VK 6302.203
ISSN: LVV rapport
0920-0592

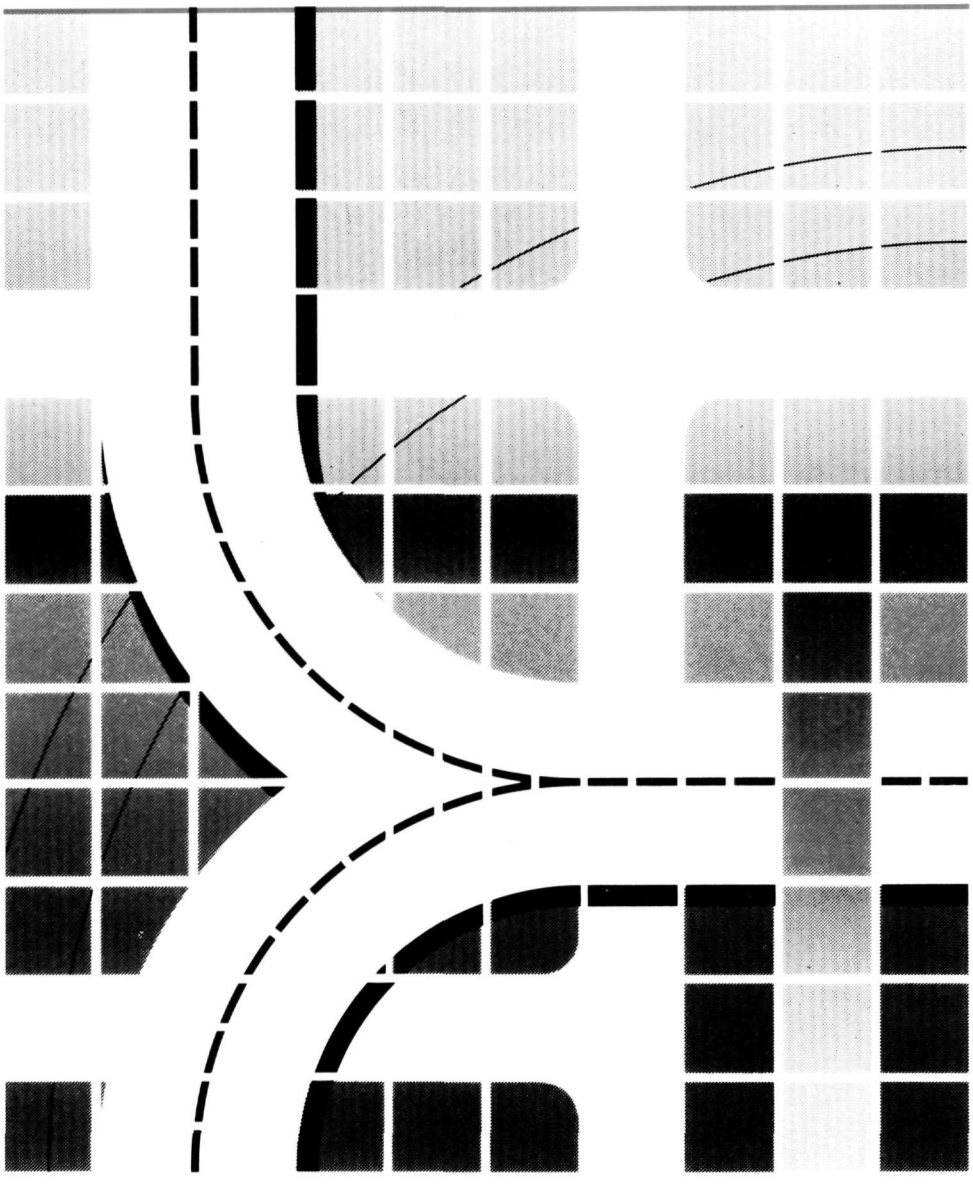
Optimalisatie goederenvervoer

Deel 3: Ritplanning in het Pick-Up and Delivery vervoer

Technische Universiteit Delft
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek
(Bezoekadres Stevinweg 1)
Postbus 5048
2600 GA DELFT

Mei 1993

Ir. M.W.J. Schmitz



TU Delft
Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Verkeer

Rapp
CT
VK
93-07

590 640

Document Vakgroep VERKEER **Technische Universiteit Delft**

1. Rapportnr. VK 6302.203	**6. ISSN-nummer** LVV rapport 0920-0592
2. Titel rapport Optimalisatie Goederenvervoer Deel 3: Ritplanning in het Pick-Up and Delivery vervoer	**7. Onderzoekthema** Goederenvervoer
3. Schrijver(s)/redacteur(s) Ir. M.W.J. Schmitz	**8. Onderzoekproject** Optimalisatie Goederenvervoer
4. Uitvoerend instituut T.U. Delft, Vakgroep Verkeer	**9. Rapport type** Vakpublicatie
5. Opdrachtgever(s)	**10. Datum publicatie** Mei 1993

11. Samenvatting

Voor het efficiënt vervoeren van goederen is het noodzakelijk dat er vooraf een goed ritplan wordt opgesteld. Hoewel er verschillende ritplanning-systemen op de markt zijn, blijft het gebruik van deze systemen achter bij de verwachtingen. Belangrijke oorzaken voor het achterblijvende gebruik zijn onder meer de grote diversiteit van ritplanningsproblemen en de matige resultaten van de eerste generaties planningsystemen.
Een bijkomend probleem met betrekking tot het Pick-Up and Delivery vervoer is dat voor dit vervoertype nauwelijks planningsystemen zijn ontwikkeld. Het doel van deze studie was dan ook te onderzoeken of er mogelijkheden aanwezig zijn een planningsysteem voor dit type vervoer te ontwikkelen.
Op basis van de karakteristieken van het Pick-Up and Delivery vervoer en de wijze waarop de planning in dit type vervoer wordt uitgevoerd, zijn een aantal voorwaarden geschetst waaraan een planningsysteem voor dit type vervoer moet voldoen om een kans van slagen te hebben. De belangrijkste voorwaarden zijn een grote mate van gebruikersvriendelijkheid en flexibiliteit.
Tenslotte is getracht aan te geven op welke wijze een tweetal bestaande algoritmes voor het distributieve vervoer (savings algoritme en Set Partitioning) aangepast kunnen worden aan de kenmerken en eisen van het Pick-Up and Delivery vervoer.

Rapp
CT
VK
93-07

12. Begeleidingscommissie Begeleidingscommissie optimalisatie Goederenvervoer	**14. Bijbehorende rapporten** vk 6302.201 vk 6302.202	
13. Praktijkcontacten AKZO Salt and Basic Chemical Devision	**15. Aantal blz.** 37	**16. Prijs** fl. 10,--

3116 863

OPTIMALISATIE GOEDERENVERVOER

DEEL 3:

RITPLANNING IN HET PICK-UP AND DELIVERY VERVOER

Ir. M.W.J. Schmitz

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Verkeer

Technische Universiteit Delft
Faculteit CiTG
Bibliotheek Civiele Techniek
Stevinweg 1
2628 CN Delft

Delft, januari 1993

Inhoudsopgave

DEEL 3: RITPLANNING IN HET PICK-UP AND DELIVERY VERVOER

SAMENVATTING			1
INLEIDING			2
1	PROBLEEMBESCHRIJVING		3
	1.1	Inleiding	3
	1.2	Problemen met automatisering	4
2	DOEL		10
3	PROBLEEMANALYSE		10
	3.1	Kenmerken van het Pick-Up and Delivery vervoer	10
	3.2	Beschrijving huidig planningsproces	15
	3.3	Eisen planningsysteem	18
4	PLANNINGSALGORITMES		20
	4.1	Inleiding	20
	4.2	Savingsalgoritme	21
	4.3	Set Partitioning	27
LITERATUURLIJST			34

Technische Universiteit Delft
Faculteit CiTG
Bibliotheek Civiele Techniek
Stevinweg 1
2628 CN Delft

SAMENVATTING

Voor het efficiënt vervoeren van goederen is het noodzakelijk dat er vooraf een goed ritplan wordt opgesteld. Bij veel bedrijven wordt het ritplan nog volledig handmatig opgesteld.
Hoewel er verschillende ritplanningsystemen op de markt zijn, blijft het gebruik van deze systemen achter bij de verwachtingen. Belangrijke oorzaken voor het achterblijvende gebruik zijn onder meer de grote diversiteit van ritplanningsproblemen, waardoor voor veel bedrijven de beschikbare systemen geen oplossing vormen (bedrijven hebben behoefte aan maatwerk) en de matige resultaten van de eerste generatie planningsystemen (onder andere als gevolg van de inflexibiliteit van deze systemen).
Een bijkomend probleem met betrekking tot het Pick-Up and Delivery vervoer is dat voor dit vervoertype nauwelijks planningsystemen zijn ontwikkeld (voor zover bekend zijn er op de Nederlandse markt geen systemen beschikbaar). Het doel van deze studie was dan ook te onderzoeken of er mogelijkheden aanwezig zijn een planningsysteem voor dit type vervoer te ontwikkelen. Hiertoe is eerst onderzocht welke karakteristieken het Pick-Up and Delivery vervoer (en in het bijzonder het vervoer van chemicaliën) heeft, waardoor het afwijkt van het standaard probleem waarvoor wel verschillende planningsystemen op de markt zijn (rondritprobleem). Vervolgens is gekeken op welke wijze de planning in dit type vervoer momenteel wordt uitgevoerd. Op basis van een beschrijving van het huidige planningsproces is een aantal voorwaarden geschetst waaraan een planningsysteem voor dit type vervoer moet voldoen om een kans van slagen te hebben. De belangrijkste voorwaarden zijn een grote mate van gebruikersvriendelijkheid en flexibiliteit.
Het algoritme dat toegepast wordt in een ritplanningsysteem voor het Pick-Up and Delivery vervoer kan mogelijk afgeleid worden uit algoritmes welke voor het distributieve vervoer zijn ontwikkeld. Getracht is aan te geven op welke wijze een tweetal bestaande algoritmes voor het distributieve vervoer (savings algoritme en Set Partitioning) aangepast kunnen worden aan de kenmerken en eisen van het Pick-Up and Delivery vervoer. Gegeven de voorwaarden die aan het planningsysteem gesteld worden, biedt met name het Set Partitioning algoritme goede mogelijkheden om door middel van relatief eenvoudige aanpassingen geschikt gemaakt te worden en verwerkt te worden in een beslissingsondersteunend systeem.
Het savings algoritme biedt daarentegen waarschijnlijk betere mogelijkheden om in een systeem ingebouwd te worden dat tijdens de planning rekening houdt met tijdsafhankelijkheid van de verschillende activiteiten die binnen een rit verricht moeten worden. Met name in verband met de steeds toenemende congestie op het wegennet (tijdsafhankelijkheid van de activiteit rijden) kan dit in de toekomst een belangrijk element binnen het planningsysteem worden.

INLEIDING

Bij de vakgroep Verkeer van de Technische Universiteit Delft, is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om de ritplanning en rituitvoering in het goederenvervoer te optimaliseren. Het onderzoek en de rapportage met betrekking tot het onderzoek is verdeeld in drie gedeelten. In het eerste deel wordt ingegaan op de mogelijkheid de ritplanning te verbeteren door gebruikmaking van gegevens van voorgaande rituitvoeringen (terugkoppeling). In het tweede deel wordt een aanzet gegeven voor een beslissings ondersteunend systeem waarmee onderzocht kan worden wat de consequenties zijn van wijzigingen in het laadproces voor de ritplanning en de rituitvoering. Deel drie tenslotte gaat in op de mogelijkheden van geautomatiseerde ritplanning in het Pick-Up-and-Delivery vervoer.

In dit derde deel wordt ingegaan op de mogelijkheden en de beperkingen van geautomatiseerde planningsystemen in het Pick-Up and Delivery vervoer. Alvorens in te gaan op een aantal algoritmes welke mogelijk gebruikt kunnen worden in het Pick-Up and Delivery vervoer, zal eerste een algemene beschrijving gegeven worden van problemen die in het verleden ondervonden zijn bij de automatisering van de ritplanning.
Vervolgens zal worden ingegaan op de specifieke kenmerken van het Pick-Up and Delivery vervoer, waardoor het planningsprobleem in feite ongeschikt is voor de bestaande ritplanningsystemen. Verder zal een globale beschrijving gegeven worden van het planningsproces zoals dat in de huidige situatie bij veel bedrijven in het Pick-Up and Delivery vervoer plaatsvindt.

Het onderzoek is financieel ondersteund door AKZO (Salt and Basic Chemical Division) en daarom hebben sommige onderdelen van het onderzoek en van de rapportage voornamelijk betrekking op het type vervoer (Pick-Up and Delivery-vervoer) en produktgroepen (chemicaliën) welke voor AKZO het meest relevant zijn.

1 PROBLEEMBESCHRIJVING

1.1 Inleiding

Een vervoerder heeft tot taak goederen van een bepaalde plaats van herkomst (fabriek, depot, distributiecentrum) naar een bepaalde bestemming (afnemers, consumenten) te brengen. Hij zal trachten dit op een zodanige wijze te doen, dat zo goed mogelijk voldaan wordt aan de doelstelling welke door het bedrijf wordt nagestreefd. Bij de meeste bedrijven betekent dit dat getracht zal worden het vervoer plaats te laten vinden met minimale kosten, maar de doelstelling kan ook inhouden dat getracht zal worden alle vervoer op tijd plaats te laten vinden.
Zodra de vervoerder meerdere opdrachten moet uitvoeren ontstaat de situatie dat de vervoerder verschillende mogelijke manieren heeft waarop deze opdrachten uitgevoerd kunnen worden (verschillende volgordes van te bezoeken adressen).
Wanneer de vervoerder verschillende voertuigen tot zijn beschikking heeft, ontstaan nog meer keuzemogelijkheden (welke orders worden met welk voertuig vervoerd en in welke volgorde).

Ritplanning heeft tot doel de orders en de voertuigen op een zodanige wijze te combineren tot ritten, dat het best wordt voldaan aan de doelstelling van de vervoerder en aan de uitgangspunten en randvoorwaarden zoals deze door de vervoerder en door derden (bijvoorbeeld klanten en overheid) worden gesteld.

Vroeger geschiedde de ritplanning nog volledig handmatig. Veelal waren de planners oud-chauffeurs die op basis van hun ervaring als chauffeur in het algemeen een uitstekende kennis van het wegennet bezaten en goed aan konden geven hoe de planning er uit zou moeten zien. Ook nu nog wordt bij veel bedrijven de ritplanning gedaan door gewezen chauffeurs.

Als gevolg van diverse oorzaken zoals schaalvergroting binnen de bedrijven, toename van de drukte op de wegen, veranderende logistieke concepten (bijvoorbeeld Just in Time processen), resulterend in hogere eisen welke aan het vervoer worden gesteld (verschuiving van kosten naar tijd) is de laatste jaren een behoefte ontstaan aan hulpmiddelen die de planner kunnen ondersteunen tijdens het planningproces en zodoende kunnen bijdragen tot het tot stand komen van een efficiëntere planning.

De laatste jaren (decennia) is door onderzoeksinstituten en bedrijven (met name software bedrijven) op deze behoefte ingespeeld door een groot aantal ritplanningspakketten en -algoritmes te ontwikkelen om de vervoerder bij het plannen te assisteren.
Desalniettemin is het aantal bedrijven dat momenteel, voor de operationele planning, gebruik

maakt van geautomatiseerde planningsystemen nog zeer beperkt. Uit een onderzoek onder 800 (nationale en internationale) wegtransportondernemingen met meer dan 10 voertuigen, is gebleken dat het aantal bedrijven dat voor routing en planning gebruik maakt van de computer, beperkt is tot 8% resp. 12%. Bovengenoemde logistieke functies worden met name ondersteund bij de grotere ondernemingen (met meer dan 100 werknemers) [Groot 1989].

1.2 Problemen met automatisering

Voor het achterblijvende gebruik van geautomatiseerde planningsystemen is een aantal oorzaken aan te geven, namelijk:

1. grote diversiteit van ritplanningsproblemen;
2. beperkte doelgroep waar het onderzoek zich op heeft gericht;
3. inflexibiliteit van de eerste generatie planningsystemen;
4. matige resultaten van de eerste generatie planningsystemen;
5. hoge kosten van de planningsystemen.

ad 1 **grote diversiteit ritplanningsproblemen**

Het ritplanningsprobleem dat men in een bepaald bedrijf kan aantreffen, is afhankelijk van een zeer groot aantal karakteristieken van o.a. het bedrijf, de vraag (klanten) en van het wagenpark. In tabel 1 zijn een aantal karakteristieken weergegeven welke het type planningsprobleem bepalen.

De diversiteit van de bedrijven (en daarmee de diversiteit van de planningsproblemen) betekent dat voor de meeste bedrijven de standaard planningsystemen te kort schieten en dat de meeste bedrijven grote behoefte hebben aan een planningsysteem dat op de specifieke planningsituatie van het bedrijf is toegesneden (maatwerk).

Het probleem van de grote diversiteit van het planningsprobleem kan (deels) worden opgelost door uit te gaan van een modulaire opbouw van ritplanningsystemen. Binnen een dergelijk systeem blijft de kern, het algoritme, voor een belangrijk deel ongewijzigd, maar wordt de schil aangepast aan de specifieke situatie binnen het bedrijf.

tabel 1 karakteristieken voor het rit- en routeplanningsprobleem.

karakteristiek	mogelijkheden
type vervoer	(distributief, volle wagenlading) (eigen vervoer, beroepsvervoer)
tijdduur van de rit	(enkeldaags of meerdaagse ritten)
aanwezigheid tijdvensters	(geen tijdvensters, tijdvensters orderafhankelijk, lokatieafhankelijk)
grootte voertuigvloot	(één of meerdere voertuigen)
samenstelling vloot	(homogeen, heterogeen, speciale voertuigen)
standplaats voertuigen	(één of meerder depots)
capaciteit voertuigen	(voor alle voertuigen gelijk of verschillend)
bereikbaarheid lokaties	(gelijk voor alle voertuigen of niet)
aard van de vraag	(deterministisch of stochastisch) (ruim van te voren bekend, pas tijdens planning bekend)
plaats waar vraag optreedt	(op knooppunten of op schakels)
klantenbestand	(vast of variabel)
type goederen	(homogeen of inhomogeen, stukgoed of bulk)
te verrichten handelingen	(alleen afhalen, alleen afleveren, gemengd of gedeelde leveringen)
omvang vervoersgebied	(lokaal, nationaal of internationaal)
kosten	(variabele kosten, vaste kosten, kosten niet bediende klanten)
doelstelling	(minimalisatie totale vervoerskosten, som van vaste en variabele kosten, aantal benodigde voertuigen, maximalisatie winst)

bron: Bodin [1983], Striekwold [1984], Weber [1985]

ad 2 **onderzoeksveld**

Hoewel het ritplanningsprobleem zeer divers is, heeft het onderzoek zich in het verleden voonamelijk toegespitst op een beperkt aantal ritplanningsproblemen. De ritplanningsproblemen waarnaar in het verleden veel onderzoek is gedaan en waarvoor verschillende ritplanningsystemen voor ontwikkeld zijn (en op de markt zijn gebracht), zijn:

- het Handelsreizigers (Traveling Salesman) probleem;
  Het basisprobleem gaat uit van één voertuig dat vanuit één depot in een rondrit een aantal klanten bedient. Uitgaande van dit basisprobleem zijn in de loop der jaren een groot aantal varianten en oplossingsalgoritmes ontwikkeld.
  Het handelsreizigers probleem komt in de praktijk met name voor in het **distributief vervoer** waarbij uitgaande van één of meerdere depots met meerdere voertuigen een groot aantal (los-)adressen bezocht wordt. Alle orders die ingepland moeten worden, hebben het depot als herkomst of als bestemming.
  De meeste planningspakketten voor het goederenvervoer die momenteel op de Nederlandse markt beschikbaar zijn, zijn toegesneden op dit type vervoer.

- het Dial-a-Ride probleem.

  Het Dial-a-Ride probleem gaat uit van orders waarbij zowel het herkomstadres als het bestemmingsadres verschilt van de standplaats (geen centraal herkomst- of bestemmingsadres). Een belangrijk kenmerk van het Dial-a-Ride vervoer is dat gedurende de uitvoering continu nieuwe orders, welke op dezelfde dag nog moeten worden uitgevoerd, bij de vervoerder binnenkomen. Dit betekent dat de vervoerder continu zijn planning bij zal moeten stellen. Op dit punt verschilt het Dial-a-Ride vervoer met het Pick-Up and Delivery vervoer.
  Een voorbeeld van dit type probleem in het goederenvervoer zijn de koeriersdiensten. Ook in het personenvervoer treffen we Dial-a-Ride vervoer aan in de vorm van taxi, bustaxi of belbussystemen.
  De planningsystemen welke gebaseerd zijn op het Dial-a-Ride probleem zijn voornamelijk ontwikkeld t.b.v. het personenvervoer. Recentelijk zijn er ook enkele systemen t.b.v. het goederenvervoer op de markt verschenen. Deze worden met name door koeriersdiensten gebruikt.

ad 3 **inflexibiliteit eerste generatie ritplanningsystemen**

De eerste generatie ritplanningsystemen bleek weinig flexibel te zijn. Deze inflexibiliteit had enerzijds betrekking op de inflexibiliteit van de oplossingen welke door het systeem werden berekend en anderzijds op de inflexibiliteit van de doelstellingsfunctie en optimalisatiecriteria welke in het systeem werden gehanteerd.

Inflexibiliteit van de oplossingen

De eerste generatie ritplanningspakketten ging uit van Operations Research algoritmes en leverde de planner een bijna "kant en klaar" ritplan waar de planner zelf nog maar weinig veranderingen in aan kon brengen. Deze pakketten waren er in feite op gericht de planner volledig te vervangen. Probleem bij veel pakketten van dit type was dat ze niet in staat waren in te spelen op veranderingen die op het laatste moment nog optraden (bijvoorbeeld opdrachten die op het laatste moment nog binnen kwamen).
Andere pakketten waren niet in staat het totale orderpakket in te plannen en beperkten zich tot $\pm$ 80 % van de orders. De laatste 20 % (meestal de moeilijk in te plannen orders) moest de planner zelf handmatig plannen.

Doordat de pakketten niet met alle gegevens rekening hielden en niet in staat waren om veranderingen snel en efficient te verwerken, was de planner vaak genoodzaakt de planning zelf

(geheel of gedeeltelijk) handmatig over te doen.

In tegenstelling tot de eerste generatie planningsystemen welke uitgingen van een batch gewijze aanpak, gaan de planningsystemen die momenteel op de markt verschijnen meer in de richting van (interactieve) beslissing ondersteunende systemen (Decision Support Systems). Ze bieden de planner de mogelijkheid om al tijdens het planningsproces in te grijpen, een gevonden oplossing aan te passen naar eigen inzichten en nieuwe gegevens in de oplossing te verwerken. Daarbij leveren ze snel alle relevante gegevens van de oude en de aangepaste oplossing zodat de planner een weloverwogen beslissing kan nemen. Het planningsysteem is niet langer een geautomatiseerde planner, maar slechts een gereedschap dat de planner kan gebruiken.
Een verdere ontwikkeling op dit gebied, is het gebruik van kunstmatige intelligentie (Artificial Intelligence) als ondersteuning bij het beslissing ondersteund plannen. Uit de veranderingen die de planner in oplossingen aanbrengt, kunnen planningsregels (kennisregels) worden afgeleid. Deze kennisregels worden opgeslagen in een kennisbestand, welke in een volgende planning kan worden geraadpleegd om de planning verder te verbeteren (Duchessi [1988]).

Inflexibiliteit van het optimalisatie criterium

Een ander belangrijk bezwaar tegen de eerste generaties planningsystemen (en zelfs ook tegen de meeste systemen die momenteel op de markt zijn) is dat deze pakketten niet flexibel zijn met betrekking tot het optimalisatiecriterium en de te optimaliseren grootheden. Zowel het optimalisatiecriterium als de grootheden liggen bij de meeste pakketten reeds vast en kunnen niet door de gebruiker worden ingesteld. De verklaring hiervoor ligt vermoedelijk in de afhankelijkheid van het gebruikte optimaliseringsalgoritme van de specifieke probleemstelling. Een ietwat afwijkende vraag betekent dat er een ander oplossingscriterium gehanteerd moet worden [Visser 1988].

ad 4 **matige resultaten eerste generaties planningsystemen**

De resultaten die bereikt werden met de eerste generaties planningsystemen, waren zeer matig. Voor een belangrijk deel kwam dit doordat de systemen niet flexibel genoeg waren en dikwijls gericht waren op een specifiek deel van de markt. Zodra de karakteristieken van het bedrijf of van het vervoer enigszins afweken, namen de toepassingsmogelijkheden van het systeem sterk af

Een andere reden dat de resultaten achter bleven bij de verwachtingen was dat in som-

mige pakketten de afstanden en rijtijden tussen lokaties zeer slecht bepaald werden. Uit een door de NEA uitgevoerd onderzoek naar de kwaliteit van ritplanningspakketten (Visser 1988), is gebleken dat het toegepaste netwerk van essentieel belang is voor de prestaties van het planningsprogramma. In het onderzoek bleek dat sommige programma's gebruik maakten van hemelsbrede afstanden, waarbij bijvoorbeeld geen rekening gehouden werd met fysieke barrieres zoals rivieren.
Momenteel zijn er verschillende goede netwerken beschikbaar (bijvoorbeeld het basisnetwerk (Rijkswaterstaat/AGV) en het netwerk van TeleAtlas). De planningsystemen welke in de test van het NEA als beste presteerden maakten dan ook gebruik van dit type netwerken.
De beschikbare netwerken hebben echter nog steeds als belangrijk nadeel dat ze slechts gemiddelde tijden weergeven (in de netwerken wordt geen onderscheid gemaakt naar spitsperiode en dalperiode) en dat ze niet bedrijfspecifiek zijn (een vervoerder van gevaarlijke stoffen zal zich meer aan de maximum snelheid houden dan bijvoorbeeld een vervoerder van bloemen (waar de factor tijd zeer belangrijk is)).

De NEA heeft, in samenwerking met het blad Beroepsvervoer, ook onderzocht in hoeverre een aantal op de (Nederlandse) markt aanwezige planningspakketten beter of slechter presteren ten opzichte van handmatige planners. De algemene conclusie van dit onderzoek kan kortweg als volgt geformuleerd worden. De slechtste handplanners zijn altijd nog duidelijk beter dan de slechtste beschikbare programmatuur, omdat de door hen gekozen afleveringsroute over het algemeen als goed tot zeer goed te kwalificeren is. Goede ritplanningspakketten winnen het echter van goede handmatige planners. Als een van de meest plausibele oorzaken van het minder goed functioneren van de handmatige planners, worden de matige prestaties in de exacte afstandbepaling (en dus ook kostenbepaling) genoemd. Ook hier was de conclusie dat pakketten uitgerust met een betrouwbaar netwerk veel beter presteren dan ervaren handplanners [Visser 1988].

ad 5 **Kosten**

De kosten van de ritplanningsystemen hebben een belangrijke rol gespeeld en spelen nog immer een belangrijke rol bij het achterblijven van het gebruik van planningsystemen.
Vroeger werden de kosten voornamelijk bepaald door de hardware van de systemen. De eerste ritplanningsprogramma's waren ontwikkeld voor kostbare main-frame computers. De zeer snelle ontwikkelingen op het gebied van computers en met name de komst van snelle en steeds goedkopere mini- en micro-computers maakt dat de kosten van hardware de laatste jaren steeds verder afnemen en de hardware relatief een minder belangrijke

rol zal gaan spelen binnen de totale kosten van ritplanningsystemen.
Tegenwoordig worden de kosten van planningsystemen voor een belangrijk deel bepaald door de ontwikkelingskosten van de software (mede omdat de vervoerders vaak maatwerk wensen) en door de kosten van met name het netwerkbestand. De prijzen van ritplanningspakketten kunnen oplopen tot *f* 150.000,-. Het is duidelijk dat met name voor kleinere bedrijven deze kosten nog immer een belangrijke hindernis vormen om geautomatiseerde ritplanning binnen het bedrijf te introduceren.
Daarbij komt nog dat naast de kosten van het planningsysteem zelf (hardware en software) ook op andere terreinen kosten gemaakt zullen moeten worden (bijvoorbeeld training van personeel, verandering van de organisatie binnen het bedrijf i.v.m. een andere werkwijze etc.).
Daarnaast zal automatisering van de ritplanning vaak niet beperkt kunnen blijven tot de ritplanning zelf. Voor een succesvolle implementatie van een ritplanningsysteem zal het dikwijls noodzakelijk zijn ook andere functies binnen het bedrijf te automatiseren. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan functies als orderentry en orderafhandeling (factuuradministratie), waarbij het tevens van groot belang is dat er een koppeling tussen de verschillende systemen wordt gerealiseerd.

Hoewel het aantal toepassingen van ritplanningsystemen nog erg mager is, is uit enquetes wel vast komen te staan dat er onder vervoerders (in beginsel) een grote behoefte aanwezig is om de logistieke functies binnen het bedrijf (routing en planning) via geautomatiseerde systemen te ondersteunen (zie tabel 2)(Groot [1989]).

Tabel 2: Automatiseringsbehoefte m.b.t. logistieke functies naar grootte van de onderneming.

Aantal werknemers	Routing	Ritplanning
10 - 24	12 %	24 %
25 - 49	35 %	41 %
50 - 99	36 %	49 %
100 - 199	64 %	76 %
> 200	75 %	70 %

2 DOEL

Het doel van dit onderdeel van de studie kan als volgt worden omschreven:

Onderzoeken welke mogelijkheden aanwezig zijn om de planning van het Pick-Up and Delivery vervoer te automatiseren, waarbij tevens gelet dient te worden op de mogelijkheden om een planningsysteem te ontwikkelen dat gebruik maakt van de tijdafhankelijkheid van de verschillende te plannen activiteiten (planning in de tijdruimte).

3 PROBLEEMANALYSE

In deze probleemanalyse zal eerst ingegaan worden op een aantal kenmerken van het Pick-Up and Delivery vervoer welke relevant zijn voor het planningsprobleem en die het planningsprobleem onderscheiden van het standaard probleem waarvoor de meeste planningsystemen zijn ontwikkeld (rondrit probleem). Vervolgens zal een schets worden gegeven van de manier waarop de planning momenteel nog bij veel bedrijven, die Pick-Up and Delivery vervoer verzorgen, wordt uitgevoerd.

3.1 Kenmerken van het Pick-Up and Delivery vervoer

Het Pick-Up and Delivery vervoer (en in het bijzonder het vervoer van chemicaliën) heeft een aantal specifieke kenmerken waardoor het afwijkt van standaard problemen waarvoor de meeste ritplanningsystemen zijn ontwikkeld (distributief vervoer). De belangrijkste kenmerken zijn:

1. volle wagenladingen;
2. herkomsten en vertrekken (many to many);
3. meerdaagse rituitvoering;
4. combinatie voertuig-produkt (chemicaliën vervoer);
5. ritpatroon (chemicaliën vervoer).

ad 1 **Volle wagenladingen**

In het Pick-Up and Delivery vervoer betreft het vervoer veelal vervoer van volle wagen-

ladingen. In het vervoer van chemicaliën komt daarbij dat, ook indien een order geen volle wagenlading betreft, het vanwege de specifieke kenmerken van het produkt en de eisen die gesteld worden aan het voertuig (zie onder punt "combinatie voertuig-produkt") dikwijls niet mogelijk is om meerdere deelladingen goed te combineren. Dit betekent dat in deze sector ook deelladingen in de planning vaak als volle wagenladingen beschouwd moeten worden.

Het feit dat in het Pick-Up and Delivery vervoer voornamelijk met volle wagenladingen wordt gewerkt, betekent dat de beladingsgraad en de wijze van belading qua planning minder relevant zijn. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld het distributief vervoer van stukgoederen (bijvoorbeeld meubelen) waar het op een efficiënte wijze beladen van het voertuig onderdeel is van de planning en wezenlijk bijdraagt aan de efficiëntie van het vervoer.

In het volle wagenladingen vervoer ligt het geladen deel van de rit meestal vast. Dit betekent dat voor de planner feitelijk alleen de lege kilometers interessant zijn binnen het optimalisatieproces (de geladen kilometers kunnen niet of nauwelijks geoptimaliseerd worden). Dit in tegenstelling tot het distributieve vervoer waar de winst vooral te behalen is in het optimaliseren van de geladen kilometers (d.m.v. het combineren van zendingen).

Een belangrijk gevolg van het feit dat het hier vervoer van volle wagenladingen betreft, is de ernst van overschrijdingen van tijdvensters bij loslokaties. Indien een voertuig te laat (na sluiting van het tijdvenster) bij een loslokatie arriveert, zal het voertuig veelal niet meer op die dag gelost kunnen worden. In het distributieve vervoer met kleine zendingen lost men dit op door de zending weer naar het depot mee terug te nemen en de volgende dag opnieuw (evt. met verhoogde prioriteit) in te plannen. In het Pick-Up and Delivery vervoer is dit, vanwege de volle wagenladingen, meestal niet mogelijk en zal het voertuig tot de volgende ochtend moeten blijven wachten voordat het gelost kan worden. Hierdoor loopt men het risico dat ook de rituitvoering van de volgende dag volledig verstoord raakt. In het algemeen kan gesteld worden dat overschrijding van tijdvensters voor het Pick-Up and Delivery vervoer ernstigere gevolgen heeft dan voor het distributieve vervoer.

ad 2 **Herkomst en bestemming (many to many)**

In het distributieve vervoer is er meestal sprake van slechts één (of een zeer beperkt aantal) herkomstadres(sen) (depot, distributiecentrum) en een groot aantal bestemmingsadressen. Het planningsprobleem kan hier omschreven worden als "one to many" of "few to many". In het Pick-Up and Delivery vervoer heeft men te maken met een

groot aantal herkomstadressen en een groot aantal bestemmingsadressen. Dit betekent dat in dit type vervoer de planning omschreven kan worden als "many to many" (hoewel elke rit slechts van één laadadres naar één losadres gaat).

In het distributieve vervoer keren de voertuigen aan het einde van de planningsperiode terug naar het centrale depot. In het Pick-Up and Delivery vervoer keren de voertuigen alleen naar hun standplaats terug indien de omrijkosten opwegen tegen de extra kosten van een overnachting (vergoeding chauffeur). In de meeste gevallen zal een voertuig echter ergens binnen het vervoergebied blijven overnachten. De plaats waar overnacht wordt, is afhankelijk van het laatste losadres van de betreffende dag en het eerste laadadres van de volgende dag.

In het distributieve vervoer is er meestal één standplaats (vooral indien het eigen vervoer betreft). In het Pick-Up and Delivery vervoer is er vaak sprake van meerdere standplaatsen. Met name bij de grotere vervoerders (de doelgroep van het planningsysteem) komt het regelmatig voor dat men voertuigen van andere vervoerders gedurende een langere periode inhuurt (charters). Deze voertuigen hebben het eigen bedrijf als standplaats. Verder komt het voor dat chauffeurs hun voertuig in het weekeinde mee naar huis nemen. Voor deze voertuigen is niet het bedrijf maar de woning van de chauffeur de feitelijke standplaats waarmee in de planning rekening gehouden moet worden.

ad 3 **Meerdaagse rituitvoering**

De periode dat de voertuigen van hun standplaats afwezig zijn, is in het distributieve vervoer meestal gelijk aan de duur van de planningsperiode (meestal één dag). In het Pick-Up and Delivery vervoer zijn de voertuigen meestal langer dan de planningsperiode afwezig (meestal van maandag t/m vrijdag). In het nationale vervoer is dit een gevolg van het feit dat het dikwijls niet efficient is om de voertuigen aan het einde van de dag terug te laten keren (de te rijden (lege) kilometers vanaf het laatste laadadres naar de standplaats zijn onrendabele kilometers).

Het feit dat de voertuigen niet dagelijks terugkeren naar hun vaste standplaats betekent dat de chauffeur een aantal malen elders zal moeten overnachten. De chauffeur zal dan meestal in zijn eigen voertuig blijven slapen. Aan een overnachting zijn echter extra kosten voor het bedrijf verbonden (o.a. vergoeding voor de chauffeur). Alleen indien de extra kosten om het voertuig naar de standplaats terug te laten keren, opwegen tegen de overnachtingskosten, zal de chauffeur tussentijds thuis kunnen overnachten.

Het laden van het voertuig hoeft niet altijd plaats te vinden op de dag dat de order afgehandeld moet worden. Bij een aantal (grotere) bedrijven is het mogelijk om reeds de avond ervoor te laden (voorladen). De chauffeur kan dan al op weg gaan naar het losadres en ergens halverwege blijven overnachten. In het distributieve vervoer is het soms wel mogelijk om vooraf te laden, maar de rituitvoering zal hier pas de volgende dag starten.
Een planningsysteem zal met de mogelijkheid van voorladen (en direct starten met de rituitvoering) rekening moeten houden.

In het distributieve vervoer wordt de totale tijd dat een chauffeur werkt in veel gevallen beperkt door het feit dat de chauffeur terugkeert naar het depot zodra alle orders afgeleverd zijn (enkeldaagse ritten). In het Pick-Up and Delivery vervoer is dit "natuurlijke rustpunt" niet aanwezig en zou een chauffeur in principe continu door kunnen gaan. Dit betekent dat in het Pick-Up and Delivery vervoer het rijtijdenbesluit (max. rijtijden en min. rusttijden) een grotere rol speelt dan in het distributieve vervoer.

Het feit dat in het Pick-Up and Delivery vervoer sprake is van een meerdaagse rituitvoering (meestal een week) terwijl er steeds voor één dag wordt gepland (planningsperiode van één dag) betekent dat gedurende de uitvoeringsperiode meerdere ritplannen gemaakt moeten worden die op elkaar aan moeten sluiten. De eindsituatie van de planning voor dag x is namelijk de beginsituatie van de planning voor dag x+1. Het feit dat opeenvolgende planningen goed op elkaar aan moeten sluiten vormt één van de knelpunten in een planningsysteem voor het Pick-Up and Delivery vervoer omdat op het moment dat de planning voor dag x gemaakt wordt, een groot deel van de basisgegevens voor de planning voor dag x+1 nog ontbreken (zie onderstaand voorbeeld).
Voorbeeld:

> De planning voor woensdag moet zoveel mogelijk aansluiten op de planning voor donderdag (de eindsituatie van woensdag = de beginsituatie van donderdag). De planning voor donderdag wordt bepaald door het orderpakket dat op die donderdag moet worden uitgevoerd. Dit orderpakket komt voor het grootste deel pas op de dag voor uitvoering (woensdag) bij de vervoerder binnen.
> De planning voor woensdag wordt op de voorgaande dag (dinsdag) opgesteld. Op dat moment zijn de orders voor donderdag nog niet bij de vervoerder binnen en kan dus nog weinig gezegd worden over de planning voor die donderdag.

Het feit dat de planner zijn ritplan moet baseren op een onzekere situatie voor de daaropvolgende dag betekent dat we in het Pick-Up and Delivery vervoer te maken hebben met een planning met een open einde. In het distributieve vervoer weet de planner vooraf dat de voertuigen aan het einde van de dag terug (moeten) keren naar het depot. Dit betekent dat de planner in het distributieve vervoer veel meer duidelijkheid heeft omtrend de eindsituatie (planning met een gesloten einde).

Ook de beginsituatie is in het Pick-Up and Delivery vervoer op het moment van planning nog niet voor de volle honderd procent zeker. De beginsituatie voor de planning van dag x is de eindsituatie van de rituitvoering van dag x-1. Op het moment dat de planning voor dag x gemaakt moet worden is de rituitvoering van dag x-1 nog bezig. Dit betekent dat ook hier enige discrepantie kan ontstaan. De onzekerheid m.b.t. de beginsituatie is echter veel geringer dan de onzekerheid m.b.t. de eindsituatie.

ad 4 **Combinatie voertuig - produkt**

In het chemicaliën (tank-) vervoer bestaat een zeer sterke koppeling tussen voertuigtype en produkt. De trailers en tankwagens welke voor het vervoer van chemicaliën worden ingezet, kunnen onderverdeeld worden in trailers met een roestvrij stalen tank en trailers met tanks met een rubber coating. Sommige produktgroepen vereisen een tank met rubber coating en andere produktgroepen vereisen een roestvrij stalen tank. Om flexibeler te kunnen opereren hebben vervoerders ook vaak de beschikking over trailers met meerdere compartimenten waarbij in bijvoorbeeld 2 compartimenten een rubber coating is aangebracht en het derde compartiment van roestvrij staal is.

Een andere beperking met betrekking tot het vervoer van chemicaliën is dat verschillende produkten niet zonder meer achter elkaar vervoerd kunnen worden. In een groot aantal gevallen zal voordat een volgende order uitgevoerd kan worden, de tank (inwendig) gereinigd moeten worden. De eisen die aan het reinigingsproces worden gesteld zijn afhankelijk van het vervoerde produkt en het te vervoeren produkt.
Het spoelen van de tanks kan afhankelijk van de eisen die eraan gesteld worden, bij het eigen bedrijf, bij collega vervoerders, bij sommige laadlokaties of bij gespecialiseerde bedrijven plaatsvinden. De spoelplaats kan soms vrij gekozen worden, maar wordt soms ook door de opdrachtgever vastgelegd.

ad 5 **Ritpatroon**

Het aantal zendingen (orders) dat per dag per voertuig wordt afgehandeld is relatief klein. In het nationale (chemicaliën) vervoer bedraagt het aantal orders (ritten) per

voertuig per dag gemiddeld 2. In het internationale vervoer is dit gemiddeld uiteraard nog minder. In het distributieve vervoer ligt het aantal orders (zendingen) per dag bij sommige bedrijven daarentegen boven de vijftig per voertuig.

Een specifiek kenmerk van het (Pick-Up and Delivery) vervoer van chemicaliën is dat de chemische industrie in Nederland (en in iets ruimer verband de Benelux) voor een belangrijk deel geconcentreerd is in een beperkt aantal gebieden. Uit een analyse van de ritpatronen van een aantal vervoerders in deze sector blijkt dat de belangrijkste herkomstgebieden binnen de Benelux, Rotterdam e.o. en Antwerpen e.o. zijn. Het feit dat een relatief groot deel van de laadactiviteiten in een beperkt aantal gebieden geconcentreerd is, leidt tot een ritpatroon met een beperkt aantal kernen en een radiale structuur.

3.2 Beschrijving huidig planningsproces

Deze beschrijving van het planningsproces voor het Pick-Up and Delivery vervoer is gebaseerd op een aantal bezoeken aan de planningsafdelingen van een aantal vervoerders in het chemicaliën tankvervoer. De bedoeling van deze paragraaf is een globale indruk te geven van een aantal aspecten binnen het planningsproces welke van belang kunnen zijn voor de ontwikkeling van een planningsysteem.

Achtereenvolgens zullen een drietal aspecten van het planningsproces worden beschreven, t.w.:

- orderaanname
- planning
- contacten met chauffeurs.

- **Orderaanname**

  De orders komen bij de vervoerder binnen per fax, telex of per telefoon. Met name de grotere verladers maken gebruik van telex en fax voor het doorgeven van de orders. Soms volgt later dan nog een telefonische bevestiging cq. controle van de orders.
  Het grootste deel van de orders komt pas bij de vervoerder binnen op de dag voordat de order moet worden uitgevoerd. Sommige klanten geven hun orders pas in de loop van de middag door. Dit betekent dat pas vrij laat met het opstellen van de definitieve planning kan worden begonnen.

  De orders van de vaste klanten worden in de regel altijd geaccepteerd. Bij de orders

van de overige klanten wordt gekeken in hoeverre deze orders in te passen zijn in het reeds aanwezige of het te verwachten orderpakket en in hoeverre er voertuigen beschikbaar zijn om de order af te handelen.

De orders die op een bepaalde dag moeten worden uitgevoerd, worden genoteerd op orderverzamellijsten, eventueel gesorteerd op basis van kenmerken van de orders. Bij sommige bedrijven vindt sortering plaats op basis van het type produkt (in verband met de verschillende typen voertuigen die voor de verschillende produktgroepen gebruikt moeten worden), bij andere bedrijven vindt sortering plaats op basis van de laadlokatie of op basis van het vervoergebied (bijvoorbeeld scheiding tussen nationale en internationale orders).

De orders die telefonisch binnenkomen, worden in de meeste gevallen door de planner zelf afgehandeld. Meestal betreft het hier orders van de niet-reguliere klanten en is de planner als beste in staat om te beoordelen of de order wel of niet door de vervoerder uitgevoerd kan worden.

Orders die op de dag van uitvoering nog binnenkomen, worden meestal niet meer in de planning verwerkt maar op een aparte lijst geschreven. Zodra een chauffeur zijn orders heeft uitgevoerd, wordt gekeken of hij een van de nog af te handelen orders kan uitvoeren.

- **Planning**

De planning van het nationale vervoer (bij sommige bedrijven het Benelux vervoer) vindt over het algemeen plaats op de dag voor uitvoering. De planningsperiode is meestal één dag.

Bij de grotere vervoerders wordt de planning meestal uitgevoerd door meerdere planners. Hierbij wordt veelal een duidelijke verdeling van de werkzaamheden aangehouden.
Bij sommige vervoerders houdt iedere planner zich bezig met een specifiek deel van het orderpakket (bijvoorbeeld op basis van produktgroepen of op basis van vervoergebied). Alle planners blijven zich tijdens het plannen ook bezig houden met het aannemen van orders en de contacten met chauffeurs en klanten.
Bij andere bedrijven met meerdere planners zien we een andere verdeling van werkzaamheden, waarbij een aantal planners zich gezamenlijk bezig houdt met de planning (de planning wordt in groepsverband opgesteld), terwijl de overige planners zich bezig-

houden met het aannemen van orders en de contacten met derden. Door dagelijks te rouleren blijven alle planners betrokken bij de planning.

De orders welke gedurende de voorgaande dagen en in de loop van de dag op de verzamellijsten zijn genoteerd, worden tijdens de planning zodanig gesorteerd dat ritten ontstaan. De ritten worden met potlood op ritlijsten geschreven. De planning verloopt als een Trial and Error proces waarin potlood en vlakgom belangrijke attributen zijn.

Het moment dat de planning aanvangt is zeer moeilijk te bepalen, omdat de planners dikwijls al in gedachten bezig zijn met het formeren van ritten alvorens zij de ritten daadwerkelijk op papier zetten.

Naast het combineren van orders tot ritten, behoort ook het toewijzen van chauffeurs en voertuigen aan de ritten tot het planningsproces. Meestal vormen voertuigen (trekker plus trailer) en chauffeur gedurende de week een vaste combinatie. Indien noodzakelijk is het echter mogelijk dat chauffeurs tussentijds van voertuig wisselen.

Indien het niet mogelijk is om een order goed in te plannen, wordt in sommige gevallen contact opgenomen met collega vervoerders om te informeren of deze de order voordelig kunnen uitvoeren. Op deze manier wordt voorkomen dat onrendabele ritten gereden moeten worden. Het uitwisselen van orders tussen vervoerders onderling vindt voornamelijk plaats in het internationale vervoer en alleen met vervoerders die dezelfde kwaliteit kunnen leveren.

- **Contacten met chauffeurs**

Het contact tussen chauffeurs en planners verloopt bij de meeste bedrijven telefonisch. Omdat autotelefoon of mobilofoon bij de meeste bedrijven nog geen gemeengoed is, is het voor het telefonische contact meestal noodzakelijk dat de chauffeur de planner belt zodra hij op de loslokatie arriveert of zodra hij klaar is met lossen. Dit betekent dat de chauffeur voor de planner meestal onbereikbaar is. Indien de planner de chauffeur toch wil bereiken, kan hij dit doen door de lokatie te bellen waarnaar de chauffeur onderweg is en te vragen of deze bij aankomst contact met de planner op wil nemen.

Vanaf $\pm$ 4 uur hebben de eerste chauffeurs hun ritten voor de betreffende dag voltooid en bellen zij de planner om hun opdracht voor de volgende dag te vernemen. Op het moment dat de eerste chauffeurs bellen is het planningsproces meestal nog aan de gang. Over het algemeen krijgt de chauffeur op het moment dat hij belt al de rit voor de

volgende dag op. Dit betekent dat de planner gedurende het planningsproces een steeds groter deel van de planning vastlegt (de ritten welke gedurende het planningsproces aan de chauffeurs gegeven zijn, kunnen immers niet meer gewijzigd worden omdat de chauffeur meestal niet meer bereikbaar is).

3.3 Eisen planningsysteem

Gegeven de problemen die in het verleden zijn opgetreden met planningsystemen, de verschillen tussen het Pick-Up and Delivery vervoer en distributief vervoer en de kenmerken van het huidige planningsproces, kan een aantal eisen of voorwaarden waaraan een planningsysteem moet voldoen, worden geformuleerd. Hierbij moet opgemerkt worden dat de hier geformuleerde voorwaarden geen totaal pakket van eisen vormen, maar dat het hier een opsomming van een aantal belangrijke voorwaarden voor een pakket voor het Pick-Up and Delivery vervoer betreft.

Gegeven de problemen die in het verleden zijn opgetreden met betrekking tot de automatisering van de ritplanning, kunnen de volgende voorwaarden genoemd worden:

- het planningsysteem vereist een hoge mate van flexibiliteit. Zowel voor wat betreft de oplossingen als voor wat betreft de mogelijkheid om de doelstellingsfunctie binnen het systeem te kunnen veranderen.
  Voor wat betreft de flexibiliteit van de oplossingen moet gedacht worden aan een beslissing ondersteunend systeem waarbij veel aandacht wordt besteed aan de interactie tussen het systeem en de planner. Het systeem mag niet gezien worden als vervanging van de planner maar slechts als een handig hulpmiddel voor de planner. Dit betekent o.a. dat de planner continu de mogelijkheid moet hebben om een door het systeem aangedragen oplossing naar eigen inzichten te wijzigen.
  De flexibiliteit van de doelstellingsfunctie heeft betrekking op het feit dat de vervoerder het systeem niet alleen moet kunnen gebruiken voor beslissingen op operationeel nivo (ritplanning) maar ook voor beslissingen op taktisch of strategisch nivo (bijvoorbeeld uitbreiding van de voertuigvloot).

- Betrouwbare resultaten.
  Het systeem zal betrouwbare resultaten moeten opleveren. Dit vereist o.a. dat het systeem gebruik maakt van betrouwbare en accurate invoergegevens en dat gebruik gemaakt wordt van een betrouwbaar planningsalgoritme. Met betrekking tot de netwerkgegevens moet hierbij gedacht worden aan het gebruik van gedetailleerde netwerk-

gegevens, waarbij zelfs gedacht kan worden aan een netwerk met gegevens waarin de tijdsafhankelijkheid is verwerkt (rijtijden gespecificeerd naar verschillende periodes).

- De kosten van het systeem moeten beperkt blijven zodat het systeem niet uitsluitend voor de allergrootste vervoerders beschikbaar komt maar ook door de minder grote vervoerders aangeschaft kan worden. Ontwikkeling van het systeem voor PC wordt daarom aanbevolen.

- Koppeling met andere systemen binnen het bedrijf (o.a. order entry en financiële administratie) moet mogelijk zijn.

Op basis van de specifieke kenmerken van het Pick-Up and Delivery vervoer kunnen de volgende voorwaarden geschetst worden:

- In het P&D vervoer komen de voertuigen in principe aan het einde van de planningsperiode niet naar een centraal depot terug. Dit vereist dat de planningen van de verschillende dagen goed op elkaar aansluiten en dat in de planning rekening wordt gehouden met zowel de planning van de voorgaande dag als met het (te verwachten) orderpakket van de volgende dag.

- Het systeem moet rekening kunnen houden met de mogelijkheid om orders reeds de voorgaande dag te laden (en gelijk met de rituitvoering te beginnen).

Uit de beschrijving van het huidige planningsproces volgt:

- Het feit dat de orders pas in de loop van de dag binnenkomen terwijl de planning al vrij vroeg gereed moet zijn om de chauffeurs te kunnen informeren omtrent hun orders voor de volgende dag, vereist een relatief snel planningsysteem.

- Het planningsysteem dient in feite gecombineerd te zijn met een order entry systeem (planner neemt bij veel bedrijven zelf de orders aan).

- De planner dient continu een overzicht te kunnen krijgen met betrekking tot de orders die binnen zijn. Het systeem zal daarom meerdere taken gelijktijdig uit moeten kunnen voeren (bijvoorbeeld tijdens het berekenen van het ritplan moet het raadplegen van overzichten mogelijk blijven).

- De planner moet optredende veranderingen in het orderpakket of in de startsituatie voor de planning snel in het systeem kunnen verwerken. Bijvoorbeeld last minute orders of verstoringen in de rituitvoering die tijdens de planning plaatsvinden (de verstoringen kunnen leiden tot een andere situatie aan het einde van de dag en dus tot een andere beginsituatie voor de planning).

- De planner moet tijdens het planningsproces (ook wanneer de planning nog niet volledig voltooid is) reeds delen van de planning vast kunnen zetten (bijvoorbeeld omdat ritten al aan chauffeurs zijn gegeven en daarmee vastliggen).

4 PLANNINGSALGORITMES

4.1 Inleiding

Zoals in het voorgaande hoofdstuk is beschreven, wijkt het Pick-Up and Delivery probleem op verschillende punten af van het routeringsprobleem waarvoor in het verleden de meeste algoritmes en planningsystemen ontwikkeld zijn (rondritproblemen). De aandacht die in het verleden aan het Pick-Up and Delivery probleem is besteed, is beperkt.
In dit hoofdstuk zullen globaal een tweetal planningsalgoritmes beschreven worden die ontwikkeld zijn voor het distributieve vervoer maar die mogelijk geschikt gemaakt kunnen worden voor toepassing in het Pick-Up and Delivery vervoer.

Het eerste algoritme is het savings algoritme. Hoewel dit algoritme speciaal is ontwikkeld voor het distributieve vervoer, kan het door middel van een aantal aanpassingen mogelijk geschikt gemaakt worden voor het Pick-Up and Delivery vervoer.
Het tweede algoritme is gebaseerd op de zgn. Set Partitioning methodiek, welke recentelijk door Fleuren [1988] is toegepast voor distributief vervoer. Ook dit algoritme kan door aanpassingen mogelijk geschikt gemaakt worden voor het Pick-Up and Delivery vervoer.

In de volgende paragrafen zullen de twee algoritmes kort worden beschreven. Van de beide algoritmes zal kort aangegeven worden op welke wijze het algoritme voor het distributieve vervoer aangepast kan worden aan de specifieke kenmerken van het Pick-Up and Delivery vervoer. Hierbij moet echter benadrukt worden dat het hier slechts een eerste aanzet betreft. In hoeverre het aangepaste algoritme daadwerkelijk resulteert in een optimale oplossing voor het Pick-Up and Delivery probleem zal nog nader onderzocht dienen te worden.

4.2 Savings algoritme

In deze paragraaf zal het savingsalgoritme nader worden toegelicht, waarbij stapsgewijs aangegeven zal worden hoe het algoritme werkt en welke varianten van het basisalgoritme relevant zijn voor het Pick-Up and Delivery probleem. Verder zal bij iedere stap aangegeven worden hoe het algoritme geschikt gemaakt kan worden voor Pick-Up and Delivery vervoer

Basisalgoritme (Clarke & Wright [1964])

Het (basis-) savingsalgoritme, dat ook bekend staat als het Clarke and Wright algoritme, tracht één rondrit te formeren voor een (groot) aantal orders die elk een centraal adres (depot) als herkomst of bestemming hebben. In eerste instantie gaat het algoritme er vanuit dat elke order uitgevoerd wordt door een apart voertuig (het initiële aantal voertuigen (= het initiële aantal rondritten) is dus gelijk aan het aantal orders). Vervolgens wordt gekeken hoe groot de besparing is indien twee orders gecombineerd worden tot een keten (uitgevoerd door 1 vtg.).

De optredende besparing bij het combineren van twee orders bedraagt:

$$s_{ij} = c_{ik} + c_{kj} - c_{ij} \qquad (1a)$$

waarin:

s_{ij} = de besparing bij combineren van orders i en j
c_{ik} = de kosten van adres order i naar depot (k)
c_{kj} = de kosten van depot (k) naar adres order j
c_{ij} = de kosten van adres order i naar adres order j

Deze besparing kan voor alle combinaties van i en j bepaald worden. Vervolgens worden de orders met de grootste besparing aan elkaar gekoppeld.

Het koppelen van orders gaat door totdat er geen verdere besparing meer mogelijk is.
In veel gevallen zal er een beperkt aantal voertuigen beschikbaar zijn. In die gevallen gaat het iteratieproces door totdat het aantal rondritten gelijk is aan het aantal beschikbare voertuigen. Eventueel kan vervolgens nog bekeken worden of het zinvol is één of meerdere voertuigen niet te gebruiken.

In het geval van Pick-Up and Delivery vervoer dient een onderscheid gemaakt te worden tussen herkomst en bestemming van de order. De besparing bij het combineren van order i en order j

wordt:

$$s_{ij} = c_{b_i k} + c_{k h_j} - c_{b_i h_j} \qquad (1b)$$

waarin:

$c_{b_i k}$ = de kosten van bestemmingspunt order i naar depot (k)
$c_{k h_j}$ = de kosten van depot (k) naar herkomstpunt order j
$c_{b_i h_j}$ = de kosten van bestemmingspunt order i naar herkomstpunt order j.

Voor iedere combinatie van orders i en j kunnen de besparingen worden berekend en gesorteerd, waarna de 2 orders met de grootste besparing aan elkaar worden gekoppeld.

Meerdere depots

Heuristische oplossingen voor rondritproblemen uitgaande van 1 depot zijn in het verleden veelvuldig bestudeerd. Problemen met meerdere depots hebben in het verleden echter weinig aandacht gehad. In de literatuur is slechts een beperkt aantal papers te vinden welke betrekking hebben op rondritproblemen met meerdere depots (en dan nog uitsluitend distributief vervoer).

Door Tillman & Cain [1972] is een savings algoritme ontwikkeld voor een situatie met meerdere depots, welke is afgeleid van het Clarke and Wright algoritme.

In eerste instantie wordt er in het algoritme van Tillman en Cain weer vanuit gegaan dat iedere order door één voertuig bediend wordt en wel vanuit het dichtst bijgelegen depot. Verder wordt ervan uitgegaan dat elk voertuig terugkeert naar het depot waarvan het vertrokken is. De totale kosten (in het geval van distributief vervoer) bedragen dan:

$$D = \sum_{i=1}^{N} 2 * \min\{c_{ik}\} \qquad (2a)$$

waarin c_{ik} de kosten zijn van het (los)adres van order i naar depot k (= c_{ki}) en N het totaal aantal orders is.

Vervolgens worden de orders gekoppeld en wordt de bijbehorende besparing berekend. Daarbij

is de initiële koppeling van een zone aan het dichtstbijgelegen depot slechts tijdelijk. M.a.w. een zone welke nog niet in een keten is opgenomen kan aan een ander dan het dichtstbijzijnde depot gekoppeld worden. Wanneer de zone echter in een keten is opgenomen, is de koppeling aan het depot, waaraan de keten is verbonden, permanent. De besparing wordt in dit geval:

$$s_{ijk} = \bar{c}_{ik} + \bar{c}_{jk} - c_{ij} \qquad (3a)$$

waarin:

$$\bar{c}_{ik} = \begin{cases} 2 \min\limits_{t}\{c_{it}\} - c_{ik} & \text{als i nog niet permanent is toegewezen} \\ c_{ik} & \text{anders} \end{cases}$$

Wanneer we hetzelfde doen voor Pick-Up and Delivery vervoer dan bedragen de totale kosten voor de lege kilometers:

$$D = \sum_{i=1}^{N} \min_{t}\{c_{th_i} + c_{b_it}\} \qquad (2b)$$

De besparing bij het koppelen van order i en j is gelijk aan:

$$s_{ijk} = \bar{c}_{ik} + \bar{c}_{jk} - c_{b_ih_j} \qquad (3b)$$

waarin:

$$\bar{c}_{ik} = \begin{cases} \min\limits_{t}\{c_{b_it} + c_{th_i}\} - c_{kh_i} & \text{als i nog niet is toegewezen} \\ c_{b_ik} & \text{anders} \end{cases}$$

$$\bar{c}_{jk} = \begin{cases} \min\limits_{t}\{c_{b_jt} + c_{th_j}\} - c_{b_jk} & \text{als j nog niet is toegewezen} \\ c_{kh_j} & \text{anders} \end{cases}$$

De besparingen worden berekend voor i en j=1,..,N (i≠j) en k = 1,..,M. De besparingen worden opgeslagen in een N x N x M matrix. In elke stap wordt de combinatie van orders i en j met depot k gekozen welke de grootste besparing oplevert. Na iedere stap moeten in de matrix de cellen met de orders i en j herberekend worden indien i of j toegewezen wordt aan een depot. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het aantal voertuigen per depot onbeperkt is en dat het optimalisatie proces stopt op het moment dat er geen positieve besparing meer geleverd wordt.
Dit betekent dat er vanuit gegaan wordt dat niet alle voertuigen ook daadwerkelijk gebruikt hoeven te worden.

Meerdere depots en beperkt aantal voertuigen per depot

In het bovenstaande algoritme is er van uitgegaan dat er in elk depot voldoende voertuigen beschikbaar zijn en dat niet alle voertuigen ook daadwerkelijk gebruikt hoeven te worden.

In het Pick-Up and Delivery vervoer zijn er veelal meerdere depots en per depot slechts een beperkt aantal beschikbare voertuigen. Voor het algoritme betekent dit dat vanuit een depot alleen een nieuwe keten gestart mag worden indien er in dat depot nog voertuigen beschikbaar zijn.

Met andere woorden voor de maximale besparing wordt gecontroleerd of deze aan de eis van beschikbare voertuigen voldoet:

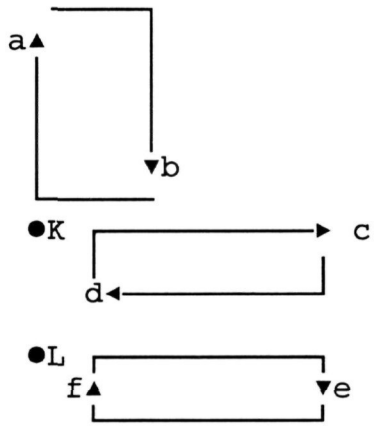
$s_{ijk} = -\infty$ indien $NVTG_k = 0$ en i en j nog niet zijn toegewezen aan een depot

$s_{ijk} = \bar{c}_{ik} + \bar{c}_{jk} - c_{ij}$ indien $NVTG_k > 0$ of indien i of j reeds zijn toegewezen aan k

De beperking van het aantal voertuigen per depot heeft echter tot gevolg dat in het zoekproces wegen kunnen worden afgesloten die uiteindelijk tot betere resultaten geleid zouden hebben (zie voorbeeld).

Voorbeeld:

Gegeven zijn twee depots (K en L) met elk 1 voertuig. Verder zijn 6 orders gegeven (a t/m f). De ordercombinatie met de grootste besparing is a-b (gekoppeld aan depot K). De volgende combinatie met de grootste besparing zou c-d zijn (eveneens gekoppeld aan depot K). Omdat het voertuig van depot K echter al in gebruik is, is deze oplossing niet mogelijk. De volgende combinatie moet of een uitbreiding van de keten K-a-b-K zijn of een nieuwe keten vanuit depot L. Het blijkt dat de grootste besparing bereikt wordt door de koppeling van e en d vanuit depot L. De uiteindelijke oplossing via dit algoritme wordt K-a-b-c-K en L-f-e-d-L wordt, terwijl een betere oplossing K-a-b-c-d-K en L-e-f-L is.



Bovenstaand probleem kan (mogelijk) voor een deel opgelost worden door een zgn. look-ahead procedure in het algoritme in te bouwen. Dit wil zeggen dat voor een aantal combinaties met de grootste besparingen één of meer stappen vooruit wordt gekeken en uiteindelijk die combinatie wordt gekozen met de grootste gezamenlijke besparing.

Een ander aspect dat een rol speelt bij een beperkt aantal voertuigen per depot (2 of meer), is het feit dat bij het koppelen van twee ketens welke aan hetzelfde depot toegewezen zijn, er een voertuig van dat depot vrijkomt. Voordat het voertuig vrij komt kan een goede combinatie van twee (ongebonden) orders echter al aan een ander (minder gunstig depot) gekoppeld zijn. Waarschijnlijk kan dit probleem opgelost worden door, d.m.v. een iteratief proces, de oplossing te controleren.

Mogelijke combinaties van voertuig en produkt

In het vervoer van chemicaliën mogen bepaalde produkten slechts met bepaalde typen voertuigen vervoerd worden (bijvoorbeeld uitsluitend met roestvrij stalen tanks).

Indien alle voertuigen welke op een bepaalde standplaats gestationeerd zijn van hetzelfde type zijn, dan is deze extra restrictie vrij eenvoudig aan te brengen, door voor elke order vooraf te onderzoeken of deze order door de voertuigen van het betreffende depot uitgevoerd kan worden.
In de praktijk zal er echter voor de grotere depots enige diversiteit in voertuigtypes zijn. Dit betekent dat het inbrengen van de restrictie meer moeilijkheden met zich meebrengt. Een mogelijke oplossing is om de besparingen bij het combineren van orders te bepalen per voertuig. Dit betekent dat de toewijzing van voertuigen impliciet in het optimalisatieproces plaatsvindt.

Vooraf kan bepaald worden welke orders niet gecombineerd kunnen worden op grond van het voertuigtype dat voor het vervoer van de beide orders benodigd is.

Spoelen

Bij sommige produkt(order-)combinaties is het noodzakelijk dat het voertuig inwendig gereinigd wordt. De kosten van het inwendig reinigen van de tanks tussen twee orders kunnen vooraf worden bepaald gegeven het losadres van order i, het laadadres van order j en de te vervoeren produkten van beide orders. De spoelkosten worden meegenomen in $c_{b_i h_j}$.

Meerdaagse rituitvoering

Het feit dat in het Pick-Up and Delivery vervoer veelal sprake is van meerdaagse ritten, heeft voor het algoritme een tweetal belangrijke consequenties.
Tijdens een meerdaagse rituitvoering komen de voertuigen aan het einde van de dag niet naar de standplaats terug maar blijven ergens binnen het vervoersgebied overnachten. Dit houdt in dat in de planning voor de volgende dag niet uitgegaan moet worden van de standplaats van de verschillende voertuigen, maar van de laatste losadressen die door de voertuigen bezocht zijn.
Dit betekent dat in de verschillende formules c_{kh_i} vervangen dient te worden door $c_{b_0 h_i}$, met b_0 het laatste losadres van het betreffende voertuig op de voorgaande dag. Omdat dit laatste losadres voor ieder voertuig verschillend kan zijn dienen de besparingen per voertuig bepaald te worden. Het laatste losadres kan afgeleid worden uit de planning voor de voorgaande dag, eventueel gecorrigeerd voor verstoringen die gedurende de rituitvoering opgetreden zijn.

Een ander probleem van de meerdaagse rituitvoering is dat de planning een open einde heeft (op het moment dat de planning wordt gemaakt is nog niet bekend welke orders over twee dagen uitgevoerd moeten worden, waardoor een goede aansluiting van de planning van achtereenvolgende dagen niet gegarandeerd kan worden. Het probleem van het open einde kan opgelost worden door in de berekening van de kosten van een order niet de terugrijkosten naar de standplaats in rekening te brengen (tenzij een planning voor vrijdag wordt gemaakt), maar een verwachting van de rijkosten naar de eerste laadlokatie order van de volgende dag. Deze verwachting van de rijkosten naar de eerste laadlokatie van de volgende dag is afhankelijk van de rijkosten naar alle relevante laadlokaties, de verwachting van het aantal orders dat op de betreffende lokaties geladen moet worden en de aanwezigheid van andere voertuigen in de omgeving van de betreffende lokaties. De verwachting van het aantal orders per laadlokatie kan bepaald worden op basis van historische gegevens m.b.t. de orders van de vervoerder.

In Amerika is de laatste jaren uitvoerig onderzoek verricht naar de open einde problematiek (o.a. Powell [1984] en Powell [1987]). Mogelijk kunnen een aantal elementen van het algoritme van Powell toegepast worden bij de bepaling van de verwachting van de rijkosten naar de eerste laadlokatie van de volgende dag.
Naar de wijze waarop de verwachting van de rijkosten bepaald moet worden zal nog nader onderzoek moeten worden gedaan.

De besparingen zullen ook hier per voertuig berekend moeten worden en in de formules dient $c_{b_i k}$ vervangen te worden door $c_{b_i h_0}$ hetgeen de verwachting is van de kosten naar de eerste laadplaats van de volgende dag (h_0).

Tijdvensters

Tijdvensters vormen extra randvoorwaarden in het optimalisatieproces. Na iedere stap in het proces moet gecontroleerd worden of de nieuwe combinatie kan voldoen aan alle gestelde tijdvensters. In het optimalisatie proces wordt de factor tijd dan uitsluitend meegenomen als randvoorwaarde.
Betere resultaten zouden wellicht bereikt kunnen worden indien de factor tijd direct in het optimalisatieproces meegenomen zou kunnen worden. Er is dan sprake van een optimalisatie in de driedimensionale ruimte (tijd-ruimte), analoog aan modellen die ontwikkeld zijn voor dynamische toedelingen van autoverkeer aan netwerken (zie bijvoorbeeld Hamerslag [1989]). Door middel van een optimalisatie in de tijd-ruimte kan ook het effect van congestie op de planning worden meegenomen. Voor toepassing van een optimalisatie in de tijd-ruimte is wel een vereiste dat tijdafhankelijke gegevens met betrekking tot de rijtijden beschikbaar zijn (zie ook deel 1 van de rapportage "Terugkoppeling van t.b.v. een betrouwbaardere ritplanning").

4.3 Set Partitioning

Het tweede algoritme dat hier kort besproken zal worden, is Set Partitioning. De bespreking van deze methodiek zal gebeuren aan de hand van het algoritme dat door Fleuren [1988] is uitgewerkt.

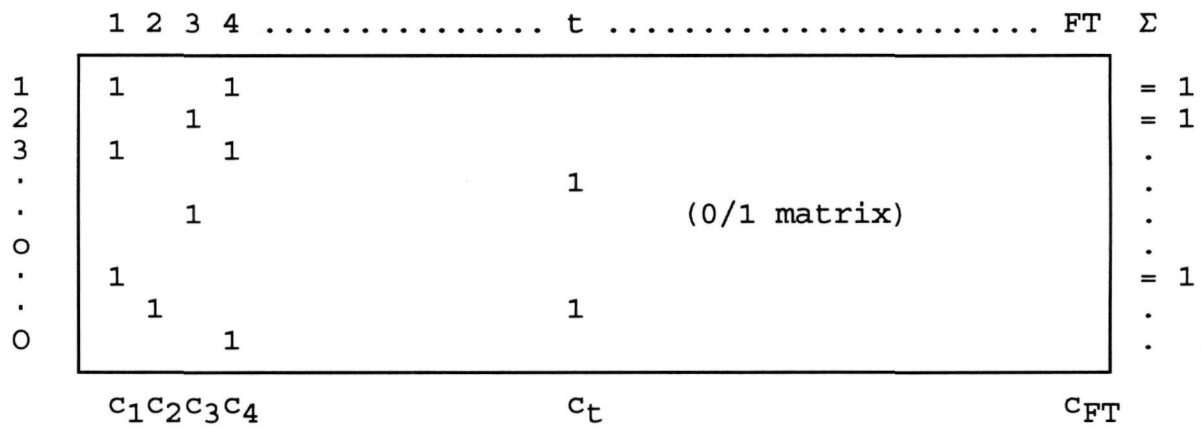
Basisalgoritme

Set Partitioning is een methodiek die is opgebouwd uit twee fases.

In de eerste fase wordt een grote set met mogelijke ritten gegenereerd. In de tweede fase wordt uit deze set mogelijke ritten een combinatie gekozen welke het best voldoet aan de gestelde doelstelling cq. randvoorwaarden (optimalisatiegedeelte).

Voor het genereren van de set met mogelijke ritten kunnen verschillende heuristieken toegepast worden. In het distributieve vervoer kan voor het genereren van mogelijke ritten gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld het savingalgoritme. Het savingsalgoritme wordt daarbij niet gebruikt om een optimale combinatie van ritten te vinden maar om een groot aantal mogelijke ritten te vinden.
Omdat het aantal orders dat per rit uitgevoerd wordt in het Pick-Up and Delivery vervoer gering is (± 2 a 3 orders per rit per dag) kunnen in het Pick-Up and Delivery wellicht alle mogelijke ritten (die voldoen aan alle randvoorwaarden) als invoer voor het optimalisatiegedeelte gebruikt worden.

Het optimalisatiegedeelte gaat uit van een 0/1-matrix waarin de rijen de orders representeren en de kolommen de set met mogelijke ritten. In het geval van rondritten ziet het probleem er als volgt uit:



FT = de verzameling mogelijke ritten (Feasible Trips)
O = de verzameling klanten (orders).

Stel a_{ot} is een 0/1 coëfficiënt die aangeeft of klant (order) o opgenomen is in rit t (enen en nullen in 0/1 matrix) en x_t een 0/1 variabele die aangeeft of een rit geselecteerd is (1) of niet (0), dan kan de voorwaarde dat iedere klant (order) precies één keer wordt opgenomen als volgt geformuleerd worden:

$$\sum_{t \epsilon FT} a_{ot} * x_t = 1 \qquad o \epsilon O \qquad (4)$$

De voorwaarde dat ieder voertuig exact 1 keer ingezet wordt, omschrijven we met:

$$\sum_{t \epsilon FT} x_t = 1 \qquad (5)$$

Wanneer de kosten van een mogelijke rit voorgesteld worden door c_t, dan kan de doelstellingsfunctie geschreven worden als:

$$\text{MIN.} \sum_{t \epsilon FT_t} c_t * x_t \qquad (6)$$

Een belangrijk voordeel van Set Partitioning is het feit dat de kosten van een rit vooraf exact vastgesteld kunnen worden, en gedurende het optimalisatieproces ongewijzigd blijven.

Meerdere voertuigen

Indien we verschillende voertuigen onderscheiden (hetgeen in het Pick-Up and Delivery-vervoer dikwijls het geval is) dan dient voor ieder voertuig een aparte set FT bepaald te worden (FT_v).

De formules 4, 5 en 6 kunnen nu vervangen worden door:

$$\sum_{v \epsilon V} \sum_{t \epsilon FT_v} a_{ot} * x_t = 1 \qquad o \epsilon O \qquad (4a)$$

$$\sum_{t \epsilon FT_v} x_t = 1 \qquad v \epsilon V \qquad (5a)$$

$$\text{Min} \sum_{v \epsilon V} \sum_{t \epsilon FT_t} c_t * x_t \qquad (6a)$$

Mogelijke combinaties van voertuig en produkt

Doordat per voertuig een set met mogelijke ritten wordt samengesteld, geeft het feit dat sommige produkten niet met bepaalde voertuigen vervoerd kunnen worden geen problemen meer in het optimalisatieproces. Ritten met deze produkten behoren immers niet tot de mogelijke ritten voor het betreffende voertuig en bevinden zich dus niet in de set FT_v.

Mogelijke combinaties van produkten

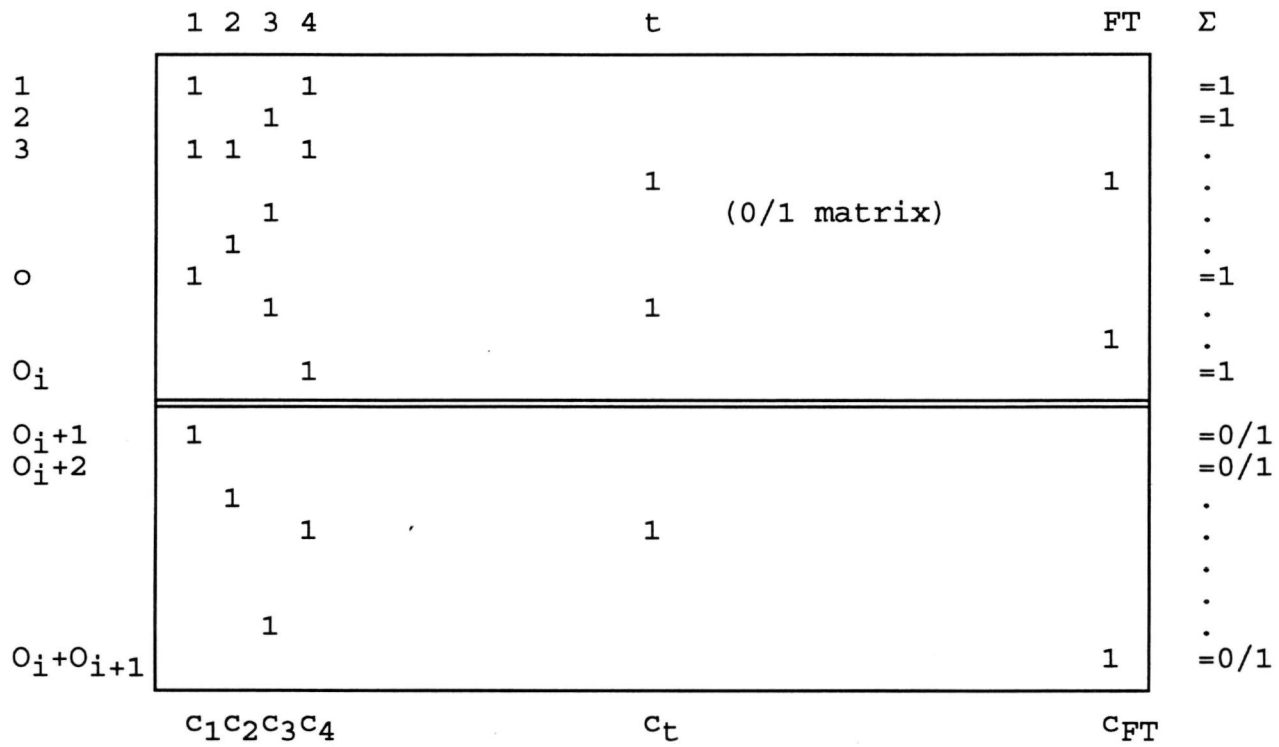
Ook combinaties van produkten die onmogelijk zijn, kunnen voordat het optimalisatie start uit de set met mogelijke lijnen verwijderd worden.

Spoelen

De kosten van spoelen kunnen vooraf bepaald worden en dienen verwerkt te worden in de kosten per rit (c_t).

Meerdaagse ritten

Het meerdaagse karakter van het Pick-Up and Delivery vervoer heeft twee belangrijke consequenties voor het planningsprobleem.
Ten eerste moet als startpunt van de planning niet uitgegaan worden van de standplaats van de voertuigen maar van het laatste losadres van de voorgaande dag. Omdat de set met mogelijke ritten per voertuig wordt opgesteld, geeft dit in principe geen problemen en leidt dit niet tot aanpassingen van het algoritme.
De problematiek van het open einde (aansluiting op orderpakket van volgende dag) kan in het algoritme verwerkt worden door het orderpakket van dag i uit te breiden met de orders voor dag $i+1$. Omdat deze orders op het moment van planning nog niet bekend zijn, zal hiervoor een verwachting bepaald moeten worden. Daarbij is in feite uitsluitend een verwachting van de laadopdrachten relevant. De verwachting van het aantal orders dat op de verschillende laadplaatsen geladen moet worden, kan bepaald worden op basis van historische ordergegevens. Toevoeging van de verwachting van de laadopdrachten leidt tot de volgende Set Partitioning matrix.

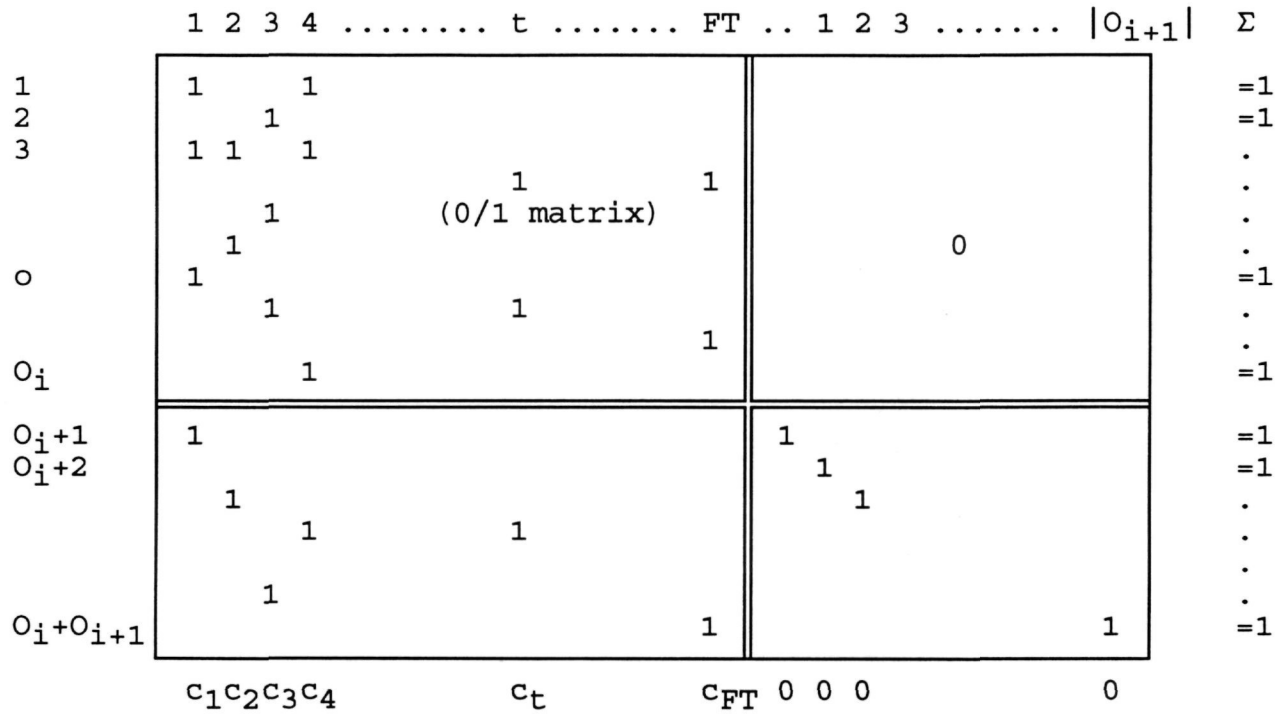


De voorwaarde dat iedere order precies éénmaal wordt gekozen, geldt uitsluitend voor de orders van dag i. Voor dag i+1 geldt dat een order maximaal éénmaal mag worden gekozen:

$$\sum_{v \epsilon V} \sum_{t \epsilon FT_v} a_{ot} * x_t = 1 \qquad o \epsilon O_i$$

$$\sum_{v \epsilon V} \sum_{t \epsilon FT_v} a_{ot} * x_t \leq 1 \qquad o \epsilon O_{i+1} \tag{4b}$$

Bovenstaande ongelijkheid voor $o \epsilon O_{i+1}$ kan ondervangen worden door $| O_{i+1} |$ extra dummy-ritten toe te voegen met kosten 0 welke ieder slechts 1 order uit O_{i+1} bedient.



Per mogelijke rit mag slechts 1 order van dag i+1 opgenomen zijn. Formule 4 wordt nu:

$$\sum_{v \epsilon V} \sum_{t \epsilon FT_v} a_{ot} * x_t = 1 \qquad o \epsilon O_i + O_{i+1} \qquad (4c)$$

Omdat op vrijdag de voertuigen in principe terugkeren naar hun standplaats, zal op vrijdag de oorspronkelijke matrix gehanteerd worden ($| O_{i+1} | = 0$).

Tijdvensters

Met tijdvensters kan op eenvoudige wijze rekening gehouden worden doordat elke mogelijke rit getoetst kan worden aan de tijdvensters.
Met de tijdsafhankelijkheid kan in beperkte mate rekening worden gehouden door voor iedere rit te bepalen op welk moment de rit moet starten om de kosten van de rit te minimaliseren. De verwerking van de tijdsafhankelijkheid geschiedt in de eerste fase en blijft verder dus buiten de optimalisatie.

Beslissing ondersteuning

Een zeer belangrijk voordeel van Set Partitioning is het feit dat deze methodiek zeer geschikt is voor toepassing binnen een beslissing ondersteunend systeem. De planner kan bijvoorbeeld zelf bepaalde ritten aan de set met mogelijke ritten toevoegen. Indien de planner zeker wil zijn dat bepaalde ritten geselecteerd worden kan hij deze vooraf vast zetten zodat deze ritten altijd in de oplossing terug komen. Het algoritme leent zich uitstekend om toegepast te worden in een interactief en iteratief planningsproces. Nadat het systeem een ritplan heeft geselecteerd, kan de planner bijvoorbeeld een deel van het ritplan vast zetten en vervolgens een nieuw ritplan uit laten rekenen waarin de vastgezette ritten opnieuw worden geselecteerd.

LITERATUURLIJST

Bodin L. (et al)
Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art
Computers & Operations Research, vol. 10, no. 2, 1983, pp. 63-211

Clarke, G. & Wright, J.
Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points
Operations Research, vol. 12, pp. 568-581, 1964

Duchessi P. (et al)
Artificial intelligence and the management science practitioner:
knowledge enhancements to a decision support system for vehicle routing
Interfaces, vol. 18, no. 2, 1988, pp. 85-93

Fleuren. H.A.
A Computational Study of the Set Partitioning Approach for Vehicle Routing and Sceduling Problems
Enschede, TU Twente, 1988

Groot J.
Decision Support Systemen voor het beroepsgoederenvervoer
Bijdragen Vervoerslogistieke werkdagen, deel 1, 1989

Hamerslag, H.
Dynamic Assignment in the Three-dimensional Timespace
Paper prepared for the joint USA-Italy seminar on transportation networks, Naples & Capri
Delft,1989

Pol H.D.P., Rooijen J.M. van
Basisnetwerk
Den Haag, ministerie van verkeer en waterstaat, dienst verkeerskunde, 1986

Powell, W.B.
An operational planningmodel for the dynamic vehicle allocation problem with uncertain demands
Transportation Research B, Vol 21B, pp. 217-232, 1987

Powell, W.B., Sheffi, Y., Thiriez, S.
The dynamic vehicle allocation problem with uncertain demands
Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, VNU Science Press, pp. 357-374, 1984

Striekwold M.E.A.
Routing en planning van voertuigen
Technische Hogeschool Twente, afdeling werktuigbouw, vakgroep produktieorganisatie, WB.84/PO/prod.242, 1984

Tillman & Cain
An upper bounding algorithm for the single and multiple terminal delivery problem
Management Science, vol. 18, pp. 664-682, 1972

Visser H., Scheltes W.H.
De praktijk van de voertuiginzetplanning
Bijdragen vervoerslogistieke werkdagen, deel 3, 1988

Weber R.
Vehicle-routing-and scheduling unter besonderer BerÜcksichtigung von Dial-a-ride-Problemen
MÜnchen, Hochschulschriften zur Betriebswirtschaftlehre, Bd.32, 1985

TU Delft

Verwijderd uit catalogus

TU Delft Library

933156