få ud af en matematisk håndtering af problemet samt hvilke muligheder, man har for at påvirke de matematiske beregninger med nogle af de betydningsfulde bløde faktorer.

I overvejelserne omkring hvilke anbefalinger, vi vil give, ligger en vurdering af, hvor stor vægt ledelsen bør lægge dels på et beregnet resultat og dels på resultaterne, som udsagnene fra de afholdte workshops har givet. I forlængelse af denne resultatopsamling opstilles i kapitel 10 en række handlingsplaner og bud på, hvad ledelsen i DHL bør overveje for den fremtidige udvikling af virksomheden. Vi håber derfor, at følgende kapitel vil give stof til eftertanke for ledelsen i DHL.



Figur 9.2: Identificerede problemstillinger i DHL illustreret ved brug af *rich pictures*.

Kapitel 10

Handlingsplaner

I dette kapitel giver vi på baggrund af resultaterne fra den tredelte håndteringsproces nogle bud på, hvad ledelsen i DHL inden for nærmeste fremtid bør overveje og eventuelt ændre på, samt hvad man på lidt længere sigt bør foretage sig. De kortsigtede anbefalinger vedrører områder, som ledelsen i DHL inden for det første halve år fra afleveringen af denne rapport bør tage op til overvejelse og eventuelt allerede inden for denne tidshorisont forandre. De anbefalinger, vi giver på lidt længere sigt, vedrører tiltag, der løber fra omkring et halvt til to år eller længere fra dette projekts afslutning.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

Kapitel 11

Diskussion

Vi har i dette projekt samarbejdet med virksomheden DHL og gennem en kombination af en række bløde og hårde operationsanalytiske metoder og værktøjer belyst et konkret problem, som virksomheden reelt ønskede undersøgt. Vores tilgang til problemstillingen var pragmatisk, og vi valgte at designe håndteringen af de enkelte delproblemer således, at vi benyttede de metoder og teknikker, som vi fandt mest egnede i de forskellige faser. Denne kombination af forskellige fremgangsmåder kaldes multimetodologi, og vi har i dette projekt taget begrebet op i den praktiske betydning.

Vi valgte at angribe den fra virksomheden stillede opgave ved at kombinere en række nøje udvalgte hårde og bløde operationsanalytiske metoder og metodikker. Gennem et specielt designet håndteringsforløb bearbejdede vi de enkelte delproblemstillinger på en hensigtsmæssig måde, hvilket ledte frem mod nogle for virksomheden relevante og brugbare handlingsplaner og nogle fagligt interessante resultater.
Det var af forskellige årsager ikke muligt for DHL at forsyne os med de nødvendige kvantitative data, hvorfor resultaterne af den hårde operationsanalytiske problemhåndteringsproces halter i forhold til vores forventninger om at modellere og løse det faktiske lokaliseringsproblem. Virksomheden mister derfor en stor del af gevinsten ved metodekombinationen, og sammenligningen af de tre håndteringsprocesser mangler det kvantitative led.

Som beskrevet i afsnittet om multimetodologi på side 32 kan man kombinere metoder og værktøjer på mange forskellige måder. Man kan knytte forskellige metoder til de enkelte faser i problemhåndteringsprocessen, man kan udbygge en metode ved at tilføje værktøjer fra andre, eller man kan designe en helt specifik fremgangsmåde ved at tage dele fra forskellige metoder. Vi valgte overordnet at benytte forskellige tilgange i de tre faser, vi opdelte problemhåndteringen i, og i hver enkelt fase at designe et specifikt forløb, som vi fandt hensigtsmæssig til den pågældende delproblemstilling.

Til indsamling af basisviden om virksomheden benyttede vi ikke en egentlig metode, men gjorde brug af interviewteknikker i de mange samtaler, vi havde på terminalbesøgene, samt var bevidste om de spilleregler, der eksisterer, når man forsøger at "komme ind under huden" på folk og danne positive relationer.
I kontakten med virksomheden lagde vi vægt på vores rolle som studerende, og at vi forsøgte at forholde os objektivt til de problemstillinger, som vi i arbejdet med

virksomheden stødte på. Dette betød, at vi i forhold til medarbejderne var informationsindsamlere samt deres problemformidlere over for ledelsen, og at vores rolle over for ledelsen var at belyse det stillede problem med terminalplaceringen kombineret med medarbejdernes ønsker.
Vi mener, at vi formåede at etablere en positiv basis for det samarbejde, vi gennem projektforløbet havde med de mange forskellige medarbejdere på DHL, og at vi fik en solid basisviden om virksomheden gennem møder og terminalbesøg.
En afgrænsning i vores indsamling af viden om virksomheden lå i vores valg af fokusområde, idet vi eksempelvis ikke inddrog DHL's kunder. Deres ønsker og idéer til terminalplaceringen blev derfor ikke inddraget i projektet. Hvis man bryder de grænser, man sætter for et problem for at kunne behandle det, vil man givetvis opnå andre vinkler på problemstillingen. Inddragelse af kunderne kunne ligeledes have haft indflydelse på hhv. den matematiske modelleringsfase og de afholdte workshops.

I anden etape af problemhåndteringen, som foregik sideløbende med tredje etape, benyttede vi udelukkende hårde operationsanalytiske metoder og værktøjer. Vi udarbejdede en række matematiske modeller over hhv. lokaliserings- og distributionsproblemet og endelig en samlet model over hele det kvantitative problem omkring antal og placering af DHL's terminaler i Vestdanmark samt tilknytning af kunder og bilruter.
Vi foretog en række valg og fravalg i denne proces, og beslutningen faldt på benyttelse af lineær programmering til modellering af problemet og brug af optimeringsværktøjet GAMS til løsning af den implementerede matematiske model. Gennem hele modelleringsprocessen blev der truffet mange valg. En af de essentielle konsekvenser af den endelige matematiske model var størrelsen, som gjorde det vanskeligt at løse problemet med en stor datamængde. Hvis vi havde holdt fast ved en opdeling af de to problemer, ville det muligvis have resulteret i to modeller, som hver især kunne løse delproblemstillingerne med en større mængde data, end den endelige model er i stand til. Dog viste det sig i løbet af modelleringsprocessen, at dels var det meget vanskeligt at formulere de to problemer uafhængigt af hinanden, og dels havde de delformuleringer, vi arbejdede med for problemerne, større dimensioner end den model, vi slutteligt løste.
Vores valg af løsningsværktøj satte i sig selv nogle begrænsninger for resultaterne, idet GAMS er et standardoptimeringssoftware. Det ville givetvis have været en fordel at konstruere en problemspecifik algoritme og implementere denne i eksempelvis Java, men vi ønskede ikke at investere den nødvendige tid i dette, da det ville have beslaglagt en langt større del af vores projektforløb i forhold til de to andre etaper. Hvis vi havde valgt et projektforløb med fokus på en kvantitativ problemløsning, ville det efter vores mening have været fordelagtigt at benytte et alternativt løsningsværktøj.
Det er en mangel, at vi ikke havde mulighed for at løse problemstillingen matematisk og dermed bidrage med en kvantitativ vinkel på handlingsplanerne. Modellen blev eftervist på et mindre datasæt, og skulle DHL ønske at bruge den til beregning på deres reelle problemstilling, vil det være nødvendigt at bearbejde modellen, investere i effektivt hard- og software samt at tilpasse datamængden til modellens og løsningsværktøjets kapacitet.
Overordnet er det vores klare erfaring, at det er meget vanskeligt at modellere virkelige problemer, som omfatter en stor datamængde og mange forskellige faktorer. Desuden er det vores vurdering, at det sandsynligvis vil være nødvendigt at designe en problemspecifik heuristik til løsning af det konkrete problem, hvis de beregnede resultater skal

have praktisk relevans i sig selv.

I tredje etape benyttede vi udelukkende bløde operationsanalytiske metodikker med inddragelse af en række kreative teknikker. Sideløbende med det matematiske modelleringsarbejde planlagde og udførte vi i alt fem workshops med deltagere fra seks af terminalerne og kurerstationerne i Vestdanmark. Målet med afholdelsen af de fem workshops var dels at indsamle information omkring medarbejdernes ønsker og idéer til fremtiden, herunder kritik til DHL's nuværende situation, og dels at bibringe et ejerskab blandt medarbejderne i forhold til det arbejde, vi udførte for DHL's ledelse, således at implementeringen af de fremtidige handlingsplaner kunne blive en succes.
Vi valgte at designe en problemspecifik tilgang, og resultatet af vores overvejelser omkring anvendelse af bløde operationsanalytiske metodikker og kreative teknikker blev en workshop, der overordnet bestod af fire faser: (1) Præsentation af deltagere som en form for optøning inden det egentlige workshoparbejde, (2) Divergens med positiv idégenerering omkring forslag og ønsker til fremtiden, (3) Strukturering af idéer og forslag ved brug af SWOT-metoden og (4) Diskussion af fremtidsscenarier, ikke-ønskværdige strategier og udviklingsretninger samt deltagernes anbefalinger af fokusområder.
Vi kørte med denne struktur på alle fem workshops, da den viste sig velegnet. Vores valg af at lægge en kritikfase ind forholdsvis sent i forløbet viste sig at være fornuftigt, idet kritikken ikke tog overhånd og spolerede den positive idégenereringsfase, men kom frem under et afgrænset tema i workshoppen. Vores kreative værktøjer i form af en mængde plancher var et positivt element, idet de bidrog til en god stemning, et par smil og efter vores mening påvirkede idégenereringen i den rigtige retning.
Vi mener, at en væsentlig grund til, at der på de afholdte workshops var en så produktiv stemning og fremkom en så stor mængde resultater, var vores erfaringer som facilitatorer, samt at vi var to, der i processen kunne supplere hinanden. Vi var meget bevidste om de forskellige redskaber, vi kunne bruge, og de forskellige tangenter, vi kunne spille på i faciliteringsprocessen. At vi nogle gange var styrende og andre gange tilbageholdende og observerende, nogle gange lagde vægt på vores "uvidenhed" og andre gange stillede provokerende spørgsmål med et smil på læben var med til at give næring til nogle gode diskussioner. Desuden var dette med til at inspirere nogle personer, som ellers var passive, og bragte problemstillinger og ønsker frem i lyset, som deltagerne måske ellers ville have holdt skjult. Det viste sig klart på flere workshops, at der kom nogle ting frem, som man ellers var varsom med at dele. Når én af deltagerne blev grebet af diskussionen, følte for temaet eller blev provokeret af et spørgsmål og udtalte sig meget frit om et emne, oplevede vi flere gange, at de andre deltagere sagde: "Pas nu lige på, hvad du siger...", tyssede, klappede på låret eller på anden måde angav, at vedkommende var ved at komme ind på et lidt for følsomt emne. Vi oplevede dog ikke én eneste gang, at de dæmpende bemærkninger og hentydninger, der kom fra de andre deltagere, havde effekt, men at alle kom frem med deres synspunkter - kritik såvel som ønsker - og at vi på den måde fik et utrolig bredt spektrum af bidrag fra arrangementerne.
De afholdte workshops var alle underlagt relativt stramme tidsplaner. Hvis medarbejderne havde kunne afsætte lidt længere tid til workshoparrangementerne, havde det givetvis været fordelagtigt med en udvidet optøningsfase. Her kunne man f.eks. bruge små lege, drømmeteknik, fællesspisning eller lignende. I forbindelse med den type af mennesker, som vi afholdt workshops for, ville det formodentlig have været godt med

lidt kaffe, kage og småsnak inden selve workshoparbejdet. I forbindelse med de workshops, hvor vi efterfølgende spiste frokost med deltagerne eller på anden vis havde en mere uformel tid sammen efter arrangementet, erfarede vi, at der ofte kom mange idéer og kritikpunkter frem, da deltagerne her var mere afslappede og talte mere frit fra leveren.
Tidsrammen for de afholdte workshops var dog så tilpas lang, at den tillod tilbageholdende eller negative og bremsende personer at nå at løsne op og bidrage positivt til processen. Dette havde efter vores formodning ikke været muligt, hvis vi havde haft kortere tid til rådighed.
Vores valg af metodikker, værktøjer og tema for workshoppen medførte naturligvis nogle grænser for de resultater, der kom ud af denne fase. En af de centrale begrænsninger lå i subjektiviteten, idet vi kun stiftede bekendskab med et begrænset antal medarbejdere, hvorved resultaterne kun repræsenterede holdningerne fra en lille del af virksomheden. Desuden lå der en begrænsning i måden, vi efterfølgende behandlede workshopresultaterne og kom frem til de syv fokusområder. Pga. fortroligheden i projektet var det ikke muligt for os at vende tilbage og præsentere det samlede resultat for deltagerne, selvom dette kunne have bibragt andre vinkler på resultatbehandlingen.
Brugen af multimetodologi til design af workshops i denne fase viste sig at være en gevinst for arrangementerne. Inddragelsen af de elementer, som vi efter grundige overvejelser valgte at have som essentielle dele i vores brugerorienterede tilgang, gjorde det muligt at berøre mange problemområder, som gav direkte input til de udarbejdede handlingsplaner. På et terminalbesøg, hvor vi præsenterede projektets problemområde, var medarbejderens umiddelbare reaktion at sige: "Nu er det jo et minefelt, I har bevæget jer ind i!" Dette var et eksempel på, at medarbejderne også var klar over, at der var meget politik og mange eksisterende og potentielle konflikter forbundet med spørgsmålet om antallet og placeringen af terminaler i Vestdanmark. De mangfoldige resultater, som vi opnåede gennem problemhåndteringsprocessen, vidnede om en succesfuld metodekombination, hvor ud fra vi blev bekræftet i vores formodning om, at multimetodologi er en hensigtsmæssig tilgang til virkelige problemstillinger.

På et møde kort før projektforløbets afslutning fik vi at vide af en af vores kontaktpersoner, at der netop var udført en intern medarbejderundersøgelse, som inddrog en lang række af de områder, vi i dette projekt kom ind på. Dette viser, at selvom vi ikke samarbejdede med en bred del af DHL's medarbejderstab, og at vores brugergruppe derfor ikke nødvendigvis var repræsentativ, har de resultater, der kom ud af denne del af problemhåndteringen, alligevel ramt mange af de for virksomheden centrale problemområder.

Der er en mængde måder at benytte multimetodologi i praksis, og kunsten består bl.a. i at designe den overordnede tilgang til problemløsningen og de enkelte delfaser på en sådan måde, at man på bedst mulig vis håndterer det givne problem.
Målet for projektet var at undersøge, hvorvidt kombination af forskellige hårde og bløde operationsanalytiske metoder er hensigtsmæssig til håndtering af virkelige problemstillinger.
Med dette mål for øje kom vi gennem den tredelte proces, som vi mener, var lærerig for både os og for medarbejderne i virksomheden. Da vi ikke havde kvantitative data for det reelle problem, som DHL ønskede løst, var det dog ikke muligt for os at eftervise

brugbarheden af at kombindere hård og blød operationsanalyse, idet den hårde del af vores problemhåndtering mundede ud i løsning af et enkeltstående testeksempel. Vi kunne derfor ikke, som vi ønskede, diskutere den hårde og den bløde operationsanalytiske problemtilgang i en anvendelsesmæssig sammenhæng.
De udarbejdede handlingsplaner har derfor basis i resultaterne fra den opnåede viden om virksomheden og den brugerorienterede workshoptilgang. De udarbejdede handlingsplaner belyser det spørgsmål, vi som udgangspunkt blev stillet, og præsenterer nogle konkrete fokusområder og forslag til tiltag samt giver mulighed for reflektion i virksomheden.
Der, hvor brugen af multimetodologi viste sig hensigtsmæssig, var derfor i vores kritiske indstilling til den præsenterede problemstilling og i kombinationen af forskellige bløde metodikker og kreative værktøjer. Dermed fik vi, trods den manglende mulighed for overordnet at diskutere anvendelse af hårde og bløde operationsanalytiske metoder i sammenhæng, i praksis set multimetodologiens velegnethed.

Evaluering af det at samarbejde med en virksomhed

Det at samarbejde med en virksomhed krævede tid og tålmodighed, hvilket hang sammen med, at samarbejdet om vores projekt for virksomheden blot var én blandt mange arbejdsopgaver, der skulle løses, mens det for os var den eneste store opgave, der blev arbejdet med. Informationer, mødedatoer osv. var derfor ofte længere undervejs end vi umiddelbart ønskede, og der var derfor meget ventetid, der som regel kunne udnyttes til andre opgaver, men som også kunne være frustrerende.
Det var meget lærerigt for os at arbejde med virksomheden, og det gav et godt indblik i arbejdsgange og de udfordringer, der knytter sig til en organisation i forandring.
Skulle vi starte forfra og træffe vores valg på ny, ville vi atter vælge at samarbejde med en virksomhed, da man på den måde kommer til at arbejde med problemstillinger, der har relevans og ikke blot kommer til at udarbejde et projekt, som ender i et arkivskab.
Vi mener, at det var en udfordring og et uundværligt element i vores speciale, at vi arbejdede frem mod resultater, der kunne give stof til eftertanke, og hvis handlingsplanerne ville blive implementeret, kunne bibringe konkrete forbedringer for de berørte personer i virksomheden.

Processen omkring vores arbejde med virksomheden involverede to af de i artiklen "*Dealing with Problematic Situations*" beskrevne *social interventions* (sociale interventioner) [13]. Som udgangspunkt for vores eksamensprojekt havde vi et klart fagligt mål vedrørende benyttelse af en kombination af nogle af de bløde og hårde operationsanalytiske problemtilgange, som vi gennem vores studium havde stiftet bekendskab med. Vi ønskede at undersøge, hvorvidt en sådan kombination af forskellige metoder og teknikker egnede sig til håndtering af en konkret problemstilling, hvorfor vi ville samarbejde med en virksomhed. Vores tilgang til projektforløbet var derfor *research-driven* ("forskningsbaseret"), idet vi hverken havde lagt os fast på en bestemt virksomhed eller en specifik problemstilling. Vi vidste blot, at vi ville arbejde med multimetodologi gennem en pragmatisk tilgang.
Efter etablering af kontakt til virksomheden blev den sociale intervention i samarbejdet primært *participative* ("deltagelsesbaseret"), idet vi i fællesskab med ledelsesgruppen

fandt frem til den problemstilling, vi i projektet skulle arbejde med. Desuden havde vi gennem den omfangsrige kontakt til de mange medarbejdere en stor grad af deltagelse og involvering af brugerne i virksomheden. Vores fokus på brugerinddragelse var med til at bryde de grænser, vi som udgangspunkt fik opstillet af ledelsesgruppen, idet vi valgte at udvide problemstillingen ved at inddrage nogle af de berørte medarbejderes holdninger og ønsker omkring det stillede spørgsmål.

Evaluering af vores samarbejde

At samarbejde to personer om projektet var på mange måder rigtig godt. Det gav os mulighed for at samarbejde og give hinanden kritik, ros og inspiration undervejs. Desuden brainstormede vi i vores proces løbende over hvilke retninger, projektet skulle udvikle sig i, samt indholdet i forskellige afsnit. Vores samarbejde skabte i den forbindelse ofte synergieffekter og bibragte elementer, som vi ikke alene ville være nået frem til.
Vi forstod også at finde en god balance mellem arbejde og sociale aktiviteter. Vi var gode til at sætte os til computerne og arbejde koncentreret, men kunne også holde en pause, gå en tur og lade tankerne og snakken flyde i retninger langt væk fra projektet. Det indbyrdes samarbejde medførte naturligvis også nogle kompromisser, og ingen af os nåede fagligt langt ud i de retninger, som vi havde som særinteresser. Projektet blev koncentreret om de områder, hvor vi havde fælles interesser, og hvor vores faglige kompetencer supplerede hinanden. Skulle vi vælge forfra, ville vi endnu engang vælge at skrive sammen.

Kapitel 12

Konklusion

Vi har i dette projekt benyttet multimetodologi som det centrale element i håndteringen af en virkelig problemstilling. Vi har valgt at benytte en række metoder og værktøjer både enkeltvis og i kombination, som efter vores mening er hensigtsmæssige i forbindelse med de forskellige faser i problemhåndteringen. Vi mener overordnet, at vores metodevalg har været fornuftigt, da sådanne problemstillinger indeholder mange forskellige aspekter, hvortil man med fordel kan benytte supplerende tilgange, metoder og værktøjer.

Vores mål med projektet var gennem en fagligt begrundet håndteringsproces at bibringe virksomheden nogle konkrete handlingsplaner samt stof til eftertanke vedrørende den givne problemstilling.
Gennem vores indledende indsamling af basisviden fik vi understreget vigtigheden af at dokumentere det udførte arbejde og den anskaffede data, samt at oparbejde et solidt kendskab til virksomheden, diverse processer, arbejdsgange og kulturer samt at etablere et positivt forhold til de medarbejdere, der skulle samarbejdes med i den videre problemhåndtering.
Den matematiske model for det samlede lokaliserings- og distributionsproblem blev eftervist på et mindre datasæt og besvarede dermed ikke den konkrete problemstilling. Hvis DHL ønsker at bruge den til beregning på deres reelle problem, vil det være nødvendigt at bearbejde modellen, investere i effektivt hard- og software samt at tilpasse datamængden til modellens og løsningsværktøjets kapacitet.
Afholdelse af workshops og brug af de valgte bløde operationsanalytiske metodikker mundede ud i nogle konkrete anvisninger med basis i en række centrale fokusområder samt stof til eftertanke i virksomheden. Vi erfarede tilmed i denne forbindelse, at medarbejderne var utrolig glade for at arbejde kreativt inden for de dynamiske rammer, som workshops repræsenterer alternativt til traditionelle møder, samt at der var en udbredt tilfredshed over at være en del af processen, at blive inddraget og have indflydelse på projektet.

Ud fra de resultater, den tredelte problemhåndteringsproces gav, samt projektforløbet som helhed kan vi konkludere, at multimetodologi er en velegnet fremgangsmåde til håndtering af virkelige problemstillinger.
Der manglede en praktisk sammenhæng mellem den matematiske modelleringsfase og

resten af problemhåndteringen. Der, hvor brugen af multimetodologi viste sig hensigtsmæssig, var derfor i vores kritiske indstilling til den præsenterede problemstilling og i kombinationen af forskellige bløde metodikker og kreative værktøjer.
Dermed fik vi, trods manglende mulighed for overordnet at diskutere anvendelse af hårde og bløde operationsanalytiske metoder i sammenhæng, i praksis set multimetodologiens velegnethed.

Vi formåede at belyse den fra virksomhedens ledelse præsenterede problemstilling og gav gennem udarbejdelse af handlingsplaner både anvisninger til konkrete tiltag inden for nogle centrale områder og anbefalinger, der kan give stof til eftertanke i virksomheden.

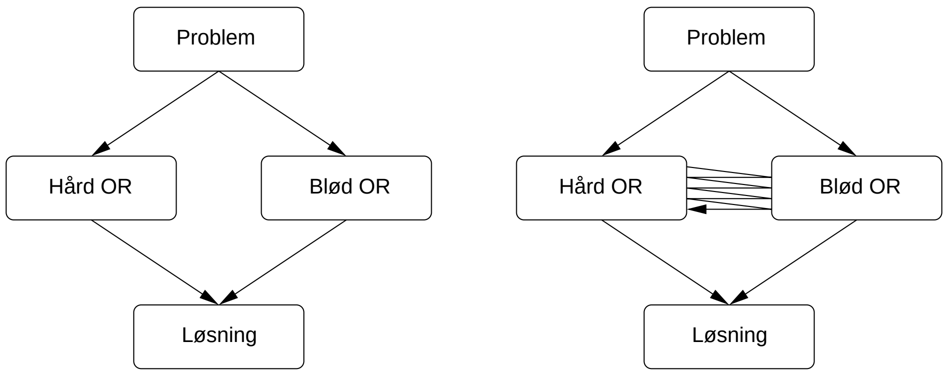
Vores projektforløb har trods perioder med frustrationer over den megen ventetid og manglende data, som samarbejdet med en virksomhed kan medføre, været utrolig positivt og lærerigt, og det har været en uvurderlig drivkraft at arbejde med en virkelig problemstilling. Vi har oplevet, at vores tilstedeværelse på virksomheden har åbnet nogle øjne blandt de medarbejdere, vi gennem projektforløbet har samarbejdet og været i kontakt med, og det er vores forhåbning, at ledelsen også tager vores anbefalinger til efterretning.

Kapitel 13

Perspektivering

I dette kapitel giver vi ganske kort vores bud på fremtidsmulighederne for hhv. multimetodologi som metode og fortsættelse af arbejdet med virksomhedens problemstillinger.

En term, vi introducerede i vores metodebeskrivelse, og som er det centrale element i vores problemhåndtering, er multimetodologi. Der findes ikke nogen "opskrift" på den praktiske anvendelse af multimetodologi. Det er dog vores klare overbevisning, at multimetodologi har en række åbenlyse fordele, der gør, at tilgangen i fremtiden vil vinde terræn, og at flere vil se potentialet i praktisk at anvende princippet.
Ved brug af multimetodologi kan man tage det bedste fra forskellige tilgange til problemhåndtering og -løsning og eksempelvis kombinere hårde og bløde operationsanalytiske metoder efter behov. Der findes et utal af muligheder for, hvorledes denne kombination af forskellige metoder og fremgangsmåder kan finde sted. Anvendelsen af metoderne kan ske mere eller mindre separat i forskellige faser af problemhåndteringen og -løsningen, eller de kan forløbe som en iterativ proces, hvor brugerne i mere eller mindre grad er deltagende i den matematiske løsningsproces. I figur 13.1 ses til venstre en grov skitse af et forløb ved brug af multimetodologi, hvor den bløde og hårde behandling af problemstillingen kører separat og først sammenholdes i selve valget af løsning. Til højre i figuren ses en brug af multimetodologi, hvor der i problemhåndteringen konstant veksles mellem bløde og hårde metoder, hvilket giver mulighed for en høj grad af brugerinddragelse.



Figur 13.1: Grov skitse af forskellige måder at benytte multimetodologi på.

Hvis vores tidsramme havde tilladt det, ville det have været interessant at behandle de reelle kvantitative data for virksomheden fremfor et testeksempel til beregning af terminalplaceringen. Hvis der havde været yderligere tid, ville det desuden have været interessant at konstruere en heuristik til løsning af problemet, hvor man kunne inddrage endnu flere parametre. Herefter kunne man ved sammenligning se, om der ville være væsentlig forskel på de resultater, der fremkom gennem modellering og løsning i GAMS, og de, der fremkom gennem programmering i f.eks. C++.

En oplagt forlængelse af dette projekt kunne være afholdelse af opfølgende workshops for medarbejderne i virksomheden. Her kunne et eventuelt beregnet resultat for terminalplaceringen drøftes, og de syv problemområder fra de i dette projekt afholdte workshops kunne diskuteres yderligere. Desuden kunne man udvide de i dette projekt satte grænser ved at inddrage virksomhedens kunder og på den måde tage deres vinkel på problemstillingen i betragtning.

Slutteligt ser vi frem til, at virksomhedens ledelse læser vores projekt og/eller rapporten til ledelsen (bilag I) og tager vores anbefalinger til eftertanke. Det bliver i den forbindelse interessant at se hvilke forandringer, der i fremtiden vil ske i virksomheden både med hensyn til terminalplaceringerne samt i udviklingen af organisationen.
Det bliver også interessant at følge den metodemæssige og praktiske udvikling inden for multimetodologifeltet og se, om der i fremtiden bliver udarbejdet flere casestudier med praktisk anvendelse af tilgangen.

Litteratur

[1] Sørensen, Lene & Vidal, Victor (2000): *Strategi og planlægning som læreproces - Seks bløde fremgangsmåder*, Handelshøjskolens Forlag, 1. udgave 2. oplag.

[2] Wolsey, Laurence A. (1998): *Integer Programming*, John Wiley & Sons, Inc., 1. udgave 2. oplag.

[3] Hillier, Frederick S. & Lieberman, Gerald J. (2001): *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill, 7. udgave.

[4] Clausen, Svend (2000): *Matematisk modellering*, IMM Lecture Notes, DTU.

[5] Mingers, John (2001): *Multimethodilogy - Mixing and Matching Methods*, i: Rosenhead, Jonathan & Mingers, John: *Rational Analysis for a Problematic World Revisited - Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict*, John Wiley & Sons, Ltd, 2. udgave, side 289-309.

[6] Checkland, Peter (2001): *Soft Systems Methodology*, i: Rosenhead, Jonathan & Mingers, John: *Rational Analysis for a Problematic World Revisited - Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict*, John Wiley & Sons, Ltd, 2. udgave, side 61-90.

[7] Berger, R. T., Coullard, C.R. & Daskin, M. S. (1997): *Modelling and Solving Location-Routing Problems with route-Length Constraints*, Transportation Science, side 1-27.

[8] Crainic, Teodor G. & Laporte, Gilbert (1997): *Planning models for freight transportation*, European Journal of Operational Research, Vol 97, side 409-438.

[9] Fisher, Marshall (1995): *Vehicle Routing*, Handbooks in OR & MS, Vol. 8, side 1-33.

[10] Kohl, N., Desrosiers, J., Madsen, O. B. G., Soloman, M. M. & Soumis, F. (1999): *2-path Cuts for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*, Transportation Science, Vol. 33, side 101-116.

[11] Vidal, Victor (1999): *Operational Research Approaches for Planning*, IMM Lecture Notes, DTU, side 1-101.

[12] Vidal, Victor (2004): *The Vision Conference - Facilitation creative processes*, to appear in: Systemic Practice and Action Research, March 2004.

[13] Vidal, Victor (2004): *Dealing with Problematic Situations*, IMM Lecture Notes, DTU, side 1-26.

[14] Vidal, Victor (2003): *Creativity and Problem Solving*, IMM Lecture Notes, DTU, side 1-27.

[15] Vidal, Victor (2004): *The art and science of problem solving*, IMM Lecture Notes, DTU, side 20.

[16] Rasmussen, Lauge Baungaard m. fl. (2001): *Kompendium, Kursusmateriale til Brugerorienteret Planlægning*, IPL Lecture Notes, DTU.

[17] Juel, Henrik (2001): *Introduktion til Operationsanalyse*, IMM Lecture Notes, DTU.

[18] Materiale udleveret af kontaktpersoner på DHL.

[19] www.dhl.dk

[20] www.gams.com

Bilag A

Proces og projektforløb

A.1 Oversigt over proces og projektforløb

- **Udgangspunkt for projektet (s. 2)**
- **De indledende forberedelser til projektet (s. 2)**
- **Officiel projektstart (s. 2)**
- **Milepæle i projektforløbet (*Fortrolig figur*)**

A.2 Udgangspunkt for projektet

I dette kapitel beskrives vores projektforløb samt de begivenheder, der havde særlig betydning for vores arbejde.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

A.3 De indledende forberedelser til projektet

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

A.4 Officiel projektstart

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Bilag B

Virksomhedsord, afdelinger og kontaktpersoner

B.1 Oversigt over ordforklaring

B.2 Virksomhedsord

I dette bilag forklares kort en række af de virksomhedsrelaterede ord, som bruges hhv. i DHL og i transportbranchen som helhed.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

B.3 DHL's afdelinger i forskellige byer

I dette bilag præsenteres kort de danske byer, hvor der er DHL-afdelinger, terminaler og/eller -kurerstationer og derefter to udenlandske byer, hvor der ligger kontorer, som bliver nævnt i projektet.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

B.4 Kontaktpersoner

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Bilag C

Matematiske formuleringer

C.1 Oversigt over matematiske formuleringer

C.2 Lineære problemformuleringer (LP)

I dette afsnit ses en generel matematisk formulering af et lineært programmeringsproblem samt en præsentation og løsning af et LP.

Generel formulering:

$$\max \{cx : Ax \leq b, x \in \mathcal{R}_+\} \tag{C.1}$$

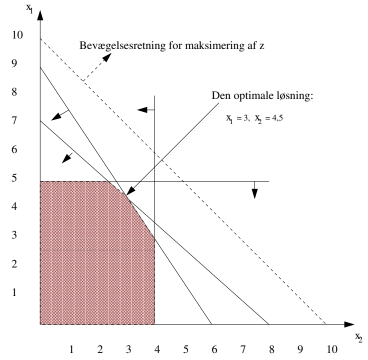
Et eksempel på et lineært programmeringsproblem er "Kaffeproblemet" (*The Coffee Problem*), som består i følgende:

En mand og hans kone tager på café, bestiller kaffe og får serveret en bakke med kaffe, mælk, sukker og sødetabletter. De ønsker at konsumere mest muligt at det serverede, og problemet består derfor i at bestemme det antal kopper, de hver især med deres forskellige præferencer skal drikke for at konsumere mest muligt af det, de får serveret på caféen.
Problemets parametre udgøres hhv. deres bestilling og deres kaffedrikkevaner. De får serveret 1 kande kaffe indeholdende 6 kopper, 1 kande mælk indeholdende 1 1/2 kop, 1 sukkerskål indeholdende 8 sukkerknalder og 5 sødetabletter, manden foretrækker 3 dele kaffe til 1 del mælk og 2 sukkerknalder pr. kop, og konen foretrækker 5 dele kaffe til 1 del mælk og 1 sødetablet pr. kop.
En lineær programmeringsmodel, der formulerer det beskrevne problem, kan ses nedenstående (C.2), hvor x_1 og x_2 angiver det antal kopper, som hhv. manden og konen skal drikke, for at de får mest mulig kaffe for pengene.

$$\begin{array}{llcllll}
\text{Max} & x_1 & + & x_2 & & & \\
\text{Uht.} & \frac{3}{4}x_1 & + & \frac{5}{6}x_2 & \leq & 6 & (1) \\
 & \frac{1}{4}x_1 & + & \frac{1}{6}x_2 & \leq & \frac{3}{2} & (2) \\
 & 2x_1 & & & \leq & 8 & (3) \\
 & & & x_2 & \leq & 5 & (4) \\
 & x_1 & & & \geq & 0 & \\
 & & & x_2 & \geq & 0 &
\end{array} \tag{C.2}$$

Objektfunktionen søger at maksimere det samlede antal kopper kaffe (inkl. mælk, sukker/sødetabletter). Første begrænsning sikrer, at antallet af kopper, hhv. manden og konen skal drikke, ikke overstiger det samlede antal på 6 kopper kaffe, andet begrænsning svarer til mængden af mælk, tredje og fjerde begrænsning sikrer, at mængden af hhv. sukkerknalder og sødetabletter ikke overskrides, og slutteligt angives domænerne for de to beslutningsvariable, x_1 og x_2.

Løsning af den matematiske model for problemet angiver, at manden skal drikke 3 ($x_1 = 3$), og konen skal drikke 4 1/2 ($x_2 = 4,5$) kopper kaffe [11]. På figur C.1 ses en grafisk løsning af problemet.



Figur C.1: Grafisk løsning af kaffeproblemet.

C.3 Heltallige problemformuleringer (IP)

I dette afsnit ses en generel matematisk formulering af et heltalligt programmeringsproblem samt en præsentation og løsning af et IP.

Generel formulering:

$$\max \{cx : Ax \leq b, x \in \mathcal{Z}_+\} \tag{C.3}$$

Et eksempel på et heltalligt programmeringsproblem er produktionsplanlægning, som består i følgene:

Der skal besluttes, hvor meget der skal produceres af en mængde forskellige produkter, som gennemgår en række operationer på nogle produktionsmaskiner. Det giver her ikke mening at tale om halve eller kvarte mængder - eksempelvis produktion af fjernsyn og videoer, hvorfor beslutningsvariablene er heltallige.

Vi betragter i dette eksempel et problem, hvor profitbidraget fra to produkter er hhv. 10 og 20 kr., første produkt (svarende til x_1) skal bruge hhv. 1 og 2 timer på maskine 1 og 2, og andet produkt skal bruge hhv. 3, 2 og 1 time på maskine 1, 2 og 3, som har en kapacitet på hhv. 200, 300 og 60 timer. Heltalsproblemet kan formuleres således:

$$
\begin{array}{lrcrcrl}
\text{Max} & 10x_1 & + & 20x_2 & & & \\
\text{Uht.} & x_1 & + & 3x_2 & \leq & 200 & (1) \\
 & 2x_1 & + & 2x_2 & \leq & 300 & (2) \\
 & & & x_2 & \leq & 60 & (3) \\
 & \multicolumn{6}{l}{x_1 \in \mathcal{Z}_+, \quad x_2 \in \mathcal{Z}_+}
\end{array}
\tag{C.4}
$$

Løsningen på dette lille eksempel findes lettest ved at tegne problemet op. Den optimale løsning er: $x_1 = 125$, og $x_2 = 25$, hvilket giver et samlet profit på 1750 kr. [17].

C.4 Binære problemformuleringer (BIP)

I dette afsnit ses en generel matematisk formulering af et binært programmeringsproblem samt en præsentation et BIP.

Generel formulering:

$$
\max \{cx : Ax \leq b, x \in \mathcal{B}\} \tag{C.5}
$$

Et eksempel på et binært programmeringsproblem er "Rygsækproblemet" (*The 0-1 Knapsack Problem*), som består i følgene:

Der skal investeres i nogle af en række mulige projekter (eller vælges nogle elementer at fylde i rygsækken), hvor hvert projekt er forbundet med hhv. en pris (eller vægt) og et forventet afkast (eller salgspris for rygsækelementer). Begrænsningen består i et samlet budget (eller kapacitet af rygsækken).

Idet a_j for hvert af de n projekter angiver det forventede afkast for projekt j, p_j angiver prisen, b angiver budgettet, og den binære variabel x_j angiver, om der skal investeres i projekt j ($x_j = 1$) eller ej ($x_j = 0$), kan rygsækproblemet formuleres således:

$$
\begin{array}{lrcl}
\text{Max} & \sum_j a_j x_j & & \\
\text{Uht.} & \sum_j p_j x_j & \leq & b \\
 & x_j \in \mathcal{B}^n & &
\end{array}
\tag{C.6}
$$

Selvom dette problem synes temmelig simpelt, er der i dag ikke fundet nogen algoritme, der kan løse det på polynomiel tid [2].

Et taleksempel på et rygsækproblem er følgende:

En rygsæk, der kan rumme 10 kg, skal fyldes med varer, som vejer hhv. 4, 5 og 6 kg og kan sælges til hhv. 10, 15 og 20 kr. Problemet formuleres således:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & 10x_1 + 15x_2 + 20x_3 \\ \text{Uht.} \quad & 4x_1 + 5x_2 + 6x_3 \leq 10 \\ & x_1, x_2, x_3 \in \mathcal{B} \end{aligned} \tag{C.7}$$

Løsningen på problemet kan findes på forskellige måder. Man kan beregne alle de brugbare løsninger, hvilket er ganske overkommeligt i dette lille tilfælde, man kan benytte dynamisk programmering eller en anden fremgangsmåde. Den optimale løsning er: $x_1 = 1$, $x_2 = 0$ og $x_3 = 1$, hvilket giver en samlet salgspris på 30 kr.

C.5 Blandede beslutningsvariable (MIP)

I dette afsnit ses en generel matematisk formulering af et problem med blandede beslutningsvariable samt en præsentation af et MIP.

Generel formulering:

$$\max \{cx + hy : Ax + Gy \leq b, x \in \mathcal{R}_+, \quad y \in \mathcal{Z}_+\} \tag{C.8}$$

Et eksempel på et programmeringsproblem med blandede beslutningsvariable er ULS (*Uncapacitated Lot-Sizing*), som består i følgene:

Der skal planlægges hvor meget, der skal hhv. produceres og ligge på lager af et produkt i hver periode inden for en given tidshorisont. Man kan kalde problemet "Periodisk produktions-/lagerplanlægning".
Parametrene består i dette generelle tilfælde udelukkende af omkostninger forbundet med de forskellige operationer i hver periode t (den faste omkostning for opstart af produktion, f_t, enhedsproduktionsomkostningen, p_t, enhedslageromkostningen, h_t) samt efterspørgslen, d_t. Beslutningsvariablene er hhv. kontinuerte og binære, x_t angiver mængden, der skal produceres i periode t, s_t angiver mængden på lager i slutningen af periode t, og y_t er lig 1, hvis der produceres i periode t, og 0 ellers. Antallet af perioder er n. Model C.9 viser en matematisk formulering af problemet.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_t p_t x_t + \sum_t h_t s_t + \sum_t f_t y_t \\ \text{Uht.} \quad & s_{t-1} + x_t = d_t + s_t, \quad \forall t \quad (1) \\ & x_t \leq \sum_t d_t y_t, \quad \forall t \quad (2) \\ & s_0 = 0, \quad s_t \in \mathcal{R}_+^n, \quad x_t \in \mathcal{R}_+^n, \quad y_t \in \mathcal{B}^n \end{aligned} \tag{C.9}$$

Objektfunktionen søger at minimere de samlede omkostninger forbundet med hhv. produktion, lagerbeholdning og opstart af produktion i hver periode. Første begrænsning sikrer flowbalancen, således at den mængde, der ligger på lager fra foregående periode, og den mængde, der produceres i den pågældende periode, er lig efterspørgslen og den mængde, der lagres til den efterfølgende periode. Anden begrænsning formulerer sammenhængen mellem produktionsvariablen, x_t og den binære beslutningsvariabel, y_t, således at y_t sættes lig 1, hvis der produceres i periode t, dvs. hvis $x_t > 0$. Endelig beskrives beslutningsvariablenes domæner, idet s_t og x_t er kontinuerte, y_t er binær, og $s_0 = 0$, da det antages, at der ikke ligger varer på lager i tidsrammens begyndelse.
Løsning af dette problem vil resultere i et sæt (x_t, s_t, y_t) for hver periode t, som angiver hhv. produktionsmængden, lagerbeholdningen samt hvorvidt der overhovedet produceres i den pågældende periode [2].

Et taleksempel på et ULS er følgende:

Der skal planlægges over fire perioder, hvor omkostningerne er givet ved $f_t = (20, 10, 45, 15)$, $p_t = (1, 1, 1, 2)$ og $h_t = (1, 1, 1, 1)$, og efterspørgslen er givet ved $d_t = (8, 5, 13, 4)$. Problemet formuleres således:

$$
\begin{array}{lrcll}
\text{Min} & \multicolumn{4}{l}{x_1 + x_2 + x_3 + 2x_4 + s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + 20y_1 + 10y_2 + 45y_3 + 15y_4} \\
\text{Uht.} & s_0 + x_1 & = & 8 + s_1 & (1) \\
 & s_1 + x_2 & = & 5 + s_2 & (2) \\
 & s_2 + x_3 & = & 13 + s_3 & (3) \\
 & s_3 + x_4 & = & 4 + s_4 & (4) \\
 & x_1 & \leq & 30y_1 & (5) \\
 & x_2 & \leq & 30y_2 & (6) \\
 & x_3 & \leq & 30y_3 & (7) \\
 & x_4 & \leq & 30y_4 & (8) \\
 & \multicolumn{4}{l}{s_0 = 0, \quad s_1, s_2, s_3, s_4 \in \mathcal{R}_+, \quad x_1, x_2, x_3, x_4 \in \mathcal{R}_+, \quad y_1, y_2, y_3, y_4 \in \mathcal{B}}
\end{array}
\tag{C.10}
$$

Løsningen på problemet kan eksempelvis findes ved at bruge dynamisk programmering. Den optimale løsning er: $x_1 = 8$, $x_2 = 22$, $x_3 = 0$, $x_4 = 0$, $y_1 = 1$, $y_1 = 1$, $y_1 = 0$ og $y_1 = 0$, dvs. at der produceres i periode 1 og 2, mens der ligger på lager til periode 3 og 4. Denne løsning giver en samlet omkostning på 81 kr.

C.6 Alternativ formulering af VRP

I dette afsnit ses en alternativ matematisk formulering af *Vehicle Routing Problem.*

Formulering af det simple VRP:

$$
\begin{array}{llcllr}
\text{Min} & \sum_{ijk} c_{ij} x_{ijk} & & & & \\
\text{Uht.} & \sum_{i} d_i y_{ik} & \leq & q, & \forall k & (1) \\
& \sum_{k} y_{ik} & = & K, & i = 0 & (2) \\
& \sum_{k} y_{ik} & = & 1, & i > 0 & (3) \\
& \sum_{i} x_{ijk} & = & y_{jk} & \forall j & (4) \\
& \sum_{j} x_{ijk} & = & y_{ik} & \forall i & (5) \\
& \sum_{i \in S, j \in S} x_{ijk} & \leq & |S| - 1, & 2 \leq |S| \leq n & (6) \\
& x_{ijk} \in \mathcal{B}^{|n^2 \times \mathcal{K}|}, \quad y_{ik} \in \mathcal{B}^{|n \times \mathcal{K}|} & & & &
\end{array}
\tag{C.11}
$$

Ojektfunktionen søger at minimere de samlede transportomkostninger, første begrænsning sikrer, at bilkapaciteten ikke overskrides, anden og tredje begrænsning sikrer hhv., at depotet besøges af alle biler, og at alle kunder besøges af netop én bil. I fjerde og femte begrænsning formuleres sammenhængen mellem de to beslutningsvariable således, at $y_i k$ sættes lig 1, hvis knude i besøges af bil k, dvs. hvis x_{ijk} er lig 1. Sidste begrænsning forhindrer delture for bilerne ved at kræve, at der højest er én kant mindre end antallet af knuder i enhver delmængde af kunder. Endelig formuleres domænerne for de binære beslutningsvariable [9].

C.7 Forskellige modeller for samme problem

I dette afsnit ses tre alternative matematiske formuleringer for *Uncapacitated Facility Location.*

I ligningssystemerne C.12, C.13 og C.14 ses, hvorledes UFL kan modelleres på tre forskellige måder:

$$\begin{array}{llrll} \text{Min} & \sum_{i,j} c_{ij}x_{ij} + \sum_j f_j y_j & & & \\ \text{Uht.} & \sum_j x_{ij} & = & 1, \quad \forall i & (1) \\ & x_{ij} & \leq & y_j, \quad \forall i,j & (2) \\ & x_{ij} \in \mathcal{R}_+^{m\times n}, \quad y_j \in \mathcal{B}^n & & & \end{array} \tag{C.12}$$

$$\begin{array}{llrll} \text{Min} & \sum_{i,j} c_{ij}x_{ij} + \sum_j f_j y_j & & & \\ \text{Uht.} & \sum_j x_{ij} & = & 1, \quad \forall i & (1) \\ & \sum_i x_{ij} & \leq & my_j, \quad \forall j & (2) \\ & x_{ij} \in \mathcal{R}_+^{m\times n}, \quad y_j \in \mathcal{B}^n & & & \end{array} \tag{C.13}$$

$$\begin{array}{llrll} \text{Max} & \sum_{i,j} c_{ij}x_{ij} - \sum_j f_j y_j & & & \\ \text{Uht.} & \sum_j x_{ij} & = & 1, \quad \forall i & (1) \\ & \sum_i x_{ij} & \leq & my_j, \quad \forall j & (2) \\ & x_{ij} \in \mathcal{R}_+^{m\times n}, \quad y_j \in \mathcal{B}^n & & & \end{array} \tag{C.14}$$

Modellen C.12 søger at minimere de samlede omkostninger forbundet med transport til kunder samt åbning af faciliteter, og begrænsningerne sikrer hhv. at den samlede mængde, der leveres fra summen over alle faciliteter er lig hele efterspørgslen, og at der kun serviceres fra en åben facilitet, idet x_{ij} sættes lig 0, hvis y_j er lig 0.
Modellen C.13 søger ligeledes at minimere de samlede omkostninger, og første begrænsning er identisk med ovenstående model, men der er på venstre side i anden begrænsning summet over alle kunder, i, af x_{ij} og på højre side ganget med antallet af kunder, m. Denne begrænsning sikrer på samme måde som i model C.12, at der ikke serviceres kunder fra en facilitet, der ikke er åben, men pga. summen er der langt færre begrænsninger i denne formulering, idet den i model C.12 gælder for alle kunder og kandidatfaciliteter $(\forall i, j)$ og i model C.13 blot gælder for alle potentielle faciliteter $(\forall j)$. Den første formulering er en såkaldt strammere formulering, idet begrænsningen $\sum_i x_{ij} \leq my_j, \forall j$ er splittet op. Dette medfører, at et mindre løsningsrum skal ledes igennem, men til gengæld skal der foretages flere beregninger.
Modellen C.14 har samme begrænsninger som C.13, men objektfunktionen søger at maksimere den samlede profit, idet c_{ij} nu er gevinsten ved at servicere kunde i fra facilitet j [2].

C.8 Parametre og beslutningsvariable

I dette afsnit ses en beskrivelse af de parametre og beslutningsvariable, der indgik i lokaliseringsmodellen 7.1 på side 52.

Parametre	
F_f	Forsendelsesmængde for forsendelsesnummer f
T_b	Transportomkostning pr. km for bil b
H_t	Håndteringsomkostning på terminal t
D_t	Driftsomkostning på terminal t
V_t	Volumen (kapacitet) for terminal t
K_b	Kapacitet for bil b (forskellig for distributions- og lastbiler)
S_{st}	0-1-matrix der angav om strækning s indeholdt terminal t
$Foerst_{st}$	0-1-matrix der angav om terminal t lå først på strækning s
$Sidst_{st}$	0-1-matrix der angav om terminal t lå sidst på strækning s
ax_f, ay_f	x- og y-koordinat for afsender af forsendelse f
mx_f, my_f	x- og y-koordinat for modtager af forsendelse f
x_t, y_t	x- og y-koordinat for terminal t

Beslutningsvariable	
$x_{fs} \geq 0$	Mængde af forsendelse f der ville blive transporteret over strækning s
$y_t = \{0,1\}$	Åbnes terminal t ($y_t = 1$) eller ej ($y_t = 0$)?
$z_b = \{0,1\}$	Benyttes bil b ($z_b = 1$) eller ej ($z_b = 0$)?
$p_{ftb} \geq 0$	Mængde af forsendelse f bil b skulle afhente og køre til terminal t
$l_{sb} \geq 0$	Mængde *line haul*-forsendelser bil b skulle køre på strækning s ($t_1 \rightarrow t_2$)
$D_{ftb} \geq 0$	Mængde af forsendelse f bil b skulle levere fra terminal t

Tabel C.1: Notation for den matematiske model for lokaliseringsproblemet.

Parametrene S_{st}, $Foerst_{st}$ og $Sidst_{st}$ angav den kombination af terminaler, som strækningerne repræsenterede. Matricen S_{st} indeholdt værdien 1, hvis terminal t lå på strækning s, og 0, når det ikke var tilfældet.
Parametrene $Foerst_{st}$ og $Sidst_{st}$ var en opsplitning af matricen S_{st}, hvor $Foerst_{st}$ var lig 1, når terminal t lå først på strækning s, og 0, når den ikke gjorde, og $Sidst_{st}$ tilsvarende var en 0-1-matrix, der angav, om terminal t lå sidst på strækning s.

Tabel C.8 viser parametrene $Foerst_{st}$ og $Sidst_{st}$, og matricen S_{st} blev dannet ved at konstruere en matrix, der havde 0 på de pladser, hvor både $Foerst_{st}$ og $Sidst_{st}$ havde et 0, og 1 på de pladser, hvor enten $Foerst_{st}$, $Sidst_{st}$ eller begge matricer havde et 1-tal.

$Foerst_{st}$	$t =$ 1	2	3	4	5	6	7
$s =$1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0
⋮							
41	0	0	0	0	0	1	0
42	0	0	0	0	0	1	0
43	0	0	0	0	0	0	1
44	0	0	0	0	0	0	1
45	0	0	0	0	0	0	1
46	0	0	0	0	0	0	1
47	0	0	0	0	0	0	1
48	0	0	0	0	0	0	1
49	0	0	0	0	0	0	1

$Sidst_{st}$	$t =$ 1	2	3	4	5	6	7
$s =$1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	1
8	1	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0
⋮							
41	0	0	0	0	0	1	0
42	0	0	0	0	0	0	1
43	1	0	0	0	0	0	0
44	0	1	0	0	0	0	0
45	0	0	1	0	0	0	0
46	0	0	0	1	0	0	0
47	0	0	0	0	1	0	0
48	0	0	0	0	0	1	0
49	0	0	0	0	0	0	1

Tabel C.2: Lokaliseringsmodellens parametrene $Foerst_{st}$ og $Sidst_{st}$ angav, om terminal t lå hhv. først eller sidst på strækning s.

Beslutningsvariablen x_{fs} var kontinuert og angav den mængde af forsendelse f, der skulle transporteres over strækning s. Variablene y_t og z_b var modellens eneste binære variable og angav hhv., om terminal t skulle være åben ($y_t = 1$) eller ej, og om bil b skulle benyttes ($z_b = 1$) eller ej.

Variablene p_{ftb}, l_{sb} og d_{ftb} var kontinuerte og repræsenterede de mængder af en forsendelse f, der blev transporteret med en bil b over en terminal t. *Pick up*-variablen p_{ftb} angav således den mængde af forsendelse f, som bil b skulle hente og køre til terminal t, som derfor var første terminal på den strækning, den pågældende forsendelsesmængde blev transporteret over. Tilsvarende var *delivery*-variablen d_{ftb} lig den mængde af forsendelse f, som bil b skulle hente på terminal t, som derfor var sidste terminal på den aktuelle strækning. *Line haul*-variablen $l_s b$ var lig den samlede forsendelsesmængde, som bil b skulle transportere på den *line haul*-forbindelse, strækning s repræsenterede.

Bilag D

Mødereferater

D.1 Oversigt over møder

- **Indledende møde i Vallensbæk d. 10. juni 2003 kl. 15:00 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Problemformuleringsmøde d. 19. august 2003 kl. 10:00 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- ***Warm Welcome* d. 25. august 2003 kl. 9:00 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Brøndby d. 12. september 2003 kl. 8:30 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Disponentbesøg d. 25. september 2003 kl. 8:15 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Orienteringsmøde d. 13. oktober 2003 kl. 13:30 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Møde om *axs Freight* d. 18. december 2003 kl. 10:30 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Statusmøde i Vallensbæk d. 18. december 2003 kl. 11:00 (s. 16)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Sidste møde med kontaktpersonen i Vallensbæk d. 28. februar 2004 kl. 11:00 (s. 17)**
  Til stede: *Fortroligt.*

- **Evalueringsmøde i Vallensbæk d. 24. marts 2004 kl. 8:30 (s. 17)**
  Til stede: *Fortroligt.*

D.2 Indledende orienteringsmøde d. 10. juni 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.3 Problemformuleringsmøde d. 19. august 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.4 *Warm Welcome* d. 25. august 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.5 Brøndby d. 12. september 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.6 Disponentbesøg d. 25. september 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.7 Orienteringsmøde d. 13. oktober 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.8 Møde om *axs Freight* d. 18. december 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.9 Statusmøde i Vallensbæk d. 18. december 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.10 Sidste møde med kontaktpersonen d. 28. februar 2004

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

D.11 Evalueringsmøde i Vallensbæk d. 24. marts 2004

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Bilag E

Referater af terminalbesøg

E.1 Oversigt over terminalbesøg

- **Odense kurerstation d. 30. oktober 2003 kl. 9:00 (s. 20)**
- **Kolding kurerstation d. 30. oktober 2003 kl. 11:00 (s. 21)**
- **Padborg godsterminal d. 30. oktober 2003 kl. 13:00 (s. 22)**
- **Stilling godsterminal d. 6. november 2003 kl. 10:00 (s. 22)**
- **Stilling kurerstation d. 6. november 2003 kl. 13:00 (s. 22)**
- **Aalborg godsterminal d. 6. november 2003 kl. 15:00 (s. 22)**
- **Aalborg kurerstation d. 6. november 2003 kl. 16:30 (s. 22)**
- **Esbjerg godsterminal d. 21. november 2003 kl. 15:00 (s. 22)**

E.2 Odense kurerstation d. 30. oktober 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.3 Kolding kurerstation d. 30. oktober 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.4 Padborg godsterminal d. 30. oktober 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.5 Stilling godsterminal d. 6. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.6 Stilling kurerstation d. 6. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.7 Aalborg godsterminal d. 6. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.8 Aalborg kurerstation d. 6. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

E.9 Esbjerg godsterminal d. 21. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Bilag F

GAMS-kode

F.1 Oversigt over GAMS-kode

- **Kort gennemgang af GAMS-funktioner (s. 24)**
- **GAMS-kode for lokaliseringsmodellen (s. 27)**
- **GAMS-kode for den endelige matematiske model (s. 32)**

F.2 Kort gennemgang af GAMS-funktioner

GAMS (*General Algebraic Modeling System*) er et løsningsredskab, som er forholdsvis let at bruge, og det kræver umiddelbart mindre tid at benytte, end hvis man eksempelvis skal programmere en algoritme i Java. Man kan mere eller mindre direkte skrive den matematiske model ind i GAMS, da systemet er specielt designet til at løse matematiske optimeringsproblemer såvel lineære som ikke-lineære, samt problemer med blandede beslutningsvariable. GAMS består af en compiler og en mængde solvere [20]. På IMM's servere benyttes CPLEX 9.0-solveren, som er den nyeste version af softwaren.

Når man implementerer en matematisk model i GAMS, angives indeks, data, beslutningsvariable, disses domæner, objektfunktion og begrænsninger, og sluttelig defineres typen af problemet (lineær, ikke lineær osv.), der skal løses [20].

I det følgende ses et eksempel på opbygningen af et GAMS-program over kaffeproblemet (The Coffee Problem), som består i følgende (også beskrevet i bilag C.2):

En mand og hans kone tager på café, bestiller kaffe og får serveret en bakke med kaffe, mælk, sukker og sødetabletter. De ønsker at konsumere mest muligt at det serverede, og problemet består derfor i at bestemme det antal kopper, de hver især med deres forskellige præferencer skal drikke for at konsumere mest muligt af det, de får serveret på caféen.
Problemets parametre udgøres hhv. deres bestilling og deres kaffedrikkevaner. De får serveret 1 kande kaffe indeholdende 6 kopper, 1 kande mælk indeholdende 1 1/2 kop, 1 sukkerskål indeholdende 8 sukkerknalder og 5 sødetabletter, manden foretrækker 3 dele kaffe til 1 del mælk og 2 sukkerknalder pr. kop, og konen foretrækker 5 dele kaffe til 1 del mælk og 1 sødetablet pr. kop.
En lineær programmeringsmodel, der formulerer det beskrevne problem, kan ses nedenstående (C.2), hvor x_1 og x_2 angiver det antal kopper, som hhv. manden og konen skal drikke, for at de får mest mulig kaffe for pengene.

$$\begin{array}{lcccccl}
\text{Max} & x_1 & + & x_2 & & & \\
\text{Uht.} & \frac{3}{4}x_1 & + & \frac{5}{6}x_2 & \leq & 6 & (1) \\
 & \frac{1}{4}x_1 & + & \frac{1}{6}x_2 & \leq & \frac{3}{2} & (2) \\
 & 2x_1 & & & \leq & 8 & (3) \\
 & & & x_2 & \leq & 5 & (4) \\
 & x_1 & & & \geq & 0 & \\
 & & & x_2 & \geq & 0 &
\end{array}$$

Tabel F.1: Matematisk formulering af kaffeproblemet.

```
$Title Kaffeproblemet
$offsymlist offsymxref offuellist offuelxref
option iterlim=100000, reslim=3000, optcr=0.0;

Sets
*Personer hvor 1 svarer til manden og 2 svarer til konen:
i / 1, 2 /
*Kaffe, maelk, sukker og soedetabletter:
j / kaffe, maelk, sukker, tab /;

Parameters
*Maengde til raadighed af nydelsesmidlerne:
m(j)
/ kaffe  6
  maelk  1.5
  sukker 8
  tab    5 /;

*Benyttelse af nydelsesmidlerne i kaffen:
Table b(i,j)
  kaffe maelk sukker tab
1 0.75  0.25  2
2 0.83  0.17         1  ;

Variables
z    Det samlede antal kopper som begge personer drikker
x(i) Antal kopper som person i skal drikke;
Positive variable x;
Free variable z;

Equations
objekt      Objektfunktionen som skal maksimeres
maengde(j)  Overholdelse af maengdebegraensningerne;

objekt..     z =e= sum(i, x(i));
maengde(j).. sum(i, b(i,j)*x(i)) =l= m(j);

Model Kaffeproblemet / all /;
Solve Kaffeproblemet using lp maximizing z;
```

Tabel F.2: Eksempel på opbygning af et GAMS-program over kaffeproblemet.

Øverst angives titlen på problemet, som skal løses. Parametrene `iterlim`, `reslim` og `optcr` er valgmuligheder for hhv. antallet af iterationer, antallet af sekunder og tolerancen for forskellen mellem de beregnede øvre og nedre grænser for løsningsværdien. Antallet af iterationer og sekunder kan være afgørende, hvis man vil undersøge løsningsværdier direkte i forhold til antallet af iterationer, eller hvis man kun har en begrænset tidsramme til løsningen. Sættes tolerancen til 0.0, kræver man, at den optimale løsning findes, idet den øvre grænse og nedre grænse for objektværdien skal være lig hinanden. Hvis man vil acceptere en løsning, der ligger maksimalt 10% fra optimum, kan man sætte `optcr` til 0.10, således at programmet stopper, når forskellen mellem øvre og nedre grænse for objektværdien er det krævede. På denne måde kan man relaksere problemet, hvis det ikke er muligt at finde den optimale løsning inden for den givne tidsramme eller med den til rådighed værende hard- og software [20].

Indeksene erklæres som `Sets`, og disse kan både bestå af tal og bogstaver/ord. Skal

man angive en større indeksmængde, kan man eksempelvis skrive således: `i Aarstal / 1960*1999 /`, hvorved alle årstal fra 1960 til 1999 er defineret.
Problemets parametre angives som `Parameters`, og de flerdimensionale angives i tabeller (`Table`). I begge tilfælde skrives symbolet for parameteren efterfulgt af det eller de indeks, som denne afhænger af [20].

Herpå erklæres problemets beslutningsvariable som `Variables`, hvor både de egentlige variable og en objektværdivariable defineres (da objektfunktionen, som skal maksimeres eller minimeres, udgøres af en ligning, hvor målfunktionen sættes lig objektværdivariablen). Variablens domæner angives som hhv. `Positive`, `Negative`, `Integer`, `Binary` eller `Free`, alt efter om de er kontinuerte, heltallige, binære eller ubegrænsede [20].

Under `Equations` erklæres først problemets ligninger og uligheder, og herefter formuleres de. Begrænsninger, der gælder for en mængde indeks (svarende til eksempelvis $\forall j$), angives med det pågældende indeks i parantes efter ligningssymbolet, som det ses for `maengde(j)`. Ligheder formuleres med `=e=` mellem højre og venstre side, og uligheder formuleres med hhv. `=l=` og `=g=`. Hver ligning i modellen skal afsluttes med et semikolon, så GAMS kan skelne mellem disse [20].

Sluttelig benyttes nøgleordene `model`, `all`, `solve`, `using`, `lp` og `maximizing`. Ved at skrive `Model Kaffeproblemet / all /;` fortæller man GAMS, at problemet skal løses for alle de angivne ligninger. Hvis kun en del af disse skal inddrages i løsningen, angives symbolerne for disse adskilt af kommaer. Sætningen `Solve Kaffeproblemet using lp maximizing z;` siger, at problemet skal løses ved brug af lineær programmering, og at objektværdien `z` skal maksimeres. Der er en række forskellige løsningsprocedurer til de mange forskellige problemtyper, som GAMS kan håndtere. Nogle af de mere velkendte er lineær programmering (`lp`), ikke-lineær programmering (`nlp`), problemer med blandede (dvs. indeholdende heltallige) beslutningsvariable (`mip`) og ikke-lineære problemer med blandede beslutningsvariable (`minlp`) [20]. Når filen `kaffeproblem.gms` køres i GAMS, skrives løsningen til filenen `kaffeproblem.lst`.

F.3 GAMS-kode for lokaliseringsmodellen

```
$Title Location

* Planlaegning af antal og placering af DHL's terminaler i Vestdanmark

* Lavet i februar 2004
* Britt Ottesen (s011972) og Louise Tranberg (s973617)

$offsymlist offsymxref offuellist offuelxref
option iterlim=9999999, reslim=1800, optcr=0.0 ;


Sets

* Forsendelser:
  f       / 1*60 /

* Terminaler (Aalborg, Herning, Stilling, Kolding, Esbjerg, Padborg, Odense):
  t       / 1*7 /

* Straekninger:
  s       / 1*49 /

* Biler:
  b       / 1*20 /

* Haengerbiler:
  trail(b) / 1*10 /

* Distributionsbiler:
  dist(b)  / 11*20 /

* Koordinater:
  k       / ax, ay, mx, my /;


Parameters

* Forsendelsesmaengde: * Bilomkostninger og -kapaciteter:
FM(f)
/1  6                  * Transportomkostning:   * Kapacit for bil b:
 2  9                  TO(b)                    Kap(b)
 3  3                  /1 6.75                  /1 34
 4 12                   2 6.75                   2 34
 5 22                   3 6.75                   3 34
 6 15                   4 6.75                   4 34
 7  3                   5 6.75                   5 34
 8 28                   6 6.75                   6 34
 9 10                   7 6.75                   7 34
10  3                   8 6.75                   8 34
11  7                   9 6.75                   9 34
12 15                  10 6.75                  10 34
13  5                  11 5.25                  11 17
14 33                  12 5.25                  12 17
```

```
15  6
16  3
17 13
18 21
19  5
20  8
21 11
22  9
23 32
24  6
25 29
26  4
27 12
28  8
29  5
30 18
31 22
32 30
33  4
34  9
35 13
36 19
37 26
38  8
39  4
40  8
41 24
42 16
43 13
44  7
45 10
46  6
47  3
48 25
49 27
50 18
51  3
52  9
53 31
54 22
55 12
56 13
57  7
58  5
59 14
60  9/

* X-koordinat for t:
Xkoord(t)
/1 5.60
 2 5.00
 3 5.62
 4 5.30
 5 4.65
 6 5.23
 7 5.85/
```

```
13 5.25                  13 17
14 5.25                  14 17
15 5.25                  15 17
16 5.25                  16 17
17 5.25                  17 17
18 5.25                  18 17
19 5.25                  19 17
20 5.25/                 20 17/

* Terminalomkostninger og -kapaciteter:

* Haandtering:*    Drift:      * Volumen:
HO(t)              DO(t)       Vol(t)
/1 16              /1 500      /1 5000
 2 16               2 500       2 5000
 3 16               3 500       3 5000
 4 16               4 500       4 5000
 5 16               5 500       5 5000
 6 16               6 500       6 5000
 7 16/              7 500/      7 5000/

* Koordinater for afsender og modtager:

Table Koord(f,k)
    ax    ay   mx    my
 1 5.95 63.89 6.15 61.32
 2 5.57 63.84 6.03 61.03
 3 5.60 63.68 4.85 61.33
 4 5.92 63.67 6.15 61.32
 5 5.90 63.56 5.28 60.70
 6 5.58 63.49 6.15 61.32
 7 5.45 63.36 4.54 62.16
 8 5.66 63.30 5.58 62.12
 9 5.39 63.16 6.15 61.32
10 5.50 63.19 5.64 61.73
11 5.74 63.15 5.70 62.17
12 5.25 63.16 6.15 61.32
13 4.78 63.31 5.28 60.70
14 5.32 62.96 5.28 60.70
15 5.51 63.05 5.76 62.33
16 4.55 62.68 5.92 63.67
17 4.75 62.60 6.15 61.32
18 5.02 62.68 5.28 60.70
19 5.25 62.57 5.57 63.84
20 5.49 62.58 6.15 61.32
21 5.60 62.79 6.06 61.46
22 5.52 62.68 6.04 62.29
23 4.77 62.46 5.28 60.70
24 4.54 62.16 5.92 63.67
25 5.93 62.21 5.28 60.70
26 5.11 62.41 6.15 61.32
27 5.41 62.48 5.92 61.43
28 5.64 62.58 6.15 61.32
29 5.64 62.58 5.28 60.70
30 6.18 62.54 5.28 60.70
31 5.64 62.43 5.28 60.70
```

```
* Y-koordinat for t:
Ykoord(t)
/1 63.25
 2 62.22
 3 62.14
 4 61.50
 5 61.46
 6 60.79
 7 61.35/;
```

```
32 5.85 62.55 6.15 61.32
33 5.78 62.28 5.92 63.67
34 5.70 62.17 5.28 60.70
35 5.34 62.27 6.15 61.32
36 5.62 62.23 6.15 61.32
37 5.55 62.36 6.15 61.32
38 5.67 62.23 5.28 60.70
39 5.85 62.45 5.64 61.47
40 5.67 62.18 5.28 60.70
41 4.68 62.01 6.15 61.32
42 5.08 62.00 5.64 61.47
43 5.24 62.02 5.79 61.50
44 4.96 61.79 5.28 60.70
45 5.08 61.76 5.92 63.67
46 5.38 62.04 5.79 61.08
47 5.52 61.99 5.28 60.70
48 5.51 61.96 5.92 63.67
49 5.44 61.81 5.28 60.70
50 5.15 61.89 5.87 61.36
51 5.38 61.75 5.92 63.67
52 4.68 61.64 5.69 62.28
53 5.38 61.67 5.64 61.47
54 5.19 61.49 5.57 61.25
55 4.82 61.47 5.28 60.70
56 4.85 61.33 5.28 60.70
57 5.09 61.48 5.92 63.67
58 5.31 61.23 5.28 60.70
59 4.92 60.88 5.28 60.70
60 5.27 60.99 5.92 63.67;
```

```
* Sammenhaenge mellem straekning s og terminal t:
Table Sam(s,t)
   1 2 3 4 5 6 7
 1 1
 2 1 1
 3 1   1
 4 1     1
 5 1       1
 6 1         1
 7 1           1
 8 1 1
 9   1
10   1 1
11   1   1
12   1     1
13   1       1
14   1         1
15 1   1
16   1 1
17     1
18     1 1
19     1   1
20     1     1
21     1       1
22 1     1
23   1   1
```

```
Table Foerst(s,t)
   1 2 3 4 5 6 7
 1 1
 2 1
 3 1
 4 1
 5 1
 6 1
 7 1
 8   1
 9   1
10   1
11   1
12   1
13   1
14   1
15     1
16     1
17     1
18     1
19     1
20     1
21     1
22       1
23       1
```

```
Table Sidst(s,t)
   1 2 3 4 5 6 7
 1 1
 2   1
 3     1
 4       1
 5         1
 6           1
 7             1
 8 1
 9   1
10     1
11       1
12         1
13           1
14             1
15 1
16   1
17     1
18       1
19         1
20           1
21             1
22 1
23   1
```

```
24     1 1            24       1            24     1
25       1            25       1            25       1
26       1 1          26       1            26         1
27       1   1        27       1            27           1
28       1     1      28       1            28             1
29 1       1          29         1          29 1
30   1     1          30         1          30   1
31     1   1          31         1          31     1
32       1 1          32         1          32       1
33         1          33         1          33         1
34         1 1        34         1          34           1
35         1   1      35         1          35             1
36 1         1        36           1        36 1
37   1       1        37           1        37   1
38     1     1        38           1        38     1
39       1   1        39           1        39       1
40         1 1        40           1        40         1
41           1        41           1        41           1
42           1 1      42           1        42             1
43 1           1      43             1      43 1
44   1         1      44             1      44   1
45     1       1      45             1      45     1
46       1     1      46             1      46       1
47         1   1      47             1      47         1
48           1 1      48             1      48           1
49             1;     49             1;     49             1;

* Variablene der bruges i kriteriefunktionen og begraensningerne:
Variables

total          De samlede omkostninger forbundet med transport, haandtering og drift
x(f,s)         Maengde af forsendelse f der transporteres over straekning s
y(t)           Skal terminal t aabnes eller ej?
z(b)           Benyttes bil b eller ej?
p(f,t,b)       Maengde af forsendelse f der afhentes af bil b og koeres til terminal t
l(s,b)         Maengde "line haul-forsendelser" bil b transporterer paa straekning s
d(f,t,b)       Maengde af forsendelse f der leveres af bil b fra terminal t
p_afstand(f,t) Afstand mellem kunde (afsender af forsendelse f) og terminal t
d_afstand(f,t) Afstand mellem kunde (modtager af forsendelse f) og terminal t
afh(b)         Samlet afstand bil b koerer for at afhente forsendelser
lev(b)         Samlet afstand bil b koerer for at levere forsendelser;

Binary Variables y, z, p, d;
Positive Variables x, l, p_afstand, d_afstand, afh, lev;
Free Variable total;

Equations

objekt           Totale omkostninger

efterspg(f)      Tilfredsstillelse af efterspoergslen
terminalkap(s,t) Kun transport over aaben terminal samt overholdelse af kapacitet

p_afstande(f,t)  Beregning af alle afstande mellem afhentningskunder og terminaler
d_afstande(f,t)  Beregning af alle afstande mellem modtagerkunder og terminaler
```

```
afhentning(f,t)  Beregning af den maengde gods der skal afhentes og koeres til terminal t
afhentafstand(b) Beregning af samlet afhentnings-afstand mellem kunde og terminal

levering(f,t)    Beregning af den maengde gods der skal leveres fra terminal t
leverafstand(b)  Beregning af samlet leverings-afstand mellem terminal og kunde

linehaul(s)      Maengde line haul-gods der skal transporteres paa straekning s
linehaulkap(s,b) Overholdelse af kapacitet for de biler der koerer line haul-transport
ingendist(dist)  Der koerer ikke distributionsbiler paa line haul-forbindelserne;


objekt ..           total =e= sum(b, TO(b)*afh(b)) +
                              sum(t, HO(t)*(sum((f,b), p(f,t,b)*FM(f)))) +
                              sum((s,b), (TO(b)*l(s,b))/(Kap(b))) +
                              sum(t, HO(t)*(sum((f,b), d(f,t,b)*FM(f)))) +
                              sum(b, TO(b)*lev(b)) +
                              sum(t, DO(t)*y(t));

efterspg(f) ..      sum(s, x(f,s)) =e= FM(f);
terminalkap(s,t) .. sum(f, x(f,s)) =l= Sam(s,t)*Vol(t)*y(t);

p_afstande(f,t) ..  p_afstand(f,t) =e=
                    sqrt((Koord(f,'ax')-Xkoord(t))*(Koord(f,'ax')-Xkoord(t))+
                    (Koord(f,'ay')-Ykoord(t))*(Koord(f,'ay')-Ykoord(t)));
d_afstande(f,t) ..  d_afstand(f,t) =e=
                    sqrt((Koord(f,'mx')-Xkoord(t))*(Koord(f,'mx')-Xkoord(t))+
                    (Koord(f,'my')-Ykoord(t))*(Koord(f,'my')-Ykoord(t)));

afhentning(f,t) ..  sum(s, Foerst(s,t)*x(f,s)) =l= sum(b, Kap(b)*p(f,t,b));
afhentafstand(b) .. afh(b) =e= smax(f, sum(t, p(f,t,b)*p_afstand(f,t)));

levering(f,t) ..    sum(s, Sidst(s,t)*x(f,s)) =l= sum(b, Kap(b)*d(f,t,b));
leverafstand(b) ..  lev(b) =e= smax(f, sum(t, p(f,t,b)*d_afstand(f,t)));

linehaul(s) ..      sum(f, sum(t, (Sam(s,t)-1))*x(f,s)) =e= sum(b, l(s,b));
linehaulkap(s,b) .. l(s,b) =l= Kap(b)*z(b);
ingendist(dist) ..  sum(s, l(s,dist)) =e= 0;


Model Location / all /;

Solve Location using minlp minimizing total;
```

F.4 GAMS-Kode for LRP

```
$Title Location-Routing

* Planlaegning af antal og placering af DHL's terminaler i Vestdanmark

* Lavet i februar 2004
* Britt Ottesen (s011972) og Louise Tranberg (s973617)

$offsymlist offsymxref offuellist offuelxref
*Original setting:
*option iterlim=9999999, reslim=1800, optcr=0.0;
*86400 sekunder = 1 doegn og 745200 sekunder = 8 doegn og 15 timer:
option iterlim=9999999, reslim=745200, optcr=0.90;


Sets

*INDEKS

* Punkter/knuder i grafen:
i    / 1*17 /

* Terminaler:
* 11 Esbjerg
* 12 Padborg
* 13 Herning
* 14 Kolding
* 15 Stilling
* 16 Aalborg
* 17 Odense
t(i) / 11*17 /

*Kunder:
k(i) / 1*10 /

*Afsenderkunder:
* 1 Esbjerg
* 2 Frederikshavn
* 3 Froeslev
* 4 Knudshoved
* 5 Knudshoved
a(i) / 1*5 /

*Modtagerkunder:
m(i) / 6*10 /

*Nummer
n    / 1*7 /

* Biler:
b    / 1*10 /;

alias(i,j);
alias(k,l);
```

```
alias(n,h);


Parameters

*MAENGDER

* Maengde som afsenderkunde a skal have hentet (paller):
Maengde(a)
/1 10
 2 23
 3  4
 4 16
 5  9/


*OMKOSTNINGER

* Transportomkostning for bil b (kr/km):
Transport(b)
/1 6.75
 2 6.75
 3 6.75
 4 6.75
 5 6.75
 6 5.25
 7 5.25
 8 5.25
 9 5.25
10 5.25/

* Haandteringsomkostning for terminal t (kr/palle):
Haandtering(t)
/11 15
 12 15
 13 15
 14 15
 15 15
 16 15
 17 15/

* Driftsomkostning for terminal t (kr/dag):
Drift(t)
/11 4500
 12 4500
 13 4500
 14 4500
 15 4500
 16 4500
 17 4500/


*KAPACITETER

* Volumen for terminal t (paller):
Volumen(t)
```

```
/11 1000
 12 1000
 13 1000
 14 1000
 15 1000
 16 1000
 17 1000/

* Kapacitet for bil b (paller):
Kapacitet(b)
/1 34
 2 34
 3 34
 4 34
 5 34
 6 17
 7 17
 8 17
 9 17
10 17/;


*AFSENDER-MODTAGER-SAMMENHAENG

*Modtager m af forsendelse fra afsenderkunde a
Table Modtager(a,m)
   6 7 8 9 10
 1       1
 2     1
 3         1
 4   1
 5 1         ;


*AFSTANDE

*Afstande mellem afsenderkunder og terminaler:
Table Afsenderafstand(i,j)
     1   2   3   4   5  11  12  13  14  15  16  17
 1     282 109 169 169   2 109  89  71 134 219 134
 2 282     347 344 344 282 347 188 266 192  62 309
 3 109 347     183 183 109   2 166  81 157 284 148
 4 169 344 183       2 169 183 172 101 153 281  79
 5 169 344 183   2     169 183 172 101 153 281  79
11   2 282 109 169 169     109  89  71 134 219 134
12 109 347   2 183 183 109     166  81 157 284 148
13  89 188 166 172 172  89 166      86  69 125 137
14  71 266  81 101 101  71  81  86      75 203  66
15 134 192 157 153 153 134 157  69  75     129 118
16 219  62 284 281 281 219 284 125 203 129     246
17 134 309 148  79  79 134 148 137  66 118 246    ;



*Afstande mellem modtagerkunder og terminaler:
Table Modtagerafstand(i,j)
```

```
     6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17
 6     282 109 169 169   2 109  89  71 134 219 134
 7 282     347 344 344 282 347 188 266 192  62 309
 8 109 347     183 183 109   2 166  81 157 284 148
 9 169 344 183       2 169 183 172 101 153 281  79
10 169 344 183   2     169 183 172 101 153 281  79
11   2 282 109 169 169     109  89  71 134 219 134
12 109 347   2 183 183 109     166  81 157 284 148
13  89 188 166 172 172  89 166      86  69 125 137
14  71 266  81 101 101  71  81  86      75 203  66
15 134 192 157 153 153 134 157  69  75     129 118
16 219  62 284 281 281 219 284 125 203 129     246
17 134 309 148  79  79 134 148 137  66 118 246     ;


Variables

*Variablene der bruges i kriteriefunktionen og begraensningerne:

total          Totale omkostninger for transport haandtering og drift
x(i,n,b)       Besoeger bil b knude i som nummer n?
y(t)           Aabnes terminal t?
z(b)           Benyttes bil b?
w(a,m,t)       Knyttes afsenderkunde a og modtagerkunde m til terminal t?
d(i,j,n,b)     Samlet distance bil b koerer fra i som nummer n til j;

Positive Variables d;
Binary Variables x, y, z, w;
Free Variable total;


Equations

Objekt                 Minimering af de samlede omkostninger

Etbesoeg(k)            Alle kunder besoeges netop en gang
Etnummer(n,b)          Nummer n kan max bruges en gang for hver bil
                       dvs en bil kan kun vaere et sted ad gangen

Andenbil(a,m,n,h,b)    Samme bil maa ikke benyttes til afhentning og levering
                       da to forskellige tidspunkter

Foersteknude(b)        Foerste knude i en bilrute skal vaere en terminal
Andenknude(b)          Anden knude  i en bilrute skal vaere en kunde
Sammenhaeng(n,b)       Hvis en bil besoeger en kunde som nummer n
                       skal bilen besoege en kunde som nummer n-1
Sidsteknude(t,n,b)     Hvis en bil besoeger en terminal som nummer n>2
                       skal den besoeger en kunde som nummer n-1

Toterminaler(b)        Hvis en bil benyttes skal den besoege to terminaler

Afsenderbil(a,m,t,b)   Hvis afsenderkunde af er tilknyttet terminal t
                       skal en af bilerne koere til dem begge
Modtagerbil(a,m,t,b)   Hvis modtagerkunde af er tilknyttet terminal t
                       skal en af bilerne koere til dem begge
Tilknytning(a,m)       Hvis afsenderkunde a skal sende til modtagerkunde m
```

```
                         skal netop en terminal knyttes til dem begge

Aabenterminal(t)         Der maa kun transporteres varer til en aaben terminal
Terminalkapacitet(t)     Overholdelse af terminalkapacitet

Bilkapacitet(b)          Overholdelse af bilkapacitet
Bilafstand(i,j,n,b)      Koerer bil b direkte fra i til j
                         dvs i besoeges som nummer n og j som nummer n+1
                         er deldistancen lig afstanden fra i til j;


Objekt ..                total =e= sum((i,j,n,b), Transport(b)*d(i,j,n,b)) +
                         sum((a,m,t), Haandtering(t)*Maengde(a)*w(a,m,t)) +
                         sum(t, Drift(t)*y(t));

Etbesoeg(k)..            sum((n,b), x(k,n,b)) =e= 1;
Etnummer(n,b)..          sum(i, x(i,n,b)) =l= 1;

Andenbil(a,m,n,h,b)..  x(a,n,b) + x(m,h,b) =l= 1;

Foersteknude(b)..        sum(t, x(t,'1',b)) =e= z(b);
Andenknude(b)..          sum(k, x(k,'2',b)) =e= z(b);
Sammenhaeng(n,b)$(ord(n)>2)..   sum(l, x(l,n-1,b)) =g= sum(k, x(k,n,b));
Sidsteknude(t,n,b)$(ord(n)>2).. x(t,n,b) =l= sum(k, x(k,n-1,b));

Toterminaler(b)..        sum((t,n), x(t,n,b)) =e= 2*z(b);

Afsenderbil(a,m,t,b).. w(a,m,t) =g= Modtager(a,m)*(sum(n, x(a,n,b)) +
                         sum(n$(ord(n)>2), x(t,n,b))) - 1;
Modtagerbil(a,m,t,b).. x(t,'1',b) =g= w(a,m,t) + sum(n, x(m,n,b)) - 1;
Tilknytning(a,m)..       sum(t, w(a,m,t)) =e= Modtager(a,m);

Aabenterminal(t)..       sum((n,b), x(t,n,b)) =l= Volumen(t)*y(t);
Terminalkapacitet(t).. sum((a,m), w(a,m,t)*Maengde(a)) =l= Volumen(t)*y(t);

Bilkapacitet(b)..        sum((a,n), x(a,n,b)*Maengde(a)) +
                         sum((a,m,n), x(m,n,b)*Modtager(a,m)*Maengde(a)) =l=
                         Kapacitet(b)*z(b);
Bilafstand(i,j,n,b)..  d(i,j,n,b) =g=
                         Afsenderafstand(i,j)*(x(i,n,b) + x(j,n+1,b) - 1)+
                         Modtagerafstand(i,j)*(x(i,n,b) + x(j,n+1,b) - 1);


Model Location-Routing / all /;

Solve Location-Routing using mip minimizing total;
```

Bilag G

Løsning af modellen i GAMS

G.1 Oversigt over løsning af GAMS-program

- `Solve statement` **fra** `location.lst` **for lokaliseringsproblemet (s. 38)**
- **Uddrag af løsningsfilen** `lrp.lst` **for LRP (s. 39)**
- **Væsentlige tal fra løsningsfilen** `model.lst` **(s. 43)**

G.2 Solve statement fra location.lst for lokaliseringsproblemet

```
**** The following MINLP errors were detected in model Location:
**** 58 equation afhentafstand .. VAR smin smax
**** 58 equation leverafstand .. VAR smin smax

**** LIST OF STRAY NAMES - CHECK DECLARATIONS FOR SPURIOUS COMMAS
**** STRAY NAME haandtering OF TYPE VAR
GAMS Rev 136  SUN/SOLARIS              04/18/04 13:35:57 Page 11
Location
Error Messages

 58  Endogenous smin smax require model type "dnlp"
256  Error(s) in analyzing solve statement. More detail appears
     Below the solve statement above

**** 2 ERROR(S)   0 WARNING(S)

COMPILATION TIME     =        0.009 SECONDS    0.9 Mb      SOL212-136

USER: Informatics and Mathematical Modelling         G031203:1547AJ-SOL
      Technical University of Denmark                            DC2412

**** FILE SUMMARY

INPUT      /homestudent/proj/proj45/lokaliseringsmodel.gms
OUTPUT     /homestudent/proj/proj45/lokaliseringsmodel.lst

**** USER ERROR(S) ENCOUNTERED
```

G.3 Uddrag af løsningsfilen `lrp.lst` for LRP

```
Location-Routing
C o m p i l a t i o n


* Planlaegning af antal og placering af DHL's terminaler i Vestdanmark

* Lavet i februar 2004
* Britt Ottesen (s011972) og Louise Tranberg (s973617)

*Original setting:
*option iterlim=9999999, reslim=1800, optcr=0.0;
*86400 sekunder = 1 doegn og 745200 sekunder = 8 doegn og 15 timer:
option iterlim=9999999, reslim=745200, optcr=0.90;


Sets

*INDEKS

* Punkter/knuder i grafen:
i    / 1*17 /

* Terminaler:
* 11 Esbjerg
* 12 Padborg
* 13 Herning
* 14 Kolding
* 15 Stilling
* 16 Aalborg
* 17 Odense
t(i) / 11*17 /

*Kunder:
k(i) / 1*10 /

*Afsenderkunder:
* 1 Esbjerg
* 2 Frederikshavn
* 3 Froeslev
* 4 Knudshoved
* 5 Knudshoved
a(i) / 1*5 /

*Modtagerkunder:
m(i) / 6*10 /

*Nummer
n    / 1*7 /

* Biler:
b    / 1*10 /;

alias(i,j);
```

```
 53  alias(k,l);
 54  alias(n,h);
  .
  .
  .
252  Model Location-Routing / all / ;
253
254  Solve Location-Routing using mip minimizing total ;

COMPILATION TIME     =        0.006 SECONDS    0.9 Mb      SOL212-136
GAMS Rev 136  SUN/SOLARIS                     04/04/04 17:44:34 Page 6
Location-Routing
Equation Listing    SOLVE Location-Routing Using MIP From line 254

---- Objekt  =E=  Minimering af de samlede omkostninger

Objekt..  total - 4500*y(11) - 4500*y(12) - 4500*y(13) - 4500*y(14)
          - 4500*y(15) - 4500*y(16) - 4500*y(17) - 150*w(1,6,11)
          - 150*w(1,6,12) - 150*w(1,6,13) - 150*w(1,6,14) - 150*w(1,6,15)
          - 150*w(1,6,16) - 150*w(1,6,17) - 150*w(1,7,11) - 150*w(1,7,12)
          - 150*w(1,7,13) - 150*w(1,7,14) - 150*w(1,7,15) - 150*w(1,7,16)
          - 150*w(1,7,17) - 150*w(1,8,11) - 150*w(1,8,12) - 150*w(1,8,13)
          - 150*w(1,8,14) - 150*w(1,8,15) - 150*w(1,8,16) - 150*w(1,8,17)
          - 150*w(1,9,11) - 150*w(1,9,12) - 150*w(1,9,13) - 150*w(1,9,14)
          - 150*w(1,9,15) - 150*w(1,9,16) - 150*w(1,9,17) - 150*w(1,10,11)
          - 150*w(1,10,12) - 150*w(1,10,13) - 150*w(1,10,14) - 150*w(1,10,15)
          - 150*w(1,10,16) - 150*w(1,10,17) - 345*w(2,6,11) - 345*w(2,6,12)
          - 345*w(2,6,13) - 345*w(2,6,14) - 345*w(2,6,15) - 345*w(2,6,16)
          - 345*w(2,6,17) - 345*w(2,7,11) - 345*w(2,7,12) - 345*w(2,7,13)
          - 345*w(2,7,14) - 345*w(2,7,15) - 345*w(2,7,16) - 345*w(2,7,17)
          - 345*w(2,8,11) - 345*w(2,8,12) - 345*w(2,8,13) - 345*w(2,8,14)
          - 345*w(2,8,15) - 345*w(2,8,16) - 345*w(2,8,17) - 345*w(2,9,11)
          - 345*w(2,9,12) - 345*w(2,9,13) - 345*w(2,9,14) - 345*w(2,9,15)
          - 345*w(2,9,16) - 345*w(2,9,17) - 345*w(2,10,11) - 345*w(2,10,12)
          - 345*w(2,10,13) - 345*w(2,10,14) - 345*w(2,10,15) - 345*w(2,10,16)
          - 345*w(2,10,17) - 60*w(3,6,11) - 60*w(3,6,12) - 60*w(3,6,13)
          - 60*w(3,6,14) - 60*w(3,6,15) - 60*w(3,6,16) - 60*w(3,6,17)
          - 60*w(3,7,11) - 60*w(3,7,12) - 60*w(3,7,13) - 60*w(3,7,14)
          - 60*w(3,7,15) - 60*w(3,7,16) - 60*w(3,7,17) - 60*w(3,8,11)
          - 60*w(3,8,12) - 60*w(3,8,13)
   .
   .
   .
---- total  De samlede omkostninger forbundet med transport haandtering og drift

total
          (.LO, .L, .UP = -INF, 0, +INF)
    1       Objekt

---- x  Besoeger bil b knude i som nummer n?

x(1,1,1)
          (.LO, .L, .UP = 0, 0, 1)
    1       Etbesoeg(1)
    1       Etnummer(1,1)
    1       Andenbil(1,6,1,1,1)
```

```
    1       Andenbil(1,6,1,2,1)
    1       Andenbil(1,6,1,3,1)
    1       Andenbil(1,6,1,4,1)
    1       Andenbil(1,6,1,5,1)
  .
  .
  .
MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS      16     SINGLE EQUATIONS    36540
BLOCKS OF VARIABLES       6     SINGLE VARIABLES    21613
NON ZERO ELEMENTS    124697     DISCRETE VARIABLES   1382

GENERATION TIME      =        1.250 SECONDS   10.5 Mb      SOL212-136

EXECUTION TIME       =        1.250 SECONDS   10.5 Mb      SOL212-136
GAMS Rev 136  SUN/SOLARIS                04/04/04 17:44:34 Page 147
Location-Routing
Solution Report     SOLVE Location-Routing Using MIP From line 254

               S O L V E      S U M M A R Y

     MODEL   Location-Routing           OBJECTIVE  total
     TYPE    MIP                  DIRECTION  MINIMIZE
     SOLVER  CPLEX                FROM LINE  254

**** SOLVER STATUS     1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      8 INTEGER SOLUTION
**** OBJECTIVE VALUE            27802.5000

 RESOURCE USAGE, LIMIT        727.930    745200.000
 ITERATION COUNT, LIMIT    225327       9999999

GAMS/Cplex    Sep  3, 2003 SOL.CP.CL 21.2 023.026.041.SOL For Cplex 8.1
Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Using environment variable ILOG_LICENSE_FILE to look for a Cplex license.

Solution satisfies tolerances.

MIP Solution:        31670.250000    (225327 iterations, 3581 nodes)
Final Solve:         27802.500000    (0 iterations)

Best integer solution possible:        5430.000000
Absolute gap:        26240.250000
Relative gap:            0.828546
  .
  .
  .
---- VAR total             -INF        27802.5000        +INF             .

  total  De samlede omkostninger forbundet med transport haandtering og drift

---- VAR x  Besoeger bil b knude i som nummer n?

               LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
```

```
1 .1.1          .            .           1.0000        EPS
1 .1.2          .            .           1.0000        EPS
1 .1.3          .            .           1.0000        EPS
1 .1.4          .            .           1.0000        EPS
1 .1.5          .            .           1.0000        EPS
1 .1.6          .            .           1.0000        EPS
1 .1.7          .            .           1.0000        EPS
1 .1.8          .            .           1.0000        EPS
1 .1.9          .            .           1.0000        EPS
1 .1.10         .            .           1.0000        EPS
1 .2.1          .            .           1.0000        EPS
1 .2.2          .            .           1.0000        EPS
1 .2.3          .          1.0000        1.0000     1917.0000
1 .2.4          .            .           1.0000        EPS
1 .2.5          .            .           1.0000        EPS
  .
  .
  .
**** REPORT SUMMARY :        0     NONOPT
                             0 INFEASIBLE
                             0  UNBOUNDED

EXECUTION TIME       =        0.794 SECONDS    4.5 Mb      SOL212-136

USER: Informatics and Mathematical Modelling         G031203:1547AJ-SOL
      Technical University of Denmark                            DC2412

**** FILE SUMMARY

INPUT      /homestudent/proj/proj45/testkoersler/testkoersel1-5kundepar.gms
OUTPUT     /homestudent/proj/proj45/testkoersler/testkoersel1-5kundepar.lst
```

G.4 Væsentlige tal fra løsningsfilen `model.lst`

```
                           LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
---- VAR total             -INF        27802.5000        +INF             .
  total  De samlede omkostninger forbundet med transport haandtering og drift

---- VAR x
Besoeger bil b knude i som nummer n?
               LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
1 .2.3           .            1.0000         1.0000      1917.0000
2 .3.3           .            1.0000         1.0000      3807.0000
3 .2.7           .            1.0000         1.0000       582.7500
4 .2.2           .            1.0000         1.0000      1768.5000
5 .2.5           .            1.0000         1.0000      1674.0000
6 .2.10          .            1.0000         1.0000        21.0000
7 .2.6           .            1.0000         1.0000      3444.0000
8 .2.4           .            1.0000         1.0000       749.2500
9 .2.9           .            1.0000         1.0000       897.7500
10.3.9           .            1.0000         1.0000       425.2500
11.1.3           .            1.0000         1.0000        13.5000
11.1.4           .            1.0000         1.0000       735.7500
11.1.9           .            1.0000         1.0000       887.2500
11.1.10          .            1.0000         1.0000        10.5000
11.3.5           .            1.0000         1.0000      1140.7500
11.3.7           .            1.0000         1.0000       572.2500
11.3.10          .            1.0000         1.0000        10.5000
11.4.3           .            1.0000         1.0000      1903.5000
12.1.2           .            1.0000         1.0000      1235.2500
12.1.7           .            1.0000         1.0000        10.5000
12.3.4           .            1.0000         1.0000        13.5000
12.3.6           .            1.0000         1.0000      1821.7500
17.1.5           .            1.0000         1.0000       533.2500
17.1.6           .            1.0000         1.0000      1622.2500
17.3.2           .            1.0000         1.0000       533.2500
17.4.9           .            1.0000         1.0000       414.7500

---- VAR y
Aabnes terminal t?
          LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
11          .            1.0000         1.0000      4500.0000
12          .            1.0000         1.0000      4500.0000
13          .              .            1.0000      4500.0000
14          .              .            1.0000      4500.0000
15          .              .            1.0000      4500.0000
16          .              .            1.0000      4500.0000
17          .            1.0000         1.0000      4500.0000

---- VAR z
Benyttes bil b?
          LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
2           .            1.0000         1.0000         EPS
3           .            1.0000         1.0000         EPS
4           .            1.0000         1.0000         EPS
5           .            1.0000         1.0000         EPS
6           .            1.0000         1.0000         EPS
```

```
7            .             1.0000         1.0000        EPS
9            .             1.0000         1.0000        EPS
10           .             1.0000         1.0000        EPS

     VAR w
Knyttes afsenderkunde a og modtagerkunde m til terminal t?
               LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
1.9 .11          .             1.0000         1.0000       150.0000
2.8 .11          .             1.0000         1.0000       345.0000
3.10.11          .             1.0000         1.0000        60.0000
4.7 .17          .             1.0000         1.0000       240.0000
5.6 .11          .             1.0000         1.0000       135.0000

---- VAR d
Den samlede distance bil b koerer fra i som nummer n til j som nummer n+1
                  LOWER          LEVEL          UPPER         MARGINAL
1 .2 .2.3           .           282.0000        +INF             .
2 .11.3.3           .           282.0000        +INF             .
3 .11.2.7           .           109.0000        +INF             .
4 .17.2.2           .            79.0000        +INF             .
5 .11.2.5           .           169.0000        +INF             .
6 .11.2.10          .             2.0000        +INF             .
7 .12.2.6           .           347.0000        +INF             .
8 .12.2.4           .             2.0000        +INF             .
9 .10.2.9           .             2.0000        +INF             .
10.17.3.9           .            79.0000        +INF             .
11.1 .1.3           .             2.0000        +INF             .
11.6 .1.10          .             2.0000        +INF             .
11.8 .1.4           .           109.0000        +INF             .
11.9 .1.9           .           169.0000        +INF             .
12.3 .1.7           .             2.0000        +INF             .
12.4 .1.2           .           183.0000        +INF             .
17.5 .1.5           .            79.0000        +INF             .
17.7 .1.6           .           309.0000        +INF             .
```

Bilag H

Workshopreferater

H.1 Oversigt over afholdte workshops

- **Padborg og Esbjerg d. 19. november 2003 kl. 10:00 (s. 46)**
  Til stede: *Fortroligt.*
- **Odense d. 20. november 2003 kl. 9:00 (s. 46)**
  Til stede: *Fortroligt.*
- **Kolding d. 21. november 2003 kl. 10:00 (s. 46)**
  Til stede: *Fortroligt.*
- **Aalborg d. 1. december 2003 kl. 16:00 (s. 46)**
  Til stede: *Fortroligt.*
- **Stilling d. 12. januar 2004 kl. 10:30 (s. 46)**
  Til stede: *Fortroligt.*

H.2 Padborg og Esbjerg d. 19. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

H.3 Odense d. 20. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

H.4 Kolding d. 21. november 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

H.5 Aalborg d. 1. december 2003

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

H.6 Stilling d. 12. januar 2004

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

Bilag I

Rapport til ledelsen i DHL

I.1 Oversigt over rapport til ledelsen

I.2 Introduktion

Dette dokument indeholder de for DHL væsentligste elementer fra den samlede rapport, som er resultatet af vores projektarbejde i samarbejde med virksomheden. Der gives først en præsentation af forfatterne, baggrunden for projektarbejdet og de indledende møder, der ledte op til opgaveformuleringen og begyndelsen på vores arbejde. Derefter redegøres for vores faglige metodevalg, problemhåndteringsproces og resultater, hvorefter vi præsenterer et sammendrag af de handlingsplaner, der er udarbejdet på baggrund af håndteringsprocessens resultater. Endelig giver vi en evaluering af såvel det faglige som det samarbejdsmæssige projektforløb.

Denne del af afsnittet er fortrolig efter ønske fra DHL.

I.3 Metoder

Med udgangspunkt i vores faglige baggrund og specialisering valgte vi at håndtere den givne problemstilling ud fra en pragmatisk og ingeniørmæssig tilgangsvinkel. Vi gjorde derfor brug af de metoder og redskaber, vi fandt relevante i de enkelte delproblemer i processen.

Vores problemhåndtering bestod af tre faser: (1) Indsamling af **basisviden** om virksomheden ved brug af interviewteknik samt etablering af en positiv basis for det videre samarbejde med de personer, vi i løbet af projektperioden kom i kontakt med, (2) Benyttelse af **matematisk modellering** til formulering af den kvantitative del af lokaliserings- og distributionsproblemet samt løsning af et tilpasset testproblem og (3) Afholdelse af **workshops** med det formål at inddrage relevante brugere, identificere problemområder, indsamle idéer og klarlægge kvalitative elementer i og omkring problemstillingen.
Ud fra denne tredelte problemhåndtering blev de opnåede resultater sammenholdt, og på baggrund af disse udarbejdede vi nogle konkrete handlingsplaner, som DHL kan gøre brug af, samt en række anbefalinger og stof til eftertanke i virksomheden.

Gennem projektforløbet gjorde vi således brug af en række både bløde og hårde operationsanalytiske metoder og teknikker. En sådan kombination af forskellige problemtilgange og værktøjer kaldes multimetodologi, og det var en central del af vores mål for projektet at undersøge, hvorvidt en sådan kombinatorisk og pragmatisk problemtilgang var hensigtsmæssig til håndtering af en virksomheds problemstilling.

I.4 Resultater

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

I.5 Handlingsplaner

Dette afsnit er fortroligt efter ønske fra DHL.

I.6 Evaluering

Projektforløbet bestod dels i det metodemæssige arbejde med opgaven og dels med løbende samarbejde mellem os og kontaktpersoner på DHL. Vi fandt det meget interessant at arbejde med en konkret problemstilling i virksomheden. Vores faglige mål var at håndtere problemstillingen med en række metoder og redskaber, der tilsammen skulle munde ud i helhedsorienterede resultater og handlingsplaner, der repræsenterede virkeligheden og kunne bruges i praksis. Det blev imidlertid i løbet af projektperioden klart for os, at vi ikke kunne få de nødvendige data, hvorfor den matematiske del af vores problemløsningsproces mister sin umiddelbare relevans for DHL. Det kan undre, at man ikke prioriterede fremskaffelsen af data højere, da vi som specialestuderende var en gratis kapacitet, som man med fordel kunne have draget mere nytte af med forholdsvis små tidsinvesteringer.
Samarbejdet med de personer, vi var i kontakt med i projektperioden, var overordnet en positiv oplevelse. Det var meget varieret, hvorvidt man havde tid og lyst til at gå i dialog med os, og folks prioriteter var meget forskellige. Vi mener, at de meget travle medarbejdere på terminalerne viste en utrolig god vilje i forbindelse med afholdelse af workshops, hvor vi gennemsnitligt tog to timer ud af det daglige arbejde.
Fagligt opnåede vi gennem arbejdet med den problemstilling, vi som udgangspunkt fik stillet af DHL, mulighed for at gøre brug af flere af de metoder og værktøjer, vi har stiftet bekendskab med gennem vores ingeniørstudium. Det har været lærerigt at arbejde med en konkret problemstilling, hvor vi har skullet tage hensyn til de mange forskellige faktorer, der spiller ind, når der er tale om virkelige og komplekse problemer. Vi mener, at vi, til trods for de manglende data, der delvis underminerede den matematiske del af vores problemhåndteringsproces, har opnået nogle gode resultater, og at vi ved at lægge vægt på workshop-etapen i projektet har kunne præsentere DHL for nogle handlingsplaner og stof til eftertanke i virksomheden, som kan bidrage til fremtidig gevinst. Vi håber, at resultaterne af dette projekt kan komme til gavn for den fremtidige udvikling af DHL.

Bilag J

Mails

J.1 Oversigt over de vigtigste mails - sendt og modtaget i projektet

- **Juni 2003**
- **Juli 2003**
- **August 2003**
- **September 2003**
- **Oktober 2003**
- **November 2003**
- **December 2003**
- **Januar 2004**
- **Februar 2004**
- **Marts 2004**
- **April 2004**

Dette bilag er fortroligt efter ønske fra DHL.