

Telematica en Informatietechnologie in het Verkeer

Michiel M. Minderhoud & Piet H.L. Bovy
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Verkeerskunde, Postbus 5048, 2600 GA Delft

Paper voor CVS 1996, 28 en 29 november te Rotterdam

Delft, 13 augustus 1996

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting/summary

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Inleiding | 1 |
| 2. | Hoe werkt Telematica en Informatietechnologie in het verkeer en vervoer? | 2 |
| 2.1 | De primaire processen in verkeer en vervoer | 2 |
| 2.2 | Het ondersteunen van de secundaire processen | 6 |
| 2.3 | Toepassingsvelden Telematica & IT in verkeer en vervoer | 8 |
| 2.4 | Basisfuncties Telematica & IT | 11 |
| 3. | Wat valt er te bereiken met Telematica & IT in verkeer en vervoer | 12 |
| 3.1 | Voorbeelden van Telematica & IT en hun gevolgen | 12 |
| 3.2 | De baten van T&IT in verkeer en vervoer | 16 |
| | Referenties | 17 |

Samenvatting

Telematica en informatietechnologie in het verkeer

Het verstrekken van toegespitste informatie aan de juiste personen op het juiste tijdstip is een vrij nieuw instrument dat binnen het terrein van de verkeers- en vervoerwereld steeds vaker wordt aangewend om bestaande verkeers- en vervoerproblemen aan te pakken. Dit instrument kunnen we met de term telematica en informatietechnologie omschrijven. Deze paper probeert op een overzichtelijke wijze het functioneren van T&IT in het algemeen en T&IT in het verkeer in het bijzonder, weer te geven. Met voorbeelden wordt het geschetste theoretische kader waarin T&IT kan worden geplaatst nader toegelicht. Er kan worden geconcludeerd dat met T&IT in het verkeer veel positieve effecten haalbaar zijn. Allereerst lijkt een betere benutting van de infrastructuur in termen van ruimtebeslag mogelijk. Verder kan het voertuigpark efficiënter worden ingezet. En tevens kan de kwaliteit van het vervoer worden verhoogd, wat een comfort verbetering betekent.

Summary

Telematics and information technology in transports

The accurate supply of appropriate information towards the right people can be seen as a new means for solving actual traffic and transportation problems. We may use the terms 'Telematics and Information Technology' for this modern information supply. The paper deals with the functioning of T&IT applications in general, and T&IT applications in transports in special. To illustrate the presented framework, some state-of-the-art examples are shown. It can be concluded T&IT applications in transports may result in several positive effects, such as an increased utilization of infrastructure space, a more efficient use of the vehicle fleet and last but not least, an increase in the comfort-level of transportation services.

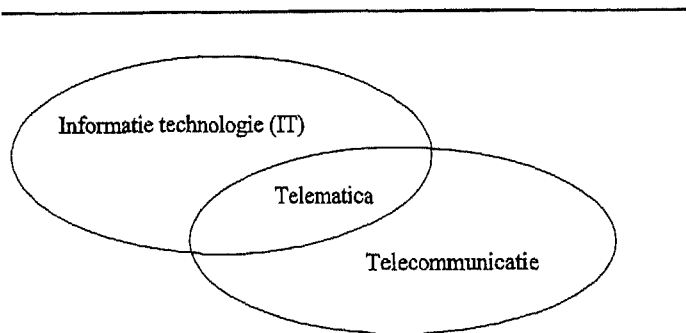
1. Inleiding

Of het nu gaat om personen of goederen, om individueel of collectief, om stedelijk of interlokaal: telematica en informatietechnologie (T&IT) in verkeer en vervoer levert op al deze terreinen een bijdrage van toenemende betekenis. Voorbeelden van IT langs de weg, de zogenaamde dynamische verkeersmanagement toepassingen, zijn de filewaarschuwingssystemen, toeritdoseringsinstallaties en dynamische route informatie panelen. Ook zijn er voorbeelden van IT in het voertuig op te noemen, zoals routeinformatie- en navigatiesystemen.

Telematica kan worden gedefinieerd als de ondersteuning van de interactie tussen mensen en/of processen waarbij afstand en/of tijd worden overbrugd door de geïntegreerde toepassing van IT- en telecommunicatietechnologie. Strikt gezien is telematica dus meer dan IT alleen, zoals in **figuur 1** dusdanig weergegeven.

Het gaat bij Telematica en IT toepassingen in verkeer en vervoer om verschillende doelen op verschillende beleidsgebieden.

Zo zijn de verwachte positieve gevolgen voor economie, verkeersveiligheid, infrastructuurbenutting en gebruiksgemak (comfort) veel genoemde argumenten die bij de invoering van nieuwe toepassingen een rol spelen.



Figuur 1 Relatie tussen begrippen Informatie technologie, Telematica en Telecommunicatie [1]

De reactie van de markt op deze technologieën is van doorslaggevend belang voor de ontwikkeling van nieuwe of voor het verbeteren van bestaande IT toepassingen. In de transportsector wordt reeds dankbaar gebruik gemaakt van de mogelijkheden om de lading van een vrachtwagen

gen van buitenaf te kunnen bepalen, van de mogelijkheden om op elk tijdstip te kunnen achterhalen waar voertuigen zich bevinden, en ook de particuliere sector reageert positief op de mogelijkheden en voordelen van routeinformatie- en navigatiesystemen in het voertuig. Voor een overzicht van dergelijke toepassingen in het goederenvervoer zie [1, 9] voor personenvervoer zie b.v. [8, 9].

De overheid, en met name de departementen Verkeer & Waterstaat en Economische Zaken, die niet alleen de nieuwe markt van T&IT-voorzieningen moeten reguleren, maar ook de mogelijkheden moeten onderzoeken hoe IT optimaal kan worden ingezet in het verkeer- en vervoersbeleid, heeft haar voornemens op dit gebied vastgelegd in een aantal beleidsstukken, zoals de Nota Telematica, het SVV II, en probeert door middel van experimenten meer duidelijkheid te verkrijgen in de wenselijkheden, mogelijkheden en beperkingen van Telematica en IT. Voorbeelden hiervan zijn de proef met een OV-chip (en andere chip-kaart-toepassingen in het v&v) en experimentele verkeersmanagement maatregelen, zoals het dynamisch openstellen van een vluchtstrook wanneer de verkeerssituatie dat vraagt en de al reeds enige jaren bekende filewaarschuwingssystemen op autosnelwegen.

In dit artikel beschouwen we het toepassingsgebied van Telematica en IT in het verkeer en vervoer, en onderscheiden hiertoe de *primaire processen* die direct zorgdragen voor de geleverde vervoersdienst en de ondersteunende *secundaire processen* die van bijkomende aard zijn en onder meer de beheers- en beslissingsproblemen omvatten. Het onderscheid tussen primair en secundair wil niet zeggen deze laatste processen van ondergeschikt belang zijn, maar de primaire processen vormen de basis van het functioneren van het verkeerssysteem. Op basis van deze abstractie kan een referentiemodel worden opgesteld waarin IT- en telematicatoepassingen in het verkeer en vervoer kunnen worden geplaatst.

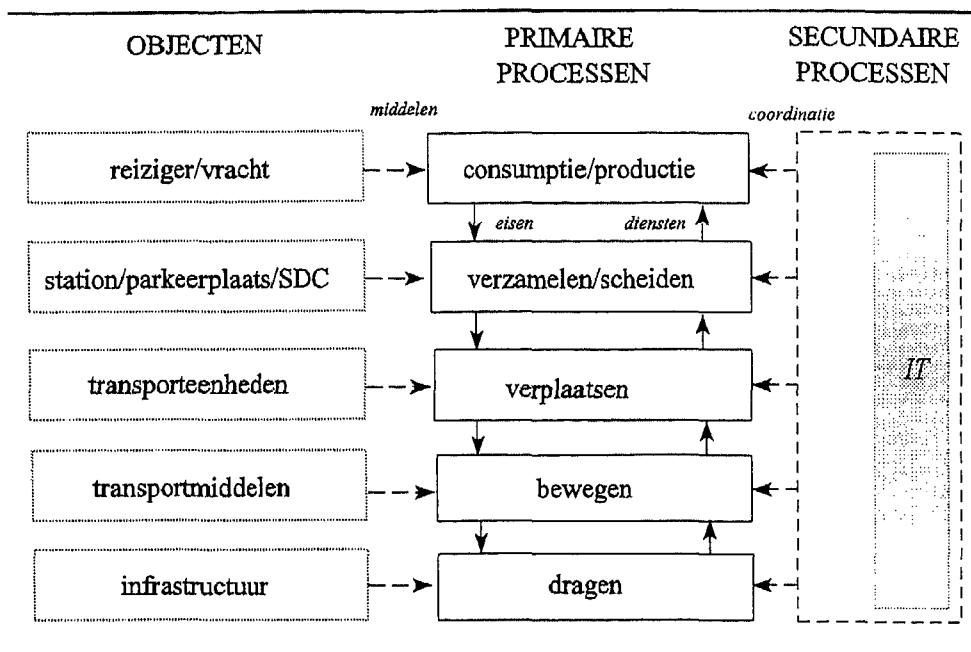
2. Hoe werkt Telematica & IT in het verkeer en vervoer?

2.1 De primaire processen in verkeer en vervoer

Eenvoudig geformuleerd is de functie van vervoer het verplaatsen van objecten (personen dan wel goederen) van een zeker punt A naar een verder weggelegen punt B. Primaire processen in

verkeer en vervoer vervullen deze functie in directe zin en verzorgen de geleverde vervoersdienst voor de gebruikers. Deze processen veroorzaken de fysieke stroom van zending en ladingen. De vervoersdienst wordt uiteindelijk geleverd door met een vervoermiddel, dat een lading in een transporteenheid (b.v. een container) met zich meedraagt, over een infrastructuur te bewegen. Gezien het feit dat het zeer inefficiënt is om van elke zending een lading te maken, worden vaak stromen zendingen gecombineerd in verzameleenheden tot dikkere stromen, die als één lading worden getransporteerd (en later weer worden uitgesplitst).

Deze primaire processen in het vervoersysteem kunnen worden geordend en aan elkaar gerelateerd met behulp van een lagenmodel (zie [2, 3] en **figuur 2**).



Figuur 2 Het lagenmodel voor de structuring van processen in verkeer en vervoer (bron: [2], [3])

Processen in de ene laag leveren een **dienst** aan de processen in de erboven liggende laag, en tevens stelt elke laag **eisen** aan de dienstverlening verzorgd door de eronder liggende laag. Tussen elke twee lagen bestaat er dus een wisselwerking, vaak in de vorm van een **markt** van vraag en aanbod van diensten. Het is dan ook noodzakelijk om niet alleen naar de processen binnen de lagen zelf te kijken, maar ook naar de interacties tussen de lagen.

Naast de eigenlijke zichtbare transportprocessen met bijhorende objecten in elke laag, kent iedere laag zijn eigen organisatie van actoren, wetgeving, structuren voor gegevensverwerking en communicatie, etcetera, ter ondersteuning van de eigenlijke processen. Deze worden de secundaire processen genoemd, en kunnen, zoals **figuur 2** aangeeft, door T&IT worden ondersteund.

Van beneden naar boven onderscheiden we de volgende vijf lagen, met kenmerkende processen en functionaliteiten, hulpmiddelen en de secundaire processen voor de uitvoering van de vervoersdiensten:

Dragen

De onderste laag 'dragen' omvat alle processen en diensten ter facilitering van de verkeersbewegingen door de vervoermiddelen. Hiertoe behoren de basisvoorzieningen in de vorm van wegen, railverbindingen, kanalen, havens en transportknooppunten.

Deze infrastructuur zal tevens installaties voor verkeersgeleiding bezitten, in combinatie met een communicatienetwerken en bijhorende organisatorische instituties. Dit zijn de ondersteunende secundaire processen met bijhorende hulpmiddelen voor het in stand houden en functioneel beheren van de infrastructuur.

Bewegen

In de laag 'bewegen' worden transportmiddelen ingezet om een transporteenheid (container, wagon, aanhanger) te verplaatsen over een bepaald traject over infrastructuur. De aanwezigheid van infrastructuur is dus een eerste vereiste voor de processen op dit niveau. Het bestuurders- en voertuiggedrag van het transportmiddel speelt hierin een belangrijke rol. Ook processen verbonden met het positioneren van de transportmiddelen (denk aan het aanmeren van schepen langs een kade, stoppen van treinen en metro's langs perrons) vallen binnen de processen in deze laag. Op macroscopische schaal bezien zijn de voertuigstromen van groter belang.

De interactie tussen de lagen 'bewegen' en 'dragen' wordt de **verkeersmarkt** genoemd. Deze verkeersmarkt betreft processen die het gebruik van de schaarse infrastructuur regelen zoals dynamisch verkeersmanagement op autosnelwegen, parkeervak-toewijzingssystemen in par-

keergarages, landingstijdstippen op luchthavens, etc. Verder zijn fleetmanagement, trajecten- en routeplanning en tracking-and-tracing van voertuigen enkele kenmerkende IT- toepassingen in deze laag.

Verplaatsen

Sterk verweven met de laag 'bewegen' is de laag direct hierboven: 'verplaatsen'. De transportmiddelen (actief) vervoeren een bepaalde lading in de fysieke vorm van transporteenheden (passief), zoals containers, wagons en aanhangers kunnen worden aangeduid. Een transporteenheid kan zijn samengesteld uit meerdere en verschillende kleinere ladingeenheden, zoals pallets, dozen, zakken etc. Het proces van het beladen van een transporteenheid valt dan ook binnen deze laag. Het bijhorende secundaire proces kan bijvoorbeeld zijn het opstellen van een beladingsschema door de vervoerder. Bij de interactie met de onderliggende laag 'bewegen' met een transportmiddel speelt het beladen van het transportmiddel zelf een rol. Tevens is de uiteindelijke keuze van het transportmiddel waarmee een transporteenheid (of meerdere) zal worden verplaatst een proces dat zich tussen deze lagen afspeelt. We duiden deze interactie aan met de logistieke markt.

Bij het vervoer van personen zal de 'transporteenheid' vaak identiek zijn met het vervoermiddel (auto, bus, vliegtuig), maar functioneel is er een verschil tussen een auto als transporteenheid en als vervoermiddel. Het onderscheidt tussen de primaire processen 'bewegen' en 'verplaatsen' en dus tussen vervoermiddel en transporteenheid is ingegeven door het feit dat deze objecten doorgaans verschillende trajecten volgen in het vervoersysteem.

Tracking-and-tracing van transporteenheden en de logistieke organisatie en -beheer nemen een belangrijke plaats in op dit niveau.

Verzamelen/scheiden

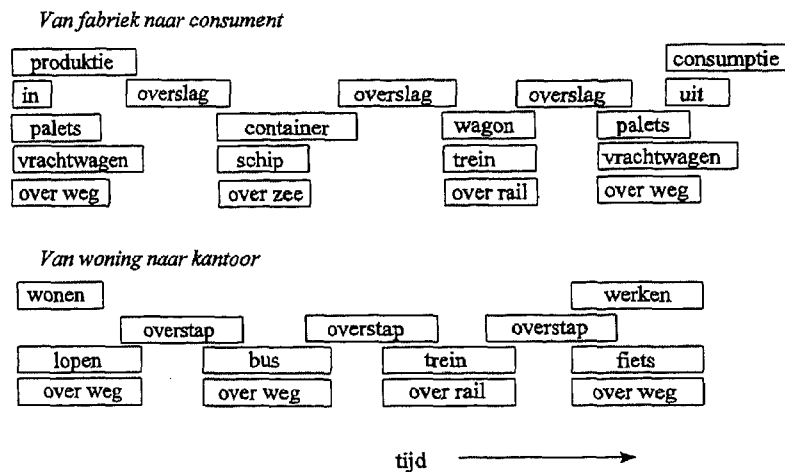
De processen gerelateerd aan de samenstelling/verwerking van de transporteenheden zijn ondergebracht in de laag 'verzamelen/scheiden'. Hieronder vallen de functies die nodig zijn voor het splitsen en samenvoegen van zendingen (bv. op een stadsdistributiecentrum, SDC), zoals het in- en uitpakken of op- en overslag van vracht. De transporteenheden zijn de noodzakelijke objecten voor de (verdere) logistieke afhandeling van vrachtzendingen, zodat het onderliggend niveau duidelijk als een eis voor onderhavige laag optreedt. Voorraadbeheer en

integraal ketenbeheer zijn de secundaire processen die het proces op dit niveau kunnen beïnvloeden. Het overstappen van reizigers van de ene vervoermodaliteit naar een andere (op station, ov-knooppunt of parkeerplaats) valt ook onder de functie van dit niveau.

Consumeren/producteren

Op het hoogste niveau onderscheiden we de objecten van vervoer, personen en vracht. Deze subjecten zorgen voor de vervoersvraag en zodoende voor het ontstaan van een vervoermarkt. Afstemming van de gegenereerde vervoersvraag door een goede productieplanning en -uitvoering zijn hier belangrijke secundaire processen. Bij personen als subject van de vervoersvraag is de activiteitenplanning en -uitvoering een secundaire maar onvermijdelijke bezigheid van het individu.

In **figuur 3** zijn twee voorbeelden gegeven van toepassing van het lagenmodel in situaties waar sprake is van een verplaatsingsketen. Bij het gehele verplaatsingsproces van een product van een fabriek naar de consument is transporteenheid een aparte laag die bij het personenvervoer, zoals het verplaatsingsproces van woning naar kantoor, niet altijd van toepassing is.



Figuur 3 Twee typen verplaatsingsketens geïllustreerd met het lagenmodel

2.2 Het ondersteunen van de secundaire processen

Secundaire processen dragen zorg voor een efficiënte en effectieve uitvoering van de fysieke

primaire processen. Hierboven zijn de mogelijke toepassingen reeds toegelicht in relatie tot de verschillende lagen van het referentiemodel.

Op elke laag kan telematica en informatietechnologie ter ondersteuning van de primaire processen dienen. Twee groepen van processen voor de toepassing van IT kunnen worden onderscheiden, namelijk:

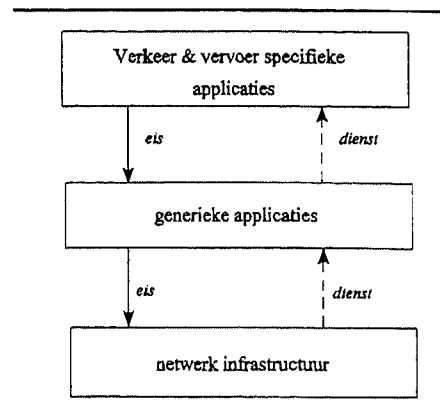
- a. *de interactie tussen processen van verschillende lagen;*
- b. *de interactie tussen processen binnen een laag;*

Voorbeelden van de eerste groep T&IT-toepassingen zijn o.a. elektronische beurssystemen, integraal ketenbeheer, reis-informatie- (rit- en routeplannings-), reserverings- en betalingssystemen. Zij ondersteunen de marktprocessen tussen de lagen. Ook verkeersregulering (DVM) en capaciteitstoewijzing voor het beter afstemmen van vraag en aanbod van infrastructuur, de verkeersmarkt tussen de lagen 'dragen' en 'bewegen', kan door informatietechnologie en telematica plaatsvinden.

De T&IT-toepassingen die de processen binnen de lagen ondersteunen dragen vaak bij aan de operationele beheersing van die processen, zoals bij de dienstuitvoering van het openbaar vervoer. Andere voorbeelden zijn de vlootbeheersingssystemen en tracking-and-tracing-systemen.

We kunnen het T&IT-toepassingsgebied verder structureren met gebruik van dezelfde concepten als bij de structurering van de primaire processen. Er ontstaat een lagenstructuur waarin geldt dat processen in de ene laag diensten leveren aan de processen in de laag erboven [3]. Zie **figuur 4** waarin een drielagenmodel voor telematica applicaties is weergegeven.

De lagen zijn achtereenvolgens, van onder naar boven:



Figuur 4 Lagenstructuur informatietechnologie

Netwerk infrastructuur

Dit niveau omvat de diensten geleverd door de fysieke telecommunicatie infrastructuur die voorzien in het end-to-end transport van gegevens op netwerkniveau. Het vormt de basis voor IT toepassingen.

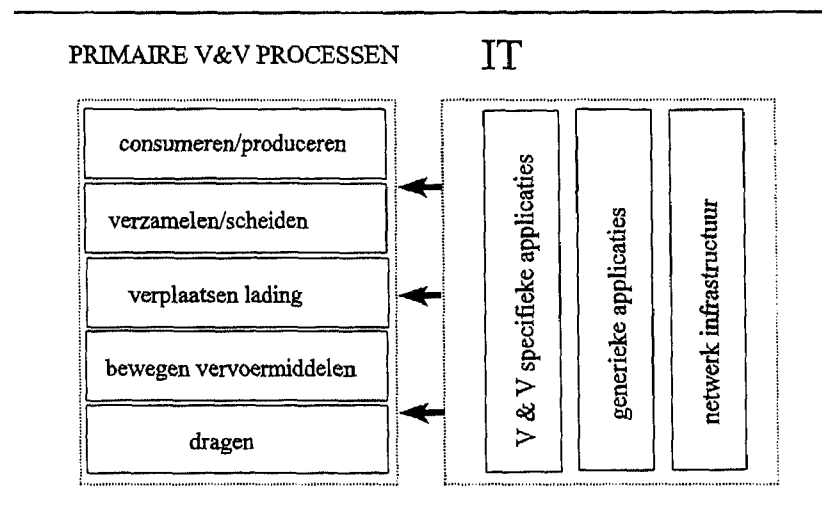
Generieke applicatiediensten

Generieke toepassingen kunnen in bijna alle toepassingsdomeinen worden gebruikt door domein-specifieke applicaties. Zij dragen zorg voor gedistribueerde opslag van, bewerking van en toegang tot gegevens, alsmede voor gestructureerde uitwisseling van gegevens (b.v. EDI). Een opdeling van de generieke applicaties in de categorieën Transactie-diensten, Publieke informatie diensten, Positionerings-diensten en Identificatie-diensten kan voor het verkeer en vervoerdomein een goede abstractie zijn om de specifieke V&V applicaties af te kunnen dekken.

Specifieke applicatiediensten

Hier vallen alle diensten onder die toepassing vinden in een deel van een bepaald applicatiedomein. In dit artikel is dat verkeer en vervoer.

Voorbeelden zijn de fleetmanagement-, ketenbeheersings-, tracking-and-tracing- en reisinformatiediensten.



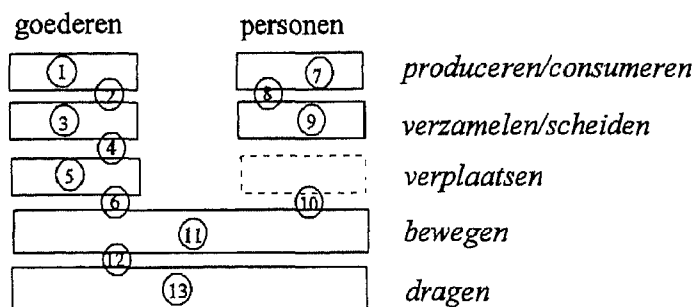
Figuur 5 Model informatietechnologie in verkeer en vervoer [3]

Figuur 5 geeft het complete referentiemodel voor de toepassing van telematica en informatietechnologie in het domein verkeer en vervoer: de aparte lagenmodellen voor V&V processen en T&IT toepassingen zijn gecombineerd tot een nieuw model.

2.3 Toepassingsvelden Telematica & IT in verkeer en vervoer

Het gepresenteerde lagenmodel is een geschikt hulpmiddel, om orde te brengen in de vele T&IT toepassingen op het terrein van verkeer en vervoer. We zullen dit proberen te illustreren. Vervoerprocessen zijn onderscheiden aan de hand van de diverse lagen en naar het soort vervoer (personen of goederen). Zie **figuur 6**. Een genummerde cirkel geeft een deelgebied aan [3].

1. Deelgebied 1 betreft de IT-ondersteuning van productie- en consumptieprocessen die de vraag naar goederenvervoer beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld tele-shopping.
2. Dit deelgebied betreft de markt waar het onder meer gaat om processen zoals informatieleverantie en reservering en betaling van vervoersdiensten.



Figuur 6 Classificatie van T&IT toepassingen in verkeer en vervoer [3]

Een IT-toepassing die voorziet in de administratie, betaling en afhandeling van de vraag naar een product is b.v. de koppeling van een betalingssysteem en een voorraadbeheerssysteem waardoor continu bekend is van welk produkt hoeveel aanwezig is. De voorraad kan hiermee steeds worden aangevuld door bestellingen bij de leverantier te plaatsen. Supermarkten en grote warenhuizen en zelfs detailhandel gebruiken dergelijke systemen om aan dit 'just-in-time'-principe te kunnen voldoen.

3. In dit deelgebied gaat het om beheersen van processen waarin goederenstromen worden gecombineerd of uiteengenomen, alsmede om de invoer-, uitvoer- en overslagprocessen. De bijhorende IT-toepassingen kunnen bijvoorbeeld zijn: ruimtegebruik optimalisatie van terminals en opslagruimten, optimaliseren van het gebruik van de in-/uitpak en overslag middelen en het berekenen en toewijzen van het aantal benodigde werknemers voor de verschillende verzamelen en scheidingsprocessen.

4. In dit deelgebied met marktwerking gaat het om de interacties tussen het logistieke proces en de transportprocessen, waarbij de keuze van transporteenheden en -middelen en beladingsstrategie belangrijk zijn.

De vervoerder van bestellingen van een grootwinkelbedrijf probeert de zendingen met vele bestemmingen effectief over zijn beschikbare transporteenheden te verdelen, zodat het bezorgen economisch verantwoord plaats zal vinden, met een minimum aan kosten en tijd. Ook de belading per transporteenheid zal moeten worden uitgedacht voor een efficiënte leverantie op de bestemmingen langs de route die een transporteenheid zal afleggen. IT en simulatie van processen kan hierbij een grote hulp zijn.

5. Dit deelgebied betreft de ladingstroom van A naar B. Het volgen van de vracht tussen herkomst en bestemming kan door IT ondersteund worden (tracking-en-tracing door middel van een 'tag' in de lading of op de transporteenheid, die eenvoudig van een afstand kan worden afgelezen).

6. In dit deelgebied met marktwerking gaat het om het coördineren en beheersen van de transporteenhedenstroom over de beschikbare vervoerwijzen.

Een effectieve verdeling van de transporteenheden over transportmiddelen, zoals vrachtwagens kan een hoge beladingsgraad opleveren. Dit logistieke en economisch afwegingsprobleem zal vaak gecombineerd worden met de planning van de goederenstroom (een taak in deelgebied 4).

7. Dit deelgebied betreft de processen die de vraag naar personenvervoer beïnvloeden, zoals arbeidsprocessen, educatieve processen, recreatieve processen en woon-leefprocessen. Voorbeelden van IT ondersteuning zijn telewerken, e-mail, tele-educatie en -winkelen.

8. In dit deelgebied gaat het om de interactie tussen de personenlogistiek en de gebruiksprocessen. IT-ondersteuning betreft hier bijvoorbeeld multi-modale reis-informatie, reserveringssystemen en betalingssystemen.

9. Dit deelgebied betreft de processen die zich bezighouden met het verzamelen en scheiden van personenstromen, zoals in stations, luchthavens en parkeergarages. Dynamische informatieborden kunnen deze processen versoepelen door het geven van actuele real-time informatie (b.v. over vertragingen, aankomst- en vertreklokaties).

10. In dit deelgebied met marktwerking gaat het om de interactie tussen de personenverplaatsingsprocessen en de daartoe noodzakelijke voertuigbewegingen. Het betreft vooral informatieleverantie over en reservering en betaling van die verplaatsingsdiensten, bijvoorbeeld bij vlieguren, bus of trein. Voertuigtoewijzing en plaatsreservering zijn mogelijke IT toepassingen voor deze markt.

Een experimentele IT applicatie in dit deelgebied, dat in 1998 operationeel moet zijn, is het RDS-TMC system voor het ontvangen van digitale verkeersinformatie [10]. De RDS-TMC verwerkt de digitale gegevens zodat deze in bruikbare informatie aan de automobilist kan worden aangeboden (grafische kaart, spraak etc.). De gebruiker kan de informatie toespitsen op de voor hem relevante routes. Ook zal dit grensoverschrijdende systeem, en hierdoor dus ook aantrekkelijk voor het goederenvervoer, de actuele verkeersinformatie in de eigen taal omzetten.

11. Dit deelgebied betreft de processen die een rol spelen bij de fysieke beweging van vervoermiddelen. Ondersteunende (IT) processen zijn bijvoorbeeld het ondersteunen van de rijtaak bij het besturen van een vervoermiddel en het beheren en volgen van een vloot (en eventueel routes of tijdsschema's bijstellen).

12. In dit deelgebied gaat het om de interactie tussen de infrastructuur en de vervoermiddelen daarop. Verkeersregeling, capaciteitstoedeling, reserveringsinformatie (parkeerplaatsen) en betaling (tolheffing) zijn hier belangrijke IT-gevoelige functionaliteiten.

13. Dit deelgebied tenslotte, betreft het beheren van de infrastructuur, zoals bv. waarschuwingssystemen over de toestand van de weg of rail. Gladheidsmeldsystemen langs de weg kunnen bijvoorbeeld aan de wegbeheerder het signaal geven dat er op een bepaald moment maatregelen tegen gladheid moeten worden genomen.

2.4 Basisfuncties Telematica & IT

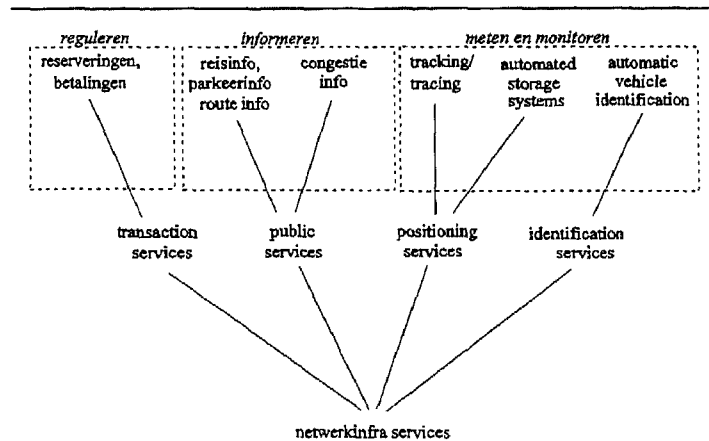
De basisfuncties van telematica en informatietechnologie in het verkeer en vervoer kunnen, concluderend uit onder meer de toepassingsmogelijkheden zoals hierboven opgesomd, worden verdeeld in, of worden samengesteld uit de volgende hoofdtaken [4]:

- a. *het meten en monitoren van processen;*
- b. *informereren gebruikers over toestanden;*
- c. *het reguleren van processen;*

Dit kunnen we verduidelijken door een voorbeeld. Bezien we de toepassing van DRIP's (Dynamische Route Informatie Panelen) voor het verstrekken van congestieinformatie (file-lengte) aan reizigers, dan is het functioneel gebruik hiervan enkel mogelijk met actuele informatie over de toestand op de weg. Dit kan door het meten en monitoren van de verkeersstromen die van belang zijn op een zekere afstand van de DRIP. Het eigenlijke informeren vindt plaats door middel van borden met teksten boven de rijbaan, waarna de gebruiker de keus maakt of hij zijn reis- en routeplannen gaat aanpassen, ofwel het ontstaan van de regulerende functie van telematica en IT

toepassingen.

We kunnen de basisfuncties tevens terug vinden in het lagenmodel voor telematica (figuur 5). Bezien we de V&V specifieke applicaties in een boomstructuur dan kan ruwweg het onderscheid worden aangegeven (figuur 7).



Figuur 7 Generieke en specifieke verkeer en vervoer T&IT applicaties: voor het meten en monitoren, informeren en reguleren

3. Wat valt er te bereiken met I&IT in verkeer en vervoer

In deze paragraaf zullen enige T&IT toepassingen in V&V wat uitgebreider worden behandeld, waarna in 3.2 de mogelijkheden met T&IT in V&V worden samengevat.

3.1 Voorbeelden van Telematica & IT toepassingen en hun gevolgen

Dynamische Route Informatie Panelen

De verkeersinformatie op borden boven de autosnelweg, gericht op het informeren van weggebruikers over de verkeersstoestand (congestie, filelengte of reistijd) op een route naar hun bestemming, worden dynamische route informatie panelen (DRIP) genoemd.

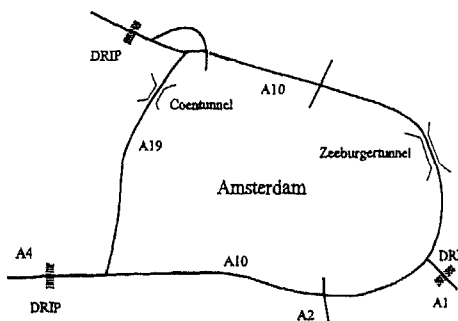
Hoe werkt dit systeem? Op verschillende (congestiegevoelige) lokaties op een netwerk wordt de gemiddelde rijnsnelheid en doorstroming van het verkeer continu gemeten. Aan de hand hiervan is bekend waar files staan en waar niet. Door op een regelmatige afstand te meten (bv. om de 500 meter) kan bij benadering worden berekend hoelang de files zijn. Door deze informatie op strategische punten aan te bieden (zie figuur 8), kunnen de bestuurders hun route (en later eventueel vertrektijden) aanpassen op de actuele situatie.

In november 1991 werd de eerste DRIP geplaatst bij de noordelijke entree op de ringweg rond Amsterdam. Dit bord toont de filelengte, indien aanwezig, van het verkeer op de meest problematische knelpunten op de Amsterdamse ringweg: de Coentunnel en de Zeeburgertunnel.

Een uitgebreide voor en na studie was uitgevoerd om de effecten na te gaan [5, 12].

Het bleek dat ongeveer 33% van de bestuurders die vanaf het noorden de ringweg

oprijden keuzemogelijkheden hebben in hun routekeuze (dus via Coentunnel of Zeeburgertunnel naar bestemming), en mogelijk beïnvloed zullen worden door berichten op de dynamische informatie borden. Gemiddeld twintig procent van deze vrij-keuze bestuurders veranderen hun routekeuze naar aanleiding van de DRIP berichten. Naarmate het bericht op de DRIP een langere filelengte aangaf veranderen meer mensen van routekeuze.



Figuur 8 Autosnelwegennet om Amsterdam met DRIP's op toevoerwegen

De Coentunnel bleek minder te worden belast (-4%) wanneer congestie was gemeld. Als er geen congestie was gesignaleerd steeg het gebruik 10% ten opzichte van de voorsituatie. Het totale gebruik over een dag nam met 6% toe, terwijl de Coentunnel al jaren een knelpunt is gedurende vele uren op de dag.

Verder bleek het aandeel van bestuurders die vast kwamen te zitten in een file substantieel afnam van 78% naar 52% nadat de DRIP geplaatst was. Ook de filezwaarte, uitgedrukt in kilometerminuten nam sterk af van 350 naar 230, een afname van 34%. Sinds 1991 zijn er, gezien het succes, meerdere DRIPs geplaatst op de ringweg, zie **figuur 8**.

Kern van deze IT toepassing is het informeren van de gebruiker.

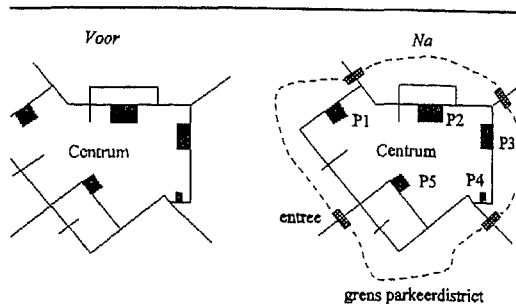
Dynamisch parkeerreserveringssysteem

Een dynamisch parkeerreserveringssysteem is er in eerste instantie op gericht het parkeerareaal, bijvoorbeeld alle parkeerruimte in en om het stadscentrum, optimaal te benutten. In de huidige situatie zullen bezoekers van een winkelcentrum onafhankelijk van elkaar een geschikte parkeerplaats zoeken indien de auto als vervoermiddel is gekozen. Dit leidt vaak tot een grote parkeerdruk op de gunstig gelegen parkeerlocaties dichtbij het winkelgebied, terwijl verderweg gelegen parkeerplaatsen onderbenut worden.

Een dynamisch parkeerreserveringssysteem zal de parkeerruimte dusdanig reguleren dat zoekverkeer wordt geminimaliseerd, een andere vervoerwijzekeuze wordt gestimuleerd, de benutting van de parkeerruimte in het toepassingsgebied beter gedistribueerd wordt, en in veel gevallen de totale benutting zal stijgen, echter niet onbeperkt maar maximaal tot het fysiek mogelijke [6].

Hoe werkt dit systeem? Potentiële bezoekers aan het centrum in het bezit van een auto kunnen alleen parkeren in dit centrumgebied wanneer ze een reservering maken voor een bepaalde verwachte aankomsttijd, voor een bepaalde verblijftijd op een door hen gewenste parkeerlocatie in dit gebied. Hiervoor moet een telefoonnummer worden gedraaid en parkeerbewensen kenbaar worden gemaakt. De klant hoort of zijn reservering mogelijk is of aangepast is waarna een bevestiging moet worden gegeven (en eventueel de betaling plaats vindt), en de klant zijn toegangscode ontvangt waarmee hij de entree-controle kan passeren. Zie **figuur 9**. Bewoners en belanghebbenden kunnen met een lange-duur-reservering het parkeerdistrict betreden.

Het geschetste systeem is nog niet in de praktijk operationeel, maar een studie naar de verwachte gevolgen is verleden jaar uitgevoerd. Belangrijkste conclusies uit deze simulatiestudie waren de substantiele afname van de verreden autokilometers in het centrum (met zo'n 30% in de case-situatie Bussum), een afnemend autogebruik bij een stijgend bezoekersaantal en een effectieve en evenwichtige benutting van het parkeerareaal. Tevens zijn er bijkomende - niet verkeerskundige- voor-delen, zoals het gemak van een gegarandeerde vrije parkeervak indien gereserveerd, een inperking van het aantal controleurs (zwart parkeren niet meer mogelijk) en afname van parkeeroverlast in de woonwijken. Hoofdzaak van deze IT applicatie is het zowel informeren als reguleren van de verplaatsingsprocessen.



Figuur 9 Centrumgebied met en zonder parkeerdistrict en reserveringssysteem

Dynamische busstations

Dynamische busstations zijn in eerste instantie bedoeld om de kostbare grond rondom stationslokaties zo effectief mogelijk te benutten. Conventionele busstations zijn dusdanig ingericht dat voor elke buslijn een apart perron noodzakelijk is, terwijl er bijna nooit meer dan een of twee bussen tegelijk vertrekken. Hoe werkt een dynamisch busstation? Er zijn een beperkt aantal busperrons waarvandaan de bussen vertrekken. Aankomende bussen laden passagiers uit en rijden dan naar een speciaal inge-richte opstelruimte. Pas enkele minuten voor de officiële vertrektijd van een bus wordt het vertrekperon bekend gemaakt aan de wachtende passagiers, waarna het instappen op het aangewezen perron plaats kan vinden.

Eindhoven heeft daarvan een fraai exemplaar bij het Centraal Station. In plaats van vroeger 36 busperrons komt men nu door de dynamische tijdstip- en vraagafhankelijke perrontoe wijzing uit met 12 stuks. De bij deze opzet horende striktere dienstuitvoering leidt tot een snellere dienstregeling en dus minder businzet. Dat bespaart in Eindhoven jaarlijks 1,25 miljoen gulden op de exploitatie [11]. Kernzaak van deze IT applicatie is het reguleren van de verplaatsingsprocessen.

Automatische voertuigbesturing

Automatische voertuigbesturing is een concept voor een toekomstig wegverkeerssysteem waarin de rijtaken van individuele bestuurders worden overgenomen door intelligente systemen in het voertuig en aan de wegwijkant. Een eerste stap op weg naar deze robot-voertuigen is de implementatie van Intelligent Cruise Control.

Intelligent Cruise Control vervult enige rijtaken die een bestuurder voorheen zelf uit moest voeren. Een veilige volgafstand tot de voorligger wordt berekend aan de hand van metingen door een ingebouwde radar/laser. Indien nodig zal het systeem automatisch afremmen om een conflict te voorkomen. En naar de wensnelheid accelereren wanneer de situatie dit weer mogelijk maakt.

De effecten zijn enkel met behulp van simulatie redelijkerwijs te achterhalen, en de eerste studies wijzen uit dat de wegcapaciteit gelijk blijft, in een latere fase wellicht stijgt, maar dat de verkeersveiligheid toeneemt door een veiliger volgedrag. Deze IT applicatie heeft daarom hoofdfuncties in het meten en monitoren, en tevens in het reguleren.

3.2 De baten van T&IT in V&V

Wat valt er nou in het domein van verkeer en vervoer werkelijk te bereiken met T&IT? Hierop wordt getracht een antwoord te geven door de hoofdzaken in de voorgaande paragrafen samen te vatten.

Allereerst kan worden gesteld dat met T&IT een efficiëntere benutting van de infrastructuur mogelijk is in termen van ruimtebeslag. Bij het wegverkeer blijken DRIP's [5], navigatiesystemen, toeritdoseringsinstallaties en parkeerverwijzingssystemen gunstige invloed te hebben op de benutting van de weginfrastructuur. Dynamisch parkeermanagementsystemen [6] maken tevens een effectief gebruik van de parkeerruimte mogelijk.

Een ander aspect is de efficiëntere benutting van zowel het voertuigpark als de voertuigen met gunstige gevolgen voor vlootomvang, energiegebruik, tijd/kosten, etc. Bij het openbaar vervoer betekent dat een optimale inzet van de vloot met per voertuig een hogere bezettingsgraad. Bij het goederenvervoer betekent dat het plannen van een route met over de complete rit en voertuigvloot genomen een optimale beladingsgraad. Electronische beurssystemen [7], Internet en computersystemen voor het bepalen van de optimale route zijn T&IT applicaties die hierbij van belang zijn.

Verder kan worden gesteld dat met T&IT in verkeer en vervoer snellere maar vooral betrouwbaardere verplaatsingen en leveringen kunnen worden bereikt. Dit niet alleen bij van punt naar punt verplaatsingen, maar ook in verplaatsingsketens.

En als laatste is het met T&IT mogelijk om een efficiëntere afhandeling van vervoersdiensten te laten plaatsvinden. Niet alleen de fysieke afhandeling van vracht en/of personen, maar ook de administratieve afhandeling en betaling ervan. Dit verhoogt het vervoercomfort.

Referenties

- [1] Van Riet, J & Tanja, P.T. & Dunnewold, W. & Dijkstra, P.E., Telematica-innovatie en bedrijfsorganisatie in het Nederlandse wegvervoer, INRO-TNO, Den Haag, januari 1996.
- [2] Evers, J.J.M. & Loos, A.L., Op weg naar een nationaal centrum voor hoogwaardig onderzoek en onderwijs op het gebied van Transport, Infrastructuur en Logistiek, TRAIL-studies nr. 95/2, Delft, januari 1995.
- [3] Van der Veer, P.W. & Oude Luttighuis, P.H.W.M. & Eggens, G. & Nolthuis, G.J.C., Informatietechnologie in Verkeer en Vervoer, Stichting Telematica Research Centrum, Enschede, november 1995.
- [4] Bovy, P.H.L., Verkeerschaos en Vervoershonger: perspectief op mobiliteit, pp 28-36, Stichting Maatschappij en Onderneming, Den Haag, 1995.
- [5] Bovy, P.H.L., Advanced traveller information services in real-time traffic prediction models, in: Tijdschrift Vervoerwetenschap, pp 381-393, 4/1995.
- [6] Minderhoud, M.M. & Bovy, P.H.L. & Schoemaker, Th., Een dynamisch parkeermanagementsysteem voor stadscentra, Sectie Verkeerskunde Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft, september 1995.
- [7] "Dankzij Telematica minder files en meer winst in wegtransport", in: De Telegraaf, 30 januari 1996.
- [8] Road Transport Research, Advanced Logistics and Road Freight Transport, OECD Report, Paris, 1992.
- [9] Road Transport Informatics, Institutional and Legal Issues, ECMT and ERTICO Report, Paris, 1995.
- [10] "Elke automobilist zijn eigen file-informatie", in: Technisch Weekblad, 13 maart 1996.
- [11] Bovy, P.H.L., "Dynamisch doorgaan met dynamisch verkeersmanagement", in: Verkeerskunde Nr. 5, Mei 1995.
- [12] BGC, RIA nader bekeken. Eindrapportage deel 1, 1991 & Evaluatie RIA: deelonderzoeken. Eindrapportage deel 2, 1993, Deventer

TABLE IV
 AVERAGE NUMBER OF ITERATIONS PER TIME STEP TO SATISFY THE TERMINATION CRITERION
 AND APPROXIMATIONS OF THE CONVERGENCE FACTOR $\nu_{20}^{(i)}$ FOR THE SKEWED DRIVEN CAVITY
 PROBLEM ON A 64×64 GRID

| (i) | Marching | | Parabolic | | Waveform | |
|-----|----------|------------------|-----------|------------------|----------|------------------|
| | # it. | $\nu_{20}^{(i)}$ | # it. | $\nu_{20}^{(i)}$ | # it. | $\nu_{20}^{(i)}$ |
| 10 | 3.0 | 0.317 | 3.5 | 0.345 | 3.7 | 0.363 |
| 20 | 2.3 | 0.295 | 3.0 | 0.324 | 3.8 | 0.357 |
| 40 | 2.0 | 0.268 | 3.1 | 0.300 | 3.5 | 0.3356 |

scheme. The latter scheme showed second-order accuracy, while it satisfies better stability conditions than the Crank–Nicolson scheme.

Furthermore, the storage requirement of the time-marching scheme is lowest, for the multigrid waveform relaxation method it is highest. Approximate convergence factors and the average number of iterations per time step to satisfy a termination criterion are compared. Satisfactory results were obtained for all three methods. Their sequential computational complexity was about the same, but they differ markedly in their parallelization potential. It will be interesting to study the behaviour of the smoothers described in this paper and the parallel variant of SCAL (currently under investigation) on a parallel machine.

REFERENCES

1. Ch. Arakawa, A. Demuren, W. Rodi, and B. Schönung, Application of multigrid methods for the coupled and decoupled solution of the incompressible Navier–Stokes equations. In M. Deville (Ed.), *Proc. 7th GAMM Conf. on Num. Methods in Fluid. Mech.*, Notes on Num. Fluid Mech., 20, 1–8. Vieweg, Braunschweig (1988).
2. R. Aris, *Vectors, tensors and the basic equations of fluid mechanics*. Prentice–Hall, Englewood Cliffs, NJ (1962).
3. P. Bastian, J. Burmeister, and G. Horton, Implementation of a parallel multigrid method for parabolic differential equations. In W. Hackbusch (Ed.), *Parallel Algorithms for Partial Differential Equations, Proc. 6th GAMM Seminar Kiel*. Vieweg, Wiesbaden, (1990).
4. A. Brandt, Guide to multigrid development. In W. Hackbusch and U. Trottenberg (Eds.), *Multigrid Methods*, Lecture Notes in Mathematics, Vol. 960, pp. 220–312. Springer, Berlin (1982).
5. J. Burmeister, *Paralleles Lösen diskreter parabolischer Probleme mit Mehrgittertechniken*. Master's Thesis, Kiel (1985).
6. J. Burmeister and G. Horton, Time-parallel multigrid solution of the Navier–Stokes equations. In W. Hackbusch and U. Trottenberg (Eds.), *Multigrid Methods III*, International Series of Numerical Mathematics, Vol. 98, pp. 155–166. Birkhäuser, Basel (1991).

7. A. J. Chorin, A numerical method for solving incompressible viscous flow problems. *J. Comput. Phys.* **2**, 12–26 (1967).
8. I. Demirdzic, Z. Lilek, and M. Peric, Fluid flow and heat transfer test problems for nonorthogonal grids: Bench-mark solutions. *Internat. J. Numer. Methods Fluids* **15**, 329–354 (1992).
9. C. W. Gear, *Numerical Initial Value Problems for Ordinary Differential Equations*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1971).
10. W. Hackbusch, Parabolic multigrid methods. In R. Glowinski, J. R. Lions (Eds.), *Computing Methods in Applied Sciences and Engineering VI, Proc. 6th Int. Symp. on Comp. Meth. in Appl. Sciences and Eng.*, pp. 20–45, North-Holland, Amsterdam (1984).
11. W. Hackbusch, *Multi-grid Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin (1985).
12. E. Hairer and G. Wanner, *Solving Ordinary Differential Equations II*, Springer, Berlin (1991).
13. F. Harlow and J. Welch, Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow. *Phys. Fluids* **8**, 2182–2189 (1965).
14. P. W. Hemker, Mixed defect correction iteration for the accurate solution of the convection diffusion equation. In W. Hackbusch and U. Trottenberg (Eds.), *Multigrid Methods, Lecture Notes in Mathematics*, Vol. 960, pp. 485–501. Springer, Berlin (1982).
15. G. Horton, Time-parallel multigrid solution of the Navier–Stokes equations. In C. Brebbia (Ed.), *Applications of Supercomputers in Engineering*. Elsevier, Amsterdam (1991).
16. G. Horton, The time-parallel multigrid method. *Comm. Appl. Numer. Methods* **8**, 585–596 (1992).
17. D. S. Joshi and S. P. Vanka, Multigrid calculation procedure for internal flows in complex geometries. *Numer. Heat Transfer* **20**, 61–80 (1991).
18. Ch. Lubich and A. Ostermann, Multi-grid dynamic iteration for parabolic equations. *BIT* **27**, 216–234 (1987).
19. S. Murata, N. Satofuka, and T. Kushiya, Parabolic Multi-grid Method for incompressible viscous flows using a group explicit relaxation scheme. *Comput. Fluids* **19**, 33–41 (1991).
20. A. E. Mynett, P. Wesseling, A. Segal, and C. G. M. Kassels, The ISNaS incompressible Navier–Stokes solver: Invariant discretization. *Appl. Sci. Res.* **48**, 175–191 (1991).
21. C. W. Oosterlee and P. Wesseling, A multigrid method for an invariant formulation of the incompressible Navier–Stokes equations in general coordinates. *Comm. Appl. Numer. Methods* **8**, 721–734 (1992).
22. C. W. Oosterlee and P. Wesseling, A robust multigrid method for a discretization of the incompressible Navier–Stokes equations in general coordinates. *IMPACT Comput. Sci. Engrg.* **5**, 128–151 (1993).
23. C. W. Oosterlee and P. Wesseling, *Benchmark solutions for the incompressible Navier–Stokes equations in general coordinates on staggered grids*. Report 92/67, TU Delft, Fac. Math. Inf., Delft (1992); *Internat. J. Numer. Methods Fluid*, to appear.
24. S. V. Patankar and D. B. Spalding, A calculation procedure for heat and mass transfer in three-dimensional parabolic flows. *Internat. J. Heat Mass Transfer* **15**, 1787–1806 (1972).
25. S. V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. McGraw-Hill, New York (1980).
26. A. Segal, P. Wesseling, J. van Kan, C. W. Oosterlee, and C. G. M. Kassels, Invariant discretization of the incompressible Navier–Stokes equations in boundary fitted co-ordinates. *Internat. J. Numer. Methods Fluids* **15**, 411–426 (1992).
27. W. Y. Soh and J. W. Goodrich, Unsteady solution of incompressible Navier–Stokes equations. *J. Comput. Phys.* **79**, 113–134 (1988).
28. M. C. Thompson and J. H. Ferziger, An adaptive multigrid technique for the incompressible Navier–Stokes equations. *J. Comput. Phys.* **82**, 94–121 (1989).

29. S. Vandewalle, *The Parallel Solution of Parabolic Partial Differential Equations by Multigrid Waveform Relaxation Methods*. Ph.D. Thesis, Leuven University, (1992).
30. S. Vandewalle and R. Piessens, Efficient parallel algorithms for solving initial-boundary value and time-periodic parabolic partial differential equations. *SIAM J. Sci. Statist. Comput.* **13**, 1330–1346 (1992).
31. S. P. Vanka, Block-implicit calculation of steady turbulent recirculating flows. *Internat. J. Heat Mass Transfer* **28**, 2093–2103 (1985).
32. S. P. Vanka, Block-implicit multigrid solution of Navier–Stokes equations in primitive variables. *J. Comput. Phys.* **65**, 138–158 (1986).
33. J. J. I. M. van Kan, A second-order accurate pressure correction method for viscous incompressible flow. *SIAM J. Sci. Statist. Comput.* **7**, 870–891 (1986).
34. C. Vuik, Solution of the discretized incompressible Navier–Stokes equations with the *GMRES* method. Report 91/24, TU Delft, Fac. Math & Inf. Delft (1991); *Internat. J. Numer. Methods Fluids*, to appear.
35. P. Wesseling, *An Introduction to Multigrid Methods*. Wiley, Chichester (1992).
36. J. White and A. Sangiovanni-Vincentelli, *Relaxation techniques for the simulation of VLSI Circuits*. Kluwer, Boston (1987).
37. G. Wittum, Multi-grid methods for Stokes and Navier–Stokes equations with transforming smoothers: algorithms and numerical results. *Numer. Math.* **54**, 543–563 (1989).
38. Zeng Shi and P. Wesseling, *Numerical solution of a bifurcation problem for the Boussinesq equations at low Prandtl number by a multigrid method*. Report 89/67, TU Delft, Fac. Math & Inf., Delft (1989).