

De validatie en toepassing
van het parkeersimulatiemodel

C.J. Ruijgrok
M.F.A.M. van Maarseveen

IWIS-TNO
Postbus 297
2501 BD DEN HAAG

Delft, maart 1981
81 VK 27 02

Samenvatting

De validatie en toepassing van het parkeersimulatiemodel

In opdracht van het Projectbureau Integrale Verkeers- en Vervoerstudies van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is door het Instituut TNO voor Wiskunde, Informatieverwerking en Statistiek (IWIS-TNO) een parkeersimulatiemodel ontwikkeld. Doel van de modelstudie is een beter inzicht te verkrijgen in de effecten van maatregelen op het gebied van parkeervoorzieningen. Bij een gegeven en in sterke mate gedifferentieerde vraag naar en aanbod van parkeerplaatsen beschrijft het parkeersimulatiemodel de afwikkeling van het parkeerproces in binnensteden op basis van een bekend verondersteld parkeerplaatskeuzegedrag van de automobilist.

In dit paper worden de resultaten van de validatie van het parkeersimulatiemodel voor de parkeersituatie in Apeldoorn en de opzet van een validatiestudie op basis van Tilburgse gegevens besproken. Daarnaast resultaten en mogelijkheden van toepassingen van het parkeersimulatiemodel gepresenteerd

Summary

The Validation and Application of the Parking Simulation Model

The Institute TNO for Mathematics, Informationprocessing and Statistics has developed a parking simulationmodel under contract of the Project Bureau Integral Traffic and Transportation Studies. The objective of this study was to get a better insight in the effects of parking measures. Given a very differentiated demand for and supply of parking places, the simulationmodel describes the parkingproces in inner cities. Assumptions are made concerning the choice behaviour between alternative parking lots.

This paper describes the results of a validation of the parking simulationmodel in Apeldoorn and the design of extended validation using Tilburg data. Furthermore results of and possibilities for application of the parking model are presented.

<u>Inhoudsopgave</u>	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Waarom een parkeersimulatiemodel?</u>	1
2.1. Het parkeerbeleid en de functie van onderzoek daarbij	1
2.2. Essentiële punten van het parkeersimulatiemodel	4
3. <u>Opbouw van het parkeersimulatiemodel</u>	6
3.1. Veronderstellingen	6
3.2. De invoer van het parkeersimulatiemodel	7
3.3. De werking van het parkeersimulatiemodel	8
3.3.1. De generatie van auto's	
3.3.2. De parkeerplaatskeuze	
3.4. De uitvoer van het parkeersimulatiemodel	11
4. <u>De validatie van het model</u>	11
4.1. De validatiemogelijkheden	11
4.2. De validatie in Apeldoorn	13
4.3. De gevoeligheidsanalyses	15
4.4. Verdere validatiemogelijkheden	17
5. <u>De toepassing van het model</u>	18
5.1. De toepassingsmogelijkheden	18
5.2. De toepassing in Apeldoorn	19
5.3. Verdere toepassingsmogelijkheden	20
6. <u>Conclusies</u>	21
<u>Referenties</u>	22

1. Inleiding

Al enige tijd wordt door IWIS-TNO gewerkt aan en met een parkeersimulatiemodel voor het simuleren van het openbaar parkeren in binnensteden.

In dit paper wordt de aanleiding van deze activiteit beschreven, er wordt nader ingegaan op het hoe en waarom van het parkeersimulatiemodel en er wordt een overzicht gegeven van verrichtte en mogelijke toepassingen.

Door de beperkte plaatsruimte is de behandeling van elk van de onderdelen afzonderlijk nogal summier. De geïnteresseerde lezer wordt uitgenodigd kennis te nemen van enkele voorgaande publikaties die dieper op de materie ingaan.

Het onderzoek is gestart als uitvloeisel van het afstudeerwerk van J. Nijssen [1]. Op basis van de resultaten van dat onderzoek heeft het Projectbureau IVVS aan IWIS-TNO een opdracht gegeven voor verdere ontwikkeling van het parkeersimulatiemodel [2, 3]. Daarna is de toepasbaarheid bij een aantal gemeenten onderzocht en inmiddels is er één gerealiseerd [4]. Verder zijn door A. v.d. Enden, een stagiaire van de VAT, een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd die de inzichten in het model hebben vergroot [5].

2. Waarom een parkeersimulatiemodel?

2.1. Het parkeerbeleid en de functie van onderzoek daarbij

Door velen wordt een parkeerbeleid gezien als een belangrijk instrument voor een sturend verkeers- en vervoersbeleid in binnensteden. Een goed parkeerbeleid kan ertoe bijdragen, dat de leefbaarheid van een binnenstad verhoogd wordt door de overlast van het stedelijk verkeer en vervoer tot een minimum te beperken. Aan de andere kant mag het parkeerbeleid niet leiden tot een afname van de bereikbaarheid van de binnenstad. Een bijpassend openbaar vervoerbeleid is dan van belang.

Parkeermaatregelen dienen slechts dan getroffen te worden, indien er een goed overzicht bestaat van de relaties tussen het parkeergedrag

in een stad, de gebruikte vervoerswijze en het stedelijk grondgebruik. Hiertoe is een onderzoek naar omvang en aard van de parkeervraag en het benodigde aanbod noodzakelijk. De gebruikers van parkeerplaatsen onderscheiden zich van elkaar o.a. in tijdstip van aankomst en verblijftijd:

- Maatregelen die het aantal parkeerplaatsen doen verminderen zonder het gebruik van die parkeerplaatsen te reguleren zullen de maximale bezetting doen vervroegen, de zoektijd naar een parkeerplaats zal toenemen en met name de middagbezoekers van het centrum zullen daarvan de problemen ondervinden.
- Maatregelen gericht op vermindering van het langparkeren, zoals verblijftijdrestricties en parkeerheffingen zullen het aantal beschikbare plaatsen voor kortparkeerders doen toenemen. Er zijn minder lange zoektijden vereist voor het vinden van een parkeerplaats, maar de vroegere druk van langparkeerders zal naar ergens anders afgewenteld moeten worden. Er zullen meer auto's op privé terreinen op grotere loopafstand van het centrum worden geparkeerd of men zal op een andere vervoerswijze overstappen, cq. de rit in het geheel niet (naar het centrum) maken.

In het algemeen kan gesteld worden dat elke type verandering in het aanbod van parkeerplaatsen (zoals het aantal parkeerplaatsen, het tarief per plaats, de verblijftijdregeling en een belanghebbende regeling) specifieke effecten oproept en dat men bij het voeren van een beleid graag vooraf geïnformeerd wil worden over het verwachte effect van dergelijke maatregelen.

De effecten van een parkeerbeleid kunnen worden onderscheiden in [6]:

Primaire effecten

Primaire effecten zijn effecten binnen het parkeersysteem. Gedacht kan worden aan het zoeken van andere parkeerplaatsen, wijzigingen in het gedrag ten aanzien van fout parkeren, het accepteren van grotere loopafstanden of hogere parkeertarieven.

Secundaire effecten

Secundaire effecten hebben betrekking op het vervoersysteem. Genoemd kunnen worden wijzigingen in de keuze van bestemming, vervoerswijze, tijdstip van verplaatsing en het aantal verplaatsingen.

Tertiaire effecten

Tertiaire effecten strekken zich uit tot en met de ruimtelijke ordening, waarbij men moet denken aan zich wijzigende gebiedsfuncties, veranderingen in vervoerstelsels en eigenschappen van bevolkingsgroepen (bijvoorbeeld een afnemende aantrekkelijkheid van een gebied voor winkels of bedrijfsvestigingen, met als gevolg wegtrekkende bedrijven).

In het algemeen kan worden gesteld dat enige bekendheid met de primaire effecten vereist is voordat iets kan worden gezegd over secundaire effecten; hetzelfde geldt voor tertiaire effecten.

We hebben ons in eerste instantie dan ook bezig gehouden met een model dat een beeld geeft van de primaire effecten. Zo'n model gaat uit van een vast aantal aankomsten per auto in het te bestuderen gebied en dient de effecten op het parkeergedrag ten gevolge van een parkeerbeleid weer te geven. De invloed van het beleid op bestemmingsplaatskeuze en vervoerswijzekeuze blijft in dit stadium dus buiten beschouwing.

Een dergelijk model kan worden gebruikt bij strategische parkeerstudies die worden verricht bij het opstellen van gemeentelijke parkeerplannen. Hierbij worden vragen gesteld als:

Waar dient parkeerruimte voor lang- c.q. kortparkeerders te worden gesitueerd?

Kan de parkeerdruk op een bepaald gebiedje adquaat naar elders worden afgeleid?

Zijn de loopafstanden voor winkelende bezoekers nog acceptabel?

Een volgende fase is: welke invloed heeft een parkeerbeleid op de modal split en distributie? Bij het onderzoek naar deze zgn. secundaire effecten spelen de resultaten die zijn gevonden tijdens de bestudering van de primaire effecten een belangrijke rol. Zij geven nl. een indruk van de gemiddelde loopafstanden van bezoekers van een bepaald bestemmingsgebied, van de kosten en van de tijd die is gemoeid met het zoeken naar een parkeerplaats. Deze componenten vormen tezamen de parkeerweerstand van een bestemmingsgebied. Deze modelmatig vastgestelde parkeerweerstand kunnen worden ingevoerd in bestaande verkeers- en vervoermodellen waarmee een bijstelling van mo-

dal split en/of distributie ten gevolge van een parkeerbeleid wordt verkregen.

In paragraaf 4.3. wordt een voorbeeld gegeven van een dergelijke toepassing.

Deze werkwijze komt tegemoet aan een aantal beperkingen die inherent zijn aan gebruikelijke procedures (vaste terminal tijden, schaduw-prijzen). Van de bezwaren die aan de huidige modellen kleven kunnen een aantal worden genoemd:

- Het is in het algemeen niet duidelijk hoe de parkeerweerstand van een gebied moet worden vastgesteld.
- Het evenwicht tussen vraag naar en aanbod van parkeerruimte in een gebied wordt vaak gerealiseerd door de reisweerstand aan te passen. Een interpretatie van deze aanpassing van de weerstandsterm is moeilijk te geven. Bovendien wordt veronachtzaamd dat eindpunt van de autorit en plaats van bestemming niet in hetzelfde gebied behoeven te liggen.
- De gedifferentieerdheid van het parkeerplaatsareaal naar gebruikersgroep, verblijftijdregeling en tarief wordt verwaarloosd omdat slechts met gebiedsgemiddelden kan worden gewerkt.

2.2. Essentiële punten van het parkeersimulatiemodel

De gekozen aanpak van een simulatiemodel onderscheidt zich op een aantal punten van de traditionele aanpak. Deze punten komen voort uit een aantal vereisten die vooraf aan het model waren gesteld.

Deze zullen hieronder worden toegelicht:

De primaire effecten zijn behalve van het parkeerbeleid afhankelijk van het tijdstip van de dag. De vraag naar parkeerruimte fluctueert over de dag en daarmee de resulterende weerstandcomponenten zoektijd, kosten en looptijd. Het is daarom wenselijk dat het model de veranderingen van het parkeersysteem gedurende een dag kan weergeven; het model moet dynamisch zijn.

In stedelijke gebieden is het parkeerplaatsenareaal gedifferentieerd. Men treft gratis parkeerplaatsen aan naast plaatsen waarvoor moet worden betaald. De toegestane verblijftijden op parkeerplaatsen variëren evenals de aard van een parkeerruimte (langs de straat, terrein, garage). Een gemeentelijk parkeerbeleid zal naast het variëren

van het aantal parkeerplaatsen veelal bestaan uit het aanbrengen van veranderingen in deze parkeerplaatskenmerken. Het is dus van belang dat deze gegevens in voldoende mate gedetailleerd in het model kunnen worden opgenomen. Dit impliceert dat het werken met een gemiddelde parkeerweerstand voor een gebied waarbij de afzonderlijke parkeergelegenheden niet worden onderscheiden niet het verlangde inzicht in de werking van het parkeersysteem zal verschaffen. Het is belangrijk te weten hoe een parkeerweerstand voor een gebied tot stand komt; bijvoorbeeld door korte toegestane verblijftijden of door hoge tarieven, door hoge bezettingsgraden of lange looptijden of door enige combinatie van deze factoren. Het is tevens gewenst dat de in verkeers- en vervoerstudies gehanteerde gebiedsindeling niet verstorend werkt op de modelresultaten. Dit zou het geval kunnen zijn als auto's ten gevolge van de modelconstructie zouden zijn aangewezen op de parkeerplaatsen die zijn gelegen binnen hun bestemmingsgebied.

Verder zal onderscheid moeten worden gemaakt in verschillende ritmotieven. Automobilisten op weg naar hun werk zullen een ander parkeergedrag vertonen dan zij die gaan winkelen. Bovendien liggen voor de verschillende ritmotieven de tijdstippen van aankomst anders en zullen hun verblijftijden ongelijke verdelingen hebben.

In veel gevallen zal een parkeerbeleid gedifferentieerd zijn naar motief (het weren van langparkeeders uit het centrum, speciale voorzieningen voor bewoners, de bereikbaarheid van een winkelcentrum).

Naast bovengenoemd onderscheid in motieven zal het model rekening moeten houden met de wisselwerking tussen de motieven. Via de bezettingsgraad van parkeergelegenheden zal de parkeerweerstand voor een motief tevens worden beïnvloed door het aantal geparkeerde auto's van andere motieven. Dit impliceert dat alle motieven in één model zullen moeten worden behandeld.

De in de tijd wisselende toestanden waarin het systeem verkeert zijn het resultaat van het gedrag van een groot aantal individuen. De variatie in het individuele gedrag is bepalend voor de werking van het systeem.

Een deterministisch model, waarbij in een gegeven situatie een auto altijd aan een bepaalde parkeerplaats wordt toegewezen, doet geen recht aan het gedragsmatige karakter van het probleem.

Het is derhalve van belang dat het model de mogelijkheid biedt dat individuen die zich in een zelfde situatie bevinden verschillende keuzen maken.

Bovenstaande overwegingen hebben tot de conclusie geleid dat een simulatiemodel in feite het enige modeltype is dat aan alle gestelde eisen kan beantwoorden. Een bekend probleem bij simulatiemodellen is de validatie ervan. Hierop zal in onderdeel 4.1. nader worden ingegaan.

3. Opbouw van het parkeersimulatiemodel

3.1. Veronderstellingen

Het simulatiemodel heeft betrekking op een gebied (binnenstad) dat is verdeeld in kleinere deelgebieden (verkeersgebieden). Verondersteld wordt dat van deze verkeersgebieden per motief de verdeling van het aantal aankomsten van auto's over de dag afgeleid kan worden uit aanwezige rittenmatrices. Uitgaande van deze verdeling genereert het model op achtereenvolgende tijdstippen de aankomst van een auto. Een gegenereerde auto heeft een aantal kenmerken: bestemmingsgebied, herkomsttrichting, motief en voorgaande verblijfsduur. Op grond van deze kenmerken verdeelt het model de auto over de beschikbare en in aanmerking komende parkeergelegenheden. De verdeling geschiedt aan de hand van een in het simulatiemodel opgenomen parkeerplaatskeuzemodel. Wanneer blijkt dat de gekozen parkeergelegenheid nog ruimte vrij heeft, dan wordt de auto daar geplaatst en de bezetting van de parkeergelegenheid met één auto vermeerderd. Als de verblijfsduur van de auto is verstreken wordt de auto verwijderd en de bezettingsgraad aangepast. Het is echter mogelijk dat de gekozen parkeergelegenheid vol is. In dat geval wordt opnieuw een keuze gedaan en rijdt de auto van de aanvankelijk gekozen parkeergelegenheid naar de nieuwe keuze. De tijd die gemoeid is met het rijden tussen de parkeergelegenheden op zoek naar parkeerruimte wordt bijgehouden en geeft een indruk van de moeite die het gekost heeft ruimte te vinden. Een wezenlijk aspect van het model is de toewijzing van gegenereerde auto's aan parkeergelegenheden, waarvoor het genoemde parkeerplaatskeuzemodel wordt

gebruikt. Voor het draaien van het simulatiemodel is voor ieder bestemmingsgebied vastgelegd welke parkeerplaatsen in aanmerking komen voor bezoekers afkomstig uit een bepaald herkomstgebied. In principe zal een gegenereerde auto uit deze keuzeset een parkeergelegenheid kiezen. De keuze geschiedt door voor alle parkeergelegenheden van de keuzeset op basis van een waarderingfunctie de kans te berekenen om te worden gekozen. Op grond van de resulterende kansverdeling over de keuzeset wordt vervolgens een parkeerplaats getrokken. Deze werkwijze impliceert dat niet noodzakelijkerwijs de parkeergelegenheid met de grootste kans ook wordt gekozen en representeert de variatie in het keuzegedrag van parkeerders. Wanneer tijdens het toedelingsproces een aanzienlijk (van te voren opgegeven) aantal parkeergelegenheden uit de a priori vastgelegde keuzeset vol blijkt te zijn, dan wordt de betreffende keuzeset voor de gegenereerde auto op een systematische wijze uitgebreid met andere parkeergelegenheden.

3.2. De invoer van het parkeersimulatiemodel

Voor toepassing van het simulatiemodel in een stedelijk gebied dient men over een aantal gegevens te beschikken. Wat betreft de invoer worden twee soorten gegevens onderscheiden. Ten eerste een inventarisatie van het parkeerplaatsenareaal en ten tweede gegevens over de in de deelgebieden van het studiegebied aankomende auto's. De inventarisatie van parkeerruimte omvat per parkeergelegenheid de volgende gegevens: de capaciteit, het tarief, de toegestane verblijftijd, de looptijd naar bestemmingen, de rijtijden naar andere parkeergelegenheden en de aard (langs de straat, parkeerterrein, parkeergarage). Ten behoeve van de generatie van auto's in bestemmingsgebieden dient men te beschikken over rittenmatrices.

De simulatieperiode is verdeeld in deelperioden om de variatie van het aantal aankomsten in de tijd weer te geven. Voor iedere deelperiode wordt per motief een rittenmatrix ingevoerd, die per cel het aantal auto's op een herkomst-bestemmingsrelatie bevat. Daarnaast wordt per motief een verdeling van de verblijftijd ingevoerd. Op grond van deze verdelingen wordt tijdens de simulatie voor iedere auto een verblijftijd getrokken die de parkeerplaatskeuze beïnvloedt en het moment van weggrijden van de parkeerplaatsgroep vastlegt.

Het aantal auto's dat in het studiegebied reeds aanwezig is aan het begin van de simulatieperiode dient bekend te zijn. In het simulatiemodel worden deze auto's in de minuut voorafgaande aan de simulatieperiode verdeeld over de parkeergelegenheden en aldus wordt een startbezettingsgraad verkregen. De verdeling vindt plaats op dezelfde wijze als dat gebeurt voor de tijdens de simulatieperiode gegenereerde auto's. Op basis van een voor de bij aanvang aanwezige auto's ingevoerde verblijftijdverdeling rijden de auto's in de loop van het simulatieproces weg. In principe worden deze auto's behandeld als behorende bij een extra motief.

Voor iedere bestemming wordt een verzameling parkeergelegenheden gedefinieerd waaruit bezoekers met deze bestemming gegeven een herkomstrichting kunnen kiezen: de keuzeset. Afhankelijk van de voorgenomen verblijfsduur van een gegenereerde auto wordt deze keuzeset aangepast. Het is evenwel mogelijk dat in de keuzeset van een automobilist parkeergelegenheden worden opgenomen met een verblijfsduurbepending, die te krap is in vergelijking tot de voorgenomen verblijftijd. In werkelijkheid wordt een maximaal toegestane verblijfsduur bij een parkeermeter ook dikwijls overschreden. Door een "overschrijdingsmarge" van de toegestane verblijftijd in te voeren kunnen we ook dit gedrag nabootsen.

3.3. De werking van het parkeersimulatiemodel

3.3.1. De generatie van auto's

Het generatieproces van auto's wordt gekenschetst door een serie trekkingen uitgevoerd met behulp van randomgeneratoren. Achtereenvolgens worden op basis van de ingevoerde gegevens aankomsttijdstippen, herkomsten, motieven en verblijftijden getrokken.

Met behulp van de per deelperiode ingelezen rittenmatrices wordt het totaal aantal aankomsten in een bestemmingsgebied gedurende de deelperiode berekend (gesommeerd over herkomsten en motieven). Het resultaat van deze berekening bepaalt om de hoeveel tijd gemiddeld een auto moet worden gegenereerd. Uit een uniforme verdeling met verwachtingswaarde gelijk aan de zojuist genoemde tijdsduur wordt vervolgens een waarde getrokken die de tijdsduur aangeeft tussen de ge-

neratie van twee opeenvolgende auto's met het betreffende bestemmingsgebied.

Uitgaande van de rittenmatrices wordt voor de deelperiode per bestemming een cumulatieve verdeling over de herkomsten en per herkomst-bestemmingsrelatie een cumulatieve verdeling over de motieven gevormd. Deze cumulatieve verdelingen worden opgevat als voorwaardelijke kansverdelingen waaruit voor iedere gegenereerde auto gegeven de bestemming een herkomst en gegeven de bestemming en de herkomst een motief getrokken kan worden. Per motief wordt tenslotte een verblijftijd getrokken uit een voor ieder motief verblijftijdverdeling.

Uit de beschrijving van de generatie van auto's blijkt reeds het principe van de simulatietechniek. Uit de invoergegevens worden binnen het programma steeds tijdstippen berekend waarop een bepaalde procedure wordt geactiveerd. Behalve de berekening van het ogenblik waarop een auto wordt gegenereerd, wordt op soortgelijke wijze bepaald wanneer een auto aankomt bij een parkeerplaats van tweede of volgende keuze als een eerder gekozen parkeerterrein vol bleek te zijn en wanneer de procedure die het wegrijden van een auto van een parkeerplaats en het aanpassen van de bezettingsgraad, in werking wordt gezet. Een dergelijke werkwijze kan het gemakkelijkst gerealiseerd worden met een daartoe opgezette simulatietaal: SIMULA.

3.3.2. De parkeerplaatskeuze

Een parkeerplaats voor een gegenereerde auto wordt gekozen uit de parkeergelegenheden die daarvoor in aanmerking komen (de keuzeset). De keuzeset wordt bepaald door achtereenvolgens bestemmingsgebied, herkomstrichting en voorgenomen verblijftijd. Gegeven de keuzeset wordt voor iedere automobilist de kans berekend waarmee een parkeergelegenheid uit de keuzeset wordt gekozen. De kansberekening vindt plaats met behulp van een logitfunctie:

$$P_{a,p} = \frac{\exp(U_{a,p})}{\sum_{k \in K_a} \exp(U_{a,k})}, \quad p \in K_a$$

waarin:

$P_{a,p}$ = de kans dat auto a parkeergelegenheid p kiest

$U_{a,p}$ = de waarde van de waarderingfunctie van parkeergelegenheid p voor auto a

K_a = de keuzeset van parkeergelegenheden voor auto a.

De waarderingfunctie meet de aantrekkelijkheid van een parkeergelegenheid voor een arriverende auto. Indien uit meerdere parkeergelegenheden kan worden gekozen, zal een afweging plaats vinden: naarmate een parkeergelegenheid aantrekkelijker is, heeft de waarderingfunctie en daarmee de kans om gekozen te worden een hogere waarde. De waarderingfunctie is afgestemd op een onderzoek van Van der Goot [7] naar het parkeerplaatskeuzegedrag in de Haarlemse binnenstad. In het simulatiemodel hangt deze functie af van de volgende variabelen: looptijd van parkeerplaatsgroep naar bestemming, tarief, voorgenomen respectievelijk toegestane verblijfsduur, zoektijd van eerder gekozen, volle parkeergelegenheid naar een volgende parkeergelegenheid, en bezettingsgraad van de parkeerplaatsgroep. De mate waarin deze variabelen de waardering voor een bepaalde parkeergelegenheid beïnvloeden, dient op basis van beschikbare parkeerplaatskeuzegegevens van te voren te worden bepaald met behulp van parameterschattings technieken. Met behulp van de door het parkeerplaatskeuzemodel voor alle parkeergelegenheden van de keuzeset berekende kansen, wordt door randomtrekking een parkeerplaatsgroep geselecteerd.

Blijkt de gekozen parkeerplaatsgroep bij aankomst van de auto geheel bezet te zijn, dan wordt de gehele procedure opnieuw in gang gezet na verwijdering van de volle parkeergelegenheid uit de keuzeset. Mocht in situaties met een locale hoge parkeerdruk een keuzeset dreigen uitgeput te raken dan kunnen ofwel eerder verwijderde parkeergelegenheden weer in ogenschouw worden genomen ofwel verder weg gelegen parkeerplaatsgroepen op systematische wijze aan de keuzeset worden toegevoegd. Wanneer een automobilist langer dan een van te voren opgegeven tijdsduur moet zoeken naar een plaats, dan wordt de betreffende auto uit de simulatie genomen onder de aanduiding "dolzoeker".

3.4. De uitvoer van het parkeersimulatiemodel

De uitvoer van het parkeersimulatiemodel bevat tal van gegevens over de parkeersituatie in de loop van de simulatieperiode. Met name noemen we:

- voor iedere parkeergelegenheid een grafiek van de bezettingsgraad zoals die zich ontwikkelt tijdens de simulatieperiode (per motief en gesommeerd over de motieven)
- per parkeergelegenheid per motief en gesommeerd over de motieven de volgende gegevens: capaciteit, aantal auto's, inkomsten in gulden, de gemiddelde kosten voor een parkeerder, de gemiddelde looptijd, zoektijd en verblijftijd
- per parkeergelegenheid de verdeling over de bestemmingen van de geparkeerde auto's
- per bestemmingsgebied de parkeerweerstand opgebouwd uit looptijd, zoektijd en kosten.

Daarnaast omvat de computeruitvoer van een simulatie onder meer de volgende gegevens:

- overzicht van de invoergegevens
- de gegenereerde rittenmatrices per motief per deelperiode
- per parkeergelegenheid en per bestemmingsgebied een verdeling naar de verblijftijden van de geparkeerde auto's, per motief en gesommeerd over de motieven
- per bestemmingsgebied (per motief en gesommeerd over de motieven) het aantal auto's dat geen parkeergelegenheid heeft kunnen vinden (dolzoekers)
- gegevens per bestemmingsgebied kunnen tevens per herkomstgebied worden uitgevoerd.

De meeste uitvoer is optioneel.

4. Validatie van het model

4.1. De validatiemogelijkheden

Zoals we hierboven hebben beschreven is het parkeersimulatiemodel een groot aantal gedragsveronderstellingen en exogene invoergegevens.

Een aantal van deze gegevens kan eenvoudig verzameld worden door middel van inventarisatie en enquêtes. Andere gegevens en veronderstellingen zoals ten aanzien van het parkeerplaatskeuzegedrag, het zoekgedrag en dergelijke kunnen afzonderlijk slechts worden getoetst met een gedetailleerd parkeeronderzoek. Als alternatief voor een dergelijke toetsing van elk van de modelonderdelen kunnen de uiteindelijke modelresultaten getoetst worden aan globale toetsingskarakteristieken zoals bezettingsgraadmetingen en parkeeropbrengsten bij meters. Deze toetsgrootheden zijn globaal van aard, hetgeen inhoudt dat:

- systematische afwijkingen van het model kunnen worden gesignaleerd maar niet gemakkelijk toegewezen aan onderdelen van het model
- een schijnbaar goed modelresultaat kan ontstaan doordat foute onderdelen elkaar compenseren

Bij de ontwikkeling van het parkeersimulatiemodel zijn we er vanuit gegaan dat het in eerste instantie belangrijk was te tonen dat het mogelijk was volgens de geschetste methode de uitkomst van het parkeersysteem, i.c. het verloop van de bezettingsgraad op onderscheiden parkeerplaatsen goed weer te geven. Een ander belangrijk streven was het construeren van een model dat in staat is de effecten van veranderingen in het aanbod en de karakteristieken van het aanbod goed weer te geven. Als beide pogingen succesvolle resultaten afwerpen dan kan met een grotere kans op succes elk van de samenstellende onderdelen van het model, middels gedetailleerde gegevensverzamelingen worden getest en eventueel verbeterd. Daarbij is een van de moeilijkst te testen onderdelen het simuleren van het zoekgedrag. In het model worden veronderstellingen gemaakt over de parkeerplaatsen die in ogenschouw worden genomen, de informatie die van die betreffende parkeerplaatsen bekend is en het zoekgedrag wanneer parkeerplaats(en) vol blijken te zijn die de voorkeur genieten op grond van de uitkomst van het parkeerplaatskeuzemodel. De gegevensverzameling die noodzakelijk is voor het toetsen van de realiteitswaarde van elk van deze veronderstellingen vergt een zeer gedetailleerd onderzoeksmethode betreffende het zoekgedrag van individuele automobilisten. Vooralsnog stellen we ons tevreden met de eerste twee doelstellingen zoals boven omschreven en daartoe hebben we het parkeersimulatiemodel geijkt op de Apeldoornse situatie en op basis daarvan gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Verder zal een validatie van het

model plaatsvinden op basis van Tilburgse gegevens en de opzet van dit onderzoek zal eveneens worden aangegeven. De resultaten zullen in de navolgende paragrafen worden beschreven.

4.2. De validatie in Apeldoorn

Als uitvloeisel van het Algemene Verkeers- en Vervoersonderzoek Apeldoorn [8, 9] beschikten we over gegevens betreffende de vraag naar parkeerplaatsen van auto's in de binnenstad van Apeldoorn, mei 1976. Op basis hiervan zijn voor vier motieven rittenmatrices afgeleid

- a. motief 1: woon-werk ('s ochtends)
- b. motief 2: woon-werk ('s middags)
- c. motief 3: woon-voorzieningen
- d. motief 4: woon-overig + overig-overig (niet aan de woning gebonden).

Deze rittenmatrices zijn verder verdeeld in vier herkomstgebieden (de toegangspoorten van de binnenstad) en acht bestemmingszones.

Het centrum van Apeldoorn is opgedeeld in 41 parkeerplaatsgroepen; dit zijn parkeerplaatsen die qua karakteristieken overeenstemmen en dicht bij elkaar liggen zodat ze door de parkeerder als een homogeen uitwisselbaar stel parkeerplaatsen kunnen worden beschouwd.

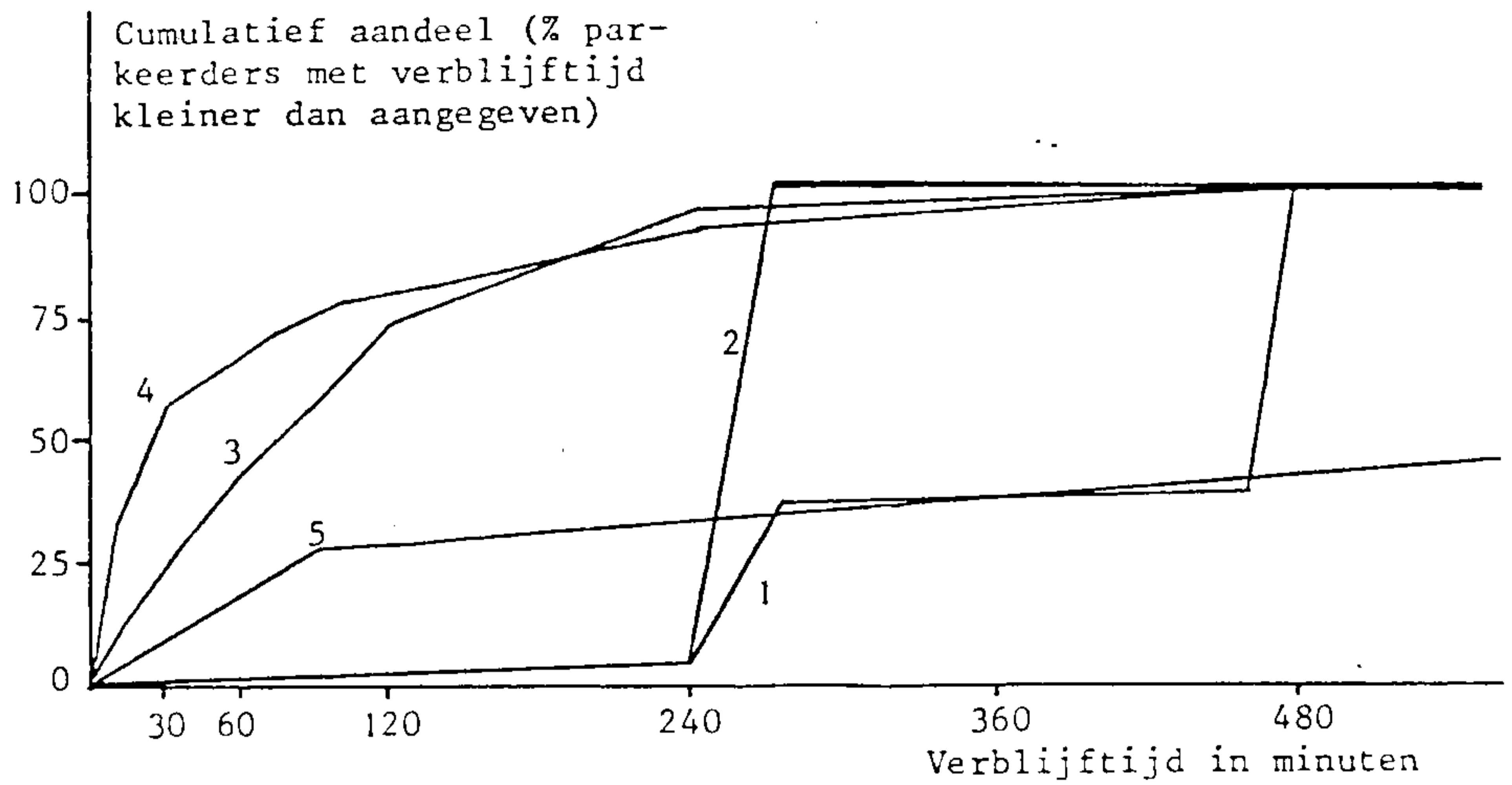
De startbezetting aan het begin van de simulatieperiode (7 uur 's morgens) is als vijfde motief toegevoegd. In figuur 1 zijn de veronderstelde cumulatieve aandelen van de maximale verblijftijd per motief weergegeven.

In tabel 1 zijn de uitkomsten van het simulatiemodel vergeleken met die van geregistreeerde parkeerplaatsbezetting 1978.

Volgens de metingen zijn er meer plaatsen die een hoger bezettingsgraadpercentage opleveren dan omgekeerd. Behalve de toename van het autoverkeer in de periode 76-78 kan daar ook de structurele onderschatting van een rittenmatrix gebaseerd op een huisenquête onder inwoners debet aan zijn (geen ritten van niet ingezetenen en geen beroepshalve verplaatsingen).

In een aantal gevallen worden betaalde parkeerplaatsen door het model sterk onderschat (aangegeven met een *). Dit zou er ook op kunnen wijzen dat de tariefstelling van deze parkeerplaatsen, m.n. voor het motief woon-voorzieningen en woon-overig met korte verblijftijden en

Figuur 1: De verblijfsduurverdeling per motief (1, 2, 3, 4 en 5)



Tabel 1. Vergelijkingsmodel met bezettingsgraadmetingen

Parkeergebieden met bezettingsgraad volgens model

Volgens meting	0- 20%	20- 40%	40- 60%	60- 80%	80-100%	
0- 20%	1					1
20- 40%		3				3
40- 60%	2*		2	1	1	6
60- 80%		2	1	6		9
80-100%		1			20	20
Totaal	3	6	3	7	21	40

onaantrekkelijke alternatieven, minder negatief worden ervaren als in het model wordt verondersteld.

Desalniettemin stemt de in het model berekende opbrengst bij parkeermeters (f 2426,- per werkdag) redelijk overeen met de werkelijke gemiddelde werkdagopbrengst van f 2200,-.

4.3. De gevoeligheidsanalyses

Op basis van de boven geschreven resultaten zijn een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd door een stagiaire van de VAT [5]. Hij heeft uitgaande van een enigszins vereenvoudigde weergave van de in paragraaf 4.2. beschreven parkeersituatie in Apeldoorn de effecten van variaties onderzocht van:

- het totaal parkeeraanbod
- het tarief
- de verblijfsduurbeperving.

De onderzochte kenmerken van het parkeersysteem betreffen:

- de zoektijd naar een parkeerplaats
- het gebruik dat van een parkeerplaats gemaakt wordt
- de looptijd van parkeerplaats naar bestemming
- de opbrengst aan parkeergelden.

In tabel 2 en 3 is het geconstateerde effect van elk van de variaties in karakteristieken van het parkeeraanbod op de onderzochte kenmerken weergegeven. Alle effecten van het parkeersimulatiemodel zijn overeenkomstig de uit technisch oogpunt verwachte effecten, onderscheiden naar kort- en langparkeerders.

Tabel 2: Effect van wijziging in aanbodskenmerken op enkele uitkomsten van de simulatie voor langparkeerders

Effect van Effect op	Toename aantal parkeer- plaatsen	Toename tarief	Meer restrictieve verblijfstijdbe- perving
Zoektijd	*	*	*
Gebruik	+	--	--
Looptijd	-	++	++
Opbrengst	*	-	*

Tabel 3: Effect van wijziging in aanbodskenmerken op enkele uitkomsten van de simulatie voor kortparkeerders

Effect van	Toename aantal parkeerplaatsen	Toename .. tarief	Meer restrictieve verblijfstijdbe- perking
Effect op			
Zoektijd	-	+	o
Gebruik	++	-	o
Looptijd	--	+	o
Opbrengst	*	+	*

Betekenis symbolen: o : nauwelijks effect c.q. wisselend effect
 * : niet onderzocht
 - : negatief
 -- : sterker negatief dan andere categorie (kort/lang)
 + : positief
 ++ : sterker positief dan andere categorie

In de basissituatie met een groot aantal vrije parkeerplaatsen zonder verblijfsduurbeperving zijn langparkeerders (werkers) het beste af en de grootste problemen doen zich voor bij de kortparkeerders later op de dag. Bij vergroting van het aantal parkeerplaatsen doen zich de effecten het meest bij de kortparkeerders gelden.

Het omgekeerde geldt voor een verhoging van het tarief op een gedeelte van het parkeerplaatsenbestand. Werkers hebben een grotere geneigdheid uit te wijken naar vrije parkeerplaatsen en extra looptijd voor lief te nemen op zodanige wijze dat zelfs de opbrengst van betaalde parkeerplaatsen af neemt. Dit laatste geldt natuurlijk alleen in de situatie waarin een zekere mate van keuzevrijheid aanwezig is. Een soortgelijke redenering geldt voor de beperking van de verblijfstijd. Langparkeerders zullen de bewuste parkeerplaatsen mijden en bij de kortparkeerders is het afhankelijk van de mate van verblijfsduurbeperving of ze wel of niet voordeel ondervinden.

4.4. Verdere validatiemogelijkheden

Nog dit jaar zal een verdere validatie van het simulatiemodel plaats vinden op basis van gegevens van het voor- en naonderzoek Tilburg. In deze plaats zijn in 1979 alle openbare parkeerplaatsen in het centrum onder een betalingsregeling gekomen. Er komen parkeermeters en automaten voor, met verschillende tarieven en toegestane verblijftijden. Met name voor bewoners is er een belanghebbendenregeling ingevoerd waarbij deze een vast bedrag per maand betalen voor het recht op een gereserveerde parkeerplaats.

Werkers hebben de keus te parkeren op een privé terrein van het bedrijf, te betalen bij parkeerautomaten met een voldoende grote maximale verblijfsduur (f 0,25 per uur), of buiten het centrum te parkeren. Natuurlijk bestaat ook de mogelijkheid illegaal te parkeren (parkeerverboden overtreden, niet-betalen, op belanghebbende plaatsen gaan staan, maximale verblijftijd overschrijden) en het overgaan op een andere vervoerswijze, samen rijden of van werklokatie te wijzigen. De effecten van maatregelen op het parkeergedrag van zowel werkers als bezoekers door DHV middels enquêtes bij betrokkenen onderzocht. Op basis van deze gegevens kunnen een aantal onderdelen van het parkeersimulatiemodel beter worden getoetst:

- De verdeling van de gekozen parkeerplaatsen per bestemming is met grotere nauwkeurigheid bekend dan in Apeldoorn.
- Op basis hiervan kunnen de parameters van het parkeerplaatskeuzemodel worden bijgesteld.
- De primaire effecten van de veranderde parkeerregeling op de verdeling over verschillende soorten betaalde parkeerplaatsen kan worden getoetst.
- Het toetsingsmateriaal dat in Tilburg voor handen is, is veel gedetailleerder dan het Apeldoornse materiaal.
- Ook de beschrijving van de noodzakelijke invoergegevens kan nauwkeuriger geschieden dan het geval was in de gemeente Apeldoorn.

5. De toepassing van het model

5.1. De toepassingsmogelijkheden

Het model is met name geschikt voor het aangeven van verdelingseffecten van wijzigingen in het parkeeraanbod en de parkeervraag. Te denken is aan:

- Een wijziging in het aantal parkeerplaatsen (bijv. de aanleg van parkeergarages).
- De tariefstructuur.
- De verblijftijdregeling.
- Het openstellen van nieuwe winkelcentra.
- Het reserveren van parkeerplaatsen voor carpoolers.

Een moeilijkheid bij het parkeersimulatiemodel is het verwerken van het onttrekken van een gedeelte van de parkeerplaatsen aan het openbaar parkeerplaatsenbestand. Te denken is aan belanghebbenden regelingen en het parkeren op privé terrein. Hierbij is sprake van een persoonsbinding aan een bepaalde parkeerplaats. Deze verbinding maakt het juist de betrokken parkeerplaatsen op eenzelfde manier te behandelen als openbare parkeerplaatsen. Dit betekent dat uit de totale vraag naar parkeerplaatsen dat gedeelte moet worden verwijderd dat geen gebruik maakt van openbare parkeergelegenheden. Soms is niet duidelijk wat het effect van parkeermaatregelen op het gebruik van niet openbare parkeergelegenheden zal zijn en dit is een complicerende factor. Zo was in de beschreven situatie in Tilburg (paragraaf 4.4.) vooraf niet duidelijk:

- welk gedeelte van de bewoners een belanghebbenden abonnement zou nemen,
- welk gedeelte van de werkers terecht kon op privé terreinen bij bedrijven (in feite bleek na invoering van de maatregel juist het gebruik van deze terreinen veel intensiever te zijn dan voorheen),
- welk illegaal plaatsgebruik zou worden gegenereerd anders dan het niet volgens de regels gebruiken van legale plaatsen (op de stoep parkeren e.d.).

In de beschrijving van gerealiseerde situaties zal elk van deze categorieën apart moeten worden geanalyseerd en de totale vraag naar parkeergelegenheid zal met de hiermee gemoeide aantallen geparkeerde auto's moeten worden gereduceerd. In een studie gericht op het

aangeven van effecten van maatregelen zullen expliciete veronderstellingen over aard en omvang van deze parkeervraag moeten worden gemaakt.

5.2. De toepassing van het parkeersimulatiemodel in Apeldoorn

In de gemeente Apeldoorn wordt een beleid gevoerd gericht op een vermindering van de binnenstad, ertoe leidend dat enerzijds braakliggend terrein onttrokken wordt aan het parkeerplaats bestand en anderzijds, door een toename van bewoners, autobezit, arbeidsplaatsen en vloeroppervlak de vraag naar parkeerruimte is toegenomen en in de komende jaren nog fors zal toenemen.

Om deze vraag op te vangen wordt aan de bouw van een aantal parkeergarages gedacht. De ideeën hiervoor zijn uitgewerkt in een gemeentelijke parkeernota, getiteld: 'Parkeergarages in Apeldoorn, een haalbare kaart'. Bij de vaststelling van deze nota in de raad is een motie aangenomen om voor het nemen van een beslissing tot bouwen te bezien wat de consequentie zou zijn van het verlagen van de parkeernormen waarop de nota was gebaseerd (1 parkeerplaats op 4 arbeidsplaatsen en 1 parkeerplaats per 58 m² vloeroppervlak). Met name op het onderdeel bezoekers-parkeren leek het parkeersimulatiemodel, dat gedeeltelijk door toevallige omstandigheden zover was ontwikkeld als in paragraaf 4.2. en 4.3. is beschreven een antwoord te kunnen geven op de vraag of het te bieden aantal parkeerplaatsen op de te verwachten vraag was afgestemd.

De te verwachten vraag (voor 1990) was afgeleid uit het voor de gemeente Apeldoorn ontwikkelde verkeers- en vervoersmodel [8, 9], zonder rekening te houden met parkeerrestricties in de binnenstad. Vervolgens zijn deze berekende autoverplaatsingen van bezoekers aan de binnenstad 'losgelaten' op de beschikbare openbare parkeerplaatsen. Hierbij zijn veronderstellingen gemaakt over het gedeelte van de werkers dat in de binnenstad van Apeldoorn beslag legt op het openbare parkeerplaatsen bestand. Er zijn twee varianten gedraaid, één waarbij het parkeeraanbod was vastgesteld op bovengenoemde norm en één waarbij uitgegaan werd van een 25% verlaging van de parkeernorm (2 parkeergarages minder). Het resultaat was dat gedurende een normale werkdag bij de zgn. '100%-variant' er nog juist voldoende

capaciteit was om alle verwachte bezoekers aan de binnenstad te kunnen opvangen, terwijl bij de '75%-variant', op een normale werkdag, gemiddeld 160 automobilisten geen plaats zouden kunnen vinden binnen de gestelde termijn (30 minuten zoeken). In de periode tot half 12 's ochtends (het piekmoment) zou de zoektijd uitgaande van de 100%-variant 50% toenemen en ook de gemiddelde looptijd van parkeerplaats naar bestemming zou toenemen van 7 naar 8.5 minuten (\pm 100 meter). Op basis van de toename in loop- en zoektijd zou met behulp van het verkeersmodel worden uitgerekend welke verandering in parkeervraag nodig zou zijn om de genoemde 160 bezoekers niet in de binnenstad te laten aankomen. Hiertoe was nodig dat het totaal aantal auto's naar de binnenstad (17300) afname met 680, 500 zouden uitwijken naar andere bestemmingen, 190 automobilisten zouden gebruik maken van een andere vervoerwijze (voornamelijk fiets). De voorspelde modal split van de auto voor bezoekers van de binnenstad zou moeten dalen van 29,1% naar 25,9%. Ondermeer op basis van deze onderzoeksresultaten heeft de gemeenteraad van Apeldoorn besloten voorlopig onvoldoende grond te zien voor een verlaging van de parkeernorm. Bij deze toepassing van het parkeersimulatiemodel in Apeldoorn moeten een aantal kanttekeningen worden gemaakt:

- het parkeersimulatiemodel is in eerste instantie geschikt voor het aangegeven van korte termijn, primaire effecten
- het valideren van het model was op het moment van deze toepassing nog niet afgerond, zodat de resultaten meer indicatief dan absoluut geïnterpreteerd konden worden.

5.3. Verdere toepassingsmogelijkheden

Toepassingsmogelijkheden van het model doen zich voor daar waar zich problemen voordoen bij het openbaar parkeren in binnensteden en de effecten van parkeermaatregelen dienen te worden onderzocht.

Een voorwaarde voor het kunnen toepassen van het model is het beschikken over de vereiste invoer. Voor korte termijn toepassingen gericht op het aangeven van primaire effecten, dat wil zeggen waarbij de totale vraag naar parkeerruimte ongewijzigd blijft, is een eenvoudig parkeermotief onderzoek en een inventarisatie van het parkeerplaats-

bestand toereikend voor het verzamelen van de vereiste informatie. Naarmate minder informatie beschikbaar is zal in grotere mate beroep moeten worden gedaan op aanvullende veronderstellingen zoals de overzetbaarheid van beschikbare invoergegevens en gevalideerde modelonderdelen met andere steden.

6. Conclusies

1. Met behulp van het parkeersimulatiemodel kunnen een aantal, met name primaire, effecten van parkeermaatregelen worden berekend.
2. Hiermee is een belangrijk voordeel bereikt ten opzichte van bestaande onderzoekstechnieken.
3. De validatie van het model is op een grof niveau bevredigend verlopen en toekomstig onderzoek zal de validatiemogelijkheden verfijnen.
4. Het model kan bij een aantal aan de orde zijnde parkeerproblemen in binnensteden op relatief eenvoudige wijze interessante uitkomsten bieden die bij de te nemen beslissingen relevant kunnen zijn.

Referenties

- [1] J. Nijssen, 'Een evenwichtsmodel en parkeren in de binnenstad', IWIS-TNO, rapport A 78 VK 1201, (1978).
- [2] IWIS-TNO, 'Een simulatiemodel van het parkeersysteem', studie verricht in opdracht van het Projectbureau IVVS, rapport C 79 VK 4608, (1979).
- [3] H.E.R. Meijer, 'Parkeren gesimuleerd', paper gepresenteerd op het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 1979, in: F. le Clercq et al, 'Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk -1979- Vervoerstudies, -modellen en methoden', (1979).
- [4] IWIS-TNO, 'Parkeersimulatiestudie Apeldoorn' studie uitgevoerd in opdracht van de Dienst der Gemeentewerken Apeldoorn, rapport C 80 VK 8008, (1980).
- [5] A. van den Enden, 'Het parkeersimulatiemodel - een toepassing en een gevoeligheidsanalyse', stageverslag van de Verkeersacademie Tilburg, (1980).
- [6] DHV, 'Systeemanalyse Parkeren', werkgroep parkeren, Dossier 1-2562-05-04, (1978).
- [7] D. van der Goot, 'De gekozen parkeerplaats modelmatig verklaard', Verkeerskunde 1978, nr. 6.
- [8] P.G. van Essen en C.J. Ruijgrok, 'Algemeen Verkeers- en Vervoersonderzoek Apeldoorn' (twee delen), rapporten C 78 VK 2204 en C 79 VK 0901, (1978, 1979).
- [9] C.J. Ruijgrok, P.G. van Essen en C. van der Eems, 'The Apeldoorn Transportation Study', paper gepresenteerd op het CVS 1979, verschenen in F. le Clercq et al (red.), 'Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk -1979- Vervoerstudies, -modellen en methoden', (1979).