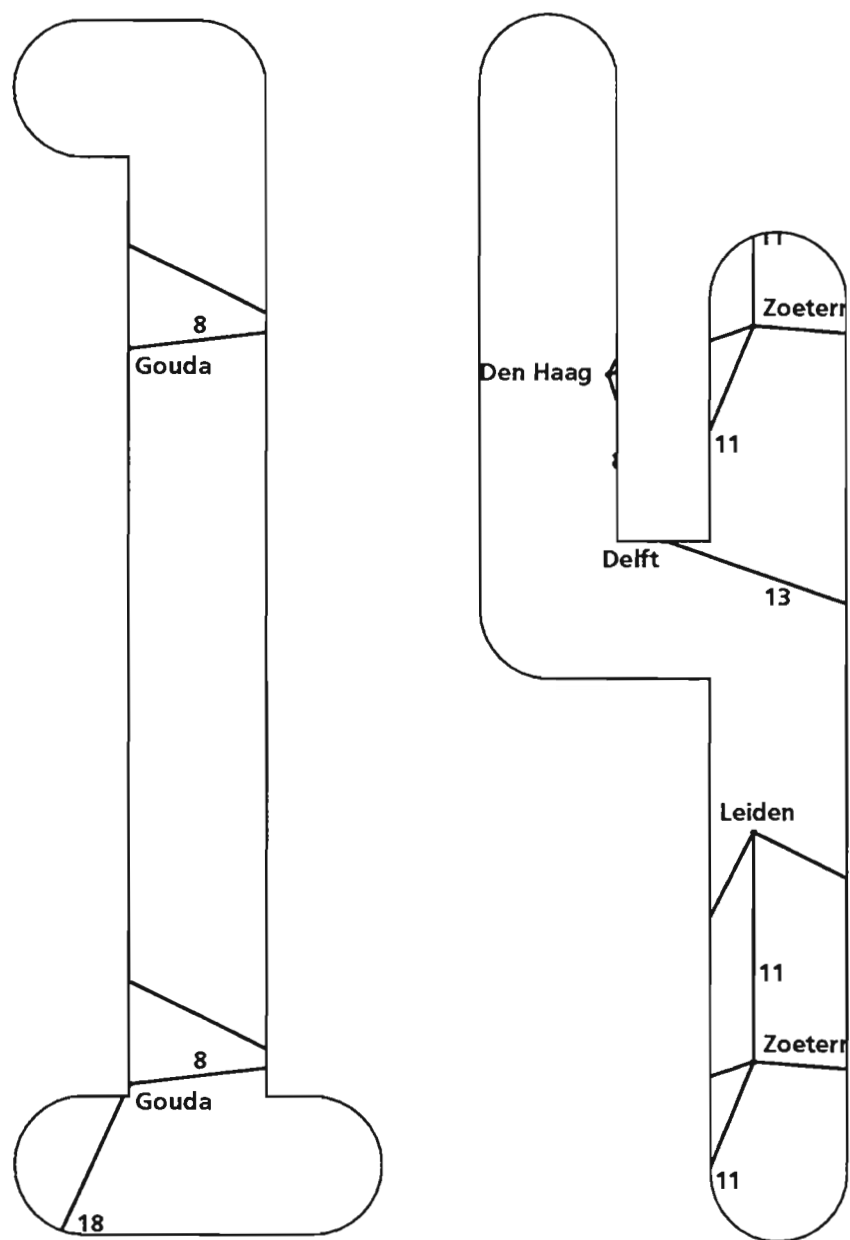




VERKEER EN VERVOER

HET REISGEDRAG IN KAART GEBRACHT

MARION BROUWER
HELEEN VERHAGE

**CONSULENTE
VERKEER EN
VERVOER**

Marion Brouwer



**'prettig om op
een toegepast ge-
bied te werken'**

Marion Brouwer studeerde tot 1989 wiskunde aan de Rijksuniversiteit Leiden. Daarna werd ze 'aio' aan de Technische Universiteit in Delft, maar bemerkte dat de louter theoretische wiskunde haar niet zo lag. 'Het wiskundig onderzoek vond ik erg droog', zegt ze. 'Je zit achter je bureau en graaft steeds dieper. Ik kon andere mensen nauwelijks uitleggen wat ik eigenlijk aan het doen was.'

Dat was voor haar de reden om te solliciteren naar haar huidige baan van consulente bij een adviesbureau voor verkeer en vervoer, de Hague Consulting Group bv. 'Ik vind het prettig om op een toegepast gebied te werken en het samenwerken met mensen uit andere disciplines bevalt me ook goed. Er loopt hier van alles rond: sociaal geographen, economen, verkeerskundigen.'

De Hague Consulting Group geeft adviezen aan particuliere en overheidsinstellingen. Marion houdt zich voornamelijk bezig met het openbaar vervoer. Om een beeld te geven van haar werk, vertelt ze het volgende:

'Als er een opdracht binnenkomt, bijvoorbeeld van de NS of van het ministerie, begin ik met lees- en

denkwerk. Vervolgens ga ik een paar dagen programmeren. Meestal is dat een kwestie van een bestaand computerprogramma aanpassen. De volgende stap is om binnen het ontworpen rekenmodel allerlei "als-dan" vragen te beantwoorden, bijvoorbeeld: wat gebeurt er als er op een bepaalde plaats een extra station wordt neergezet. Tussendoor voer je natuurlijk steeds overleg met de betreffende opdrachtgever die je verdere informatie geeft over het gestelde probleem. De laatste fase bestaat uit het schrijven van een rapport. Daar probeer ik altijd een leuke presentatie van te maken met mooie plaatjes erbij, zodat het de opdrachtgever aanspreekt.'

Er zijn ook problemen waarvoor nog geen goed wiskundig model bestaat, zoals het fileprobleem. Er is nog geen afdoende model ontwikkeld om meer inzicht te krijgen in kwesties als hoe een file ontstaat, uitgroeit en doorwerkt op de wegen die erop aantakken. Het kost veel (computer-)tijd om daar een goed programma voor te maken.

Marion gebruikt in haar werk vooral discrete wiskunde, grafentheorie en statistiek. De moeilijkheidsgraad

reikt niet veel verder dan het tweede jaar van de universiteit.

'Wat daarna komt gebruik je niet direct, het is meer dat je het in een groter geheel kunt plaatsen. Eigenlijk is vooral de manier van denken die je als wiskundige hebt belangrijk. Dat zie je overigens bij alle exacte wetenschappers die op een toegepast gebied werkzaam zijn.'

Op de middelbare school vond Marion wiskunde een leuk vak. 'Ik had

een abonnement op Pythagoras, waar ik altijd de puzzeltjes uit maakte. Dat lukte me overigens lang niet altijd.'

Wat betreft het huidige wiskunde-onderwijs is ze van mening dat het vooral zinvol is om aan te sluiten bij een toekomstige praktische toepassing van de geleerde wiskunde. Statistiek, lineair programmeren, grafentheorie, combinatoriek en binair rekenen kunnen goed van pas komen in een latere beroepspraktijk. ■

Beroep: chauffeur goederenvervoer of (besloten) busvervoer (v/m)

- Opleiding: leerlingstelsel
- Toelatingseisen: vbo-diploma of tien jaar dagonderwijs
- Informatie: SLW, Stichting Leerlingwezen Wegvervoer, Postbus 112, 2400 AC Alphen a/d Rijn, tel. 01720-80606

Beroep: chef afdeling expeditie (v/m)

- Opleiding: mbo, haven en vervoer
- Toelatingseisen: vbo-diploma haven en transport of mavo diploma
- Informatie: Scheepvaart en Transport College 'Dr. A.J.T. Stakenburg', Soerweg 31, 3088 GR Rotterdam, tel. 010-4298177

Beroep: verkeerskundig ingenieur (v/m)

- Opleiding: hbo, verkeerskunde/verkeerstechniek
- Toelatingseisen: havo-diploma met wiskunde (A)B en natuurkunde
- Informatie: Noordelijke Hogeschool Leeuwarden tel. 058-961777, Nationale Hogeschool voor toerisme en verkeer te Tilburg, tel. 013-360853

Beroep: wiskundige (v/m)

- Opleiding: universiteit, wiskunde en informatica
- Toelatingseisen: vwo-diploma met wiskunde B
- Informatie: AOB, Adviesbureaus voor Opleiding en Beroep: Gemeenschappelijk Bureau voor Opleiding en Beroep, Postbus 345, 3990 GC Houten, tel. 03403-79374

1

ONDERZOEK



Inleiding

Beleidsmakers op het gebied van verkeer en vervoer maken veel gebruik van wiskunde. Voordat ze bijvoorbeeld besluiten om een nieuwe weg of spoorlijn aan te leggen, maken ze schattingen van het aantal reizigers dat er gebruik van zal maken. Er worden ook schattingen gemaakt van het aantal weggebruikers in de toekomst, om op grond daarvan op knelpunten in te grijpen.

Ook de gevolgen van diverse tolmaatregelen worden van tevoren berekend. Daarbij kijken beleidsmakers zowel naar de consequenties voor het gedrag van reizigers - gaan ze bijvoorbeeld vaker met de trein - als naar de financiële gevolgen - is de investering rendabel?

Een heel ander type onderzoek is dat naar de gevolgen van de invoering van de OV-jaarkaart voor studenten: reizen studenten dankzij die kaart echt anders of zijn de veranderingen in hun reisgedrag puur toeval? Het is een vraag die met gebruik van statistiek kan worden beantwoord.

Nog een in het oog springend onderwerp is telewerken. Daarmee wordt bedoeld dat mensen een aantal dagen in de week thuis werken en op andere manieren en tijdstip-

pen contact onderhouden met hun werkgever. Het reisgedrag van diverse proefpersonen die telewerken wordt geobserveerd en vergeleken met hun oude reisgedrag. Met behulp van opnieuw een flinke brok statistiek, wordt bekeken of telewerken kan helpen om de mobiliteit terug te dringen.

In dit werkboek zullen een aantal aspecten van het verkeers- en vervoersonderzoek aan de orde komen. Het gaat daarbij om onderzoek op grote, dat wil zeggen landelijke of provinciale, schaal. Aspecten als verkeersdrempels of de afstelling van verkeerslichten horen daar dus niet bij.

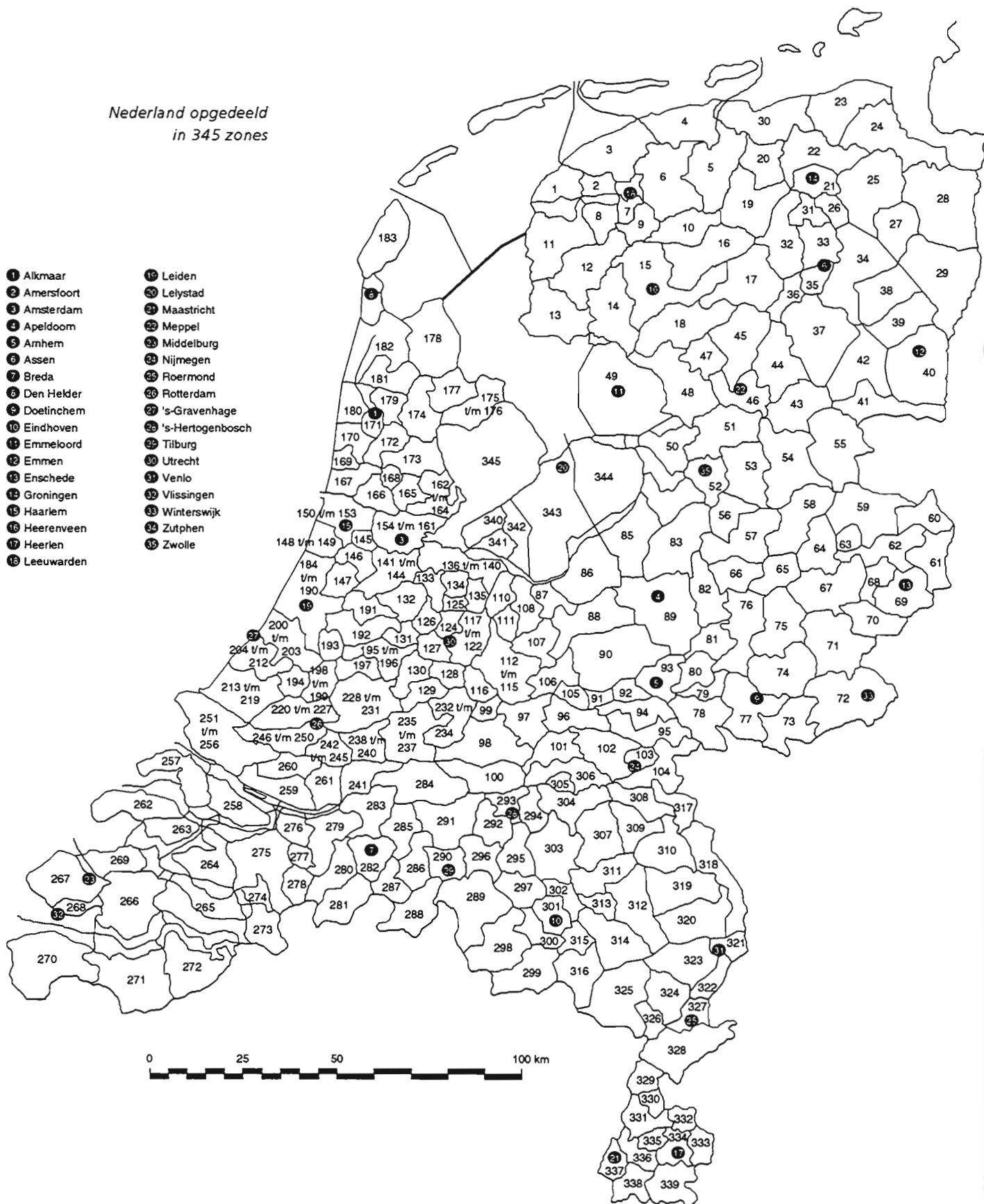
Model maken

De meeste mensen verplaatsen zich bijna dagelijks. Van huis naar werk of school, voor familiebezoek, voor recreatie en ontspanning. Als mensen een geschikte vervoerwijze hebben gekozen om tussen twee plaatsen te reizen, kiezen ze vervolgens de kortste route. Ze kijken daarbij zowel naar de kortste afstand als naar de kortste reistijd.

Met behulp van een wiskundig model van de werkelijkheid wordt de routekeuze van reizigers nagebootst. Dit is bijvoorbeeld nuttig

Nederland opgedeeld
in 345 zones

- | | |
|---------------|---------------------|
| 1 Alkmaar | 16 Leiden |
| 2 Amersfoort | 17 Lelystad |
| 3 Amsterdam | 18 Maastricht |
| 4 Apeldoorn | 19 Meppel |
| 5 Arnhem | 20 Middelburg |
| 6 Assen | 21 Nijmegen |
| 7 Breda | 22 Roermond |
| 8 Den Helder | 23 Rotterdam |
| 9 Doetinchem | 24 's-Gravenhage |
| 10 Eindhoven | 25 's-Hertogenbosch |
| 11 Emmeloord | 26 Tilburg |
| 12 Emmen | 27 Utrecht |
| 13 Enschede | 28 Venlo |
| 14 Groningen | 29 Vlissingen |
| 15 Haarlem | 30 Winterswijk |
| 16 Heerenveen | 31 Zutphen |
| 17 Heerlen | 32 Zwolle |
| 18 Leeuwarden | |



om bij het aanleggen van een nieuwe weg in te kunnen schatten of en hoe vaak deze gebruikt zal worden. In dit werkboek ga je werken met technieken die worden gebruikt in het **Landelijk Model Systeem** (afgekort LMS), een model van het verkeersgedrag in Nederland.

Dit model is eigendom van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat, en in beheer bij Hague Consulting Group.

Allereerst wordt Nederland opgedeeld in 345 zones. Deze verdeling is te zien in de figuur op pagina 6. Voor elke combinatie van herkomst en bestemming is bekend hoeveel mensen met de trein en hoeveel met de auto reizen.

- 1 Welke Herkomst-Bestemmingscombinatie hoort bij een reiziger van Zwolle naar Doetinchem?
En bij een reiziger van Heerlen naar Groningen?

Vervolgens wordt heel het wegennet en heel het treinnet abstract weergegeven. Zo'n abstract **modelnetwerk** bestaat uit rechte stukken van afslag tot afslag of van station tot station. Het verschil met een wegenkaart is dus dat de bochten in de (spoor)weg niet getekend worden. Het treinnet zoals dat in de spoorboekjes van de NS staat, is een voorbeeld van een modelnetwerk.

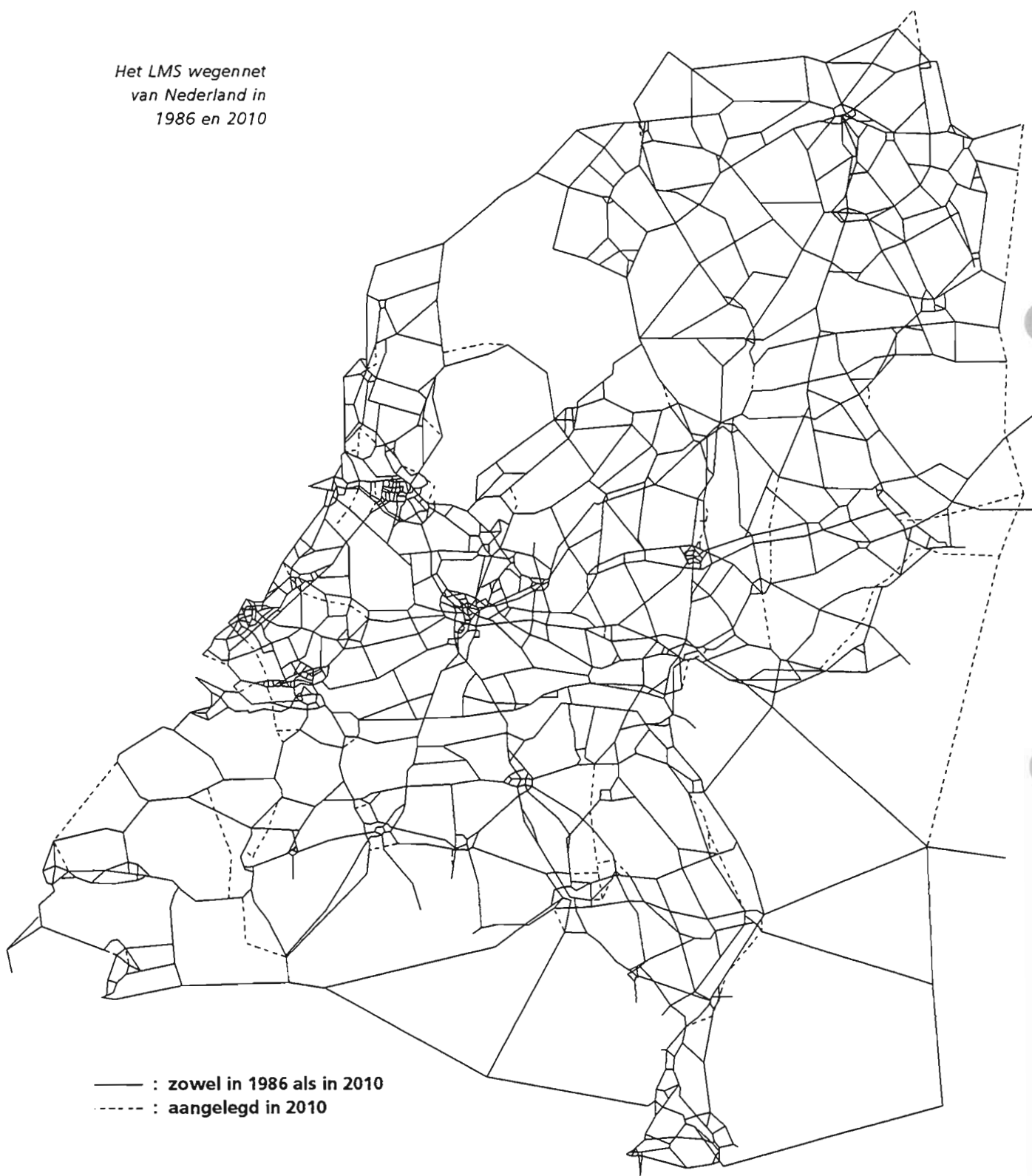
De figuur op de volgende pagina is een afbeelding van het wegennet van Nederland zoals dat in de modellen van het LMS wordt gebruikt.

- 2 Wat is de betekenis van de stippellijnen?
Enkele jaren geleden (in elk geval na 1986) is bij Amsterdam de Zeeburgertunnel in gebruik genomen. Kun je die tunnel vinden op het wegennet?

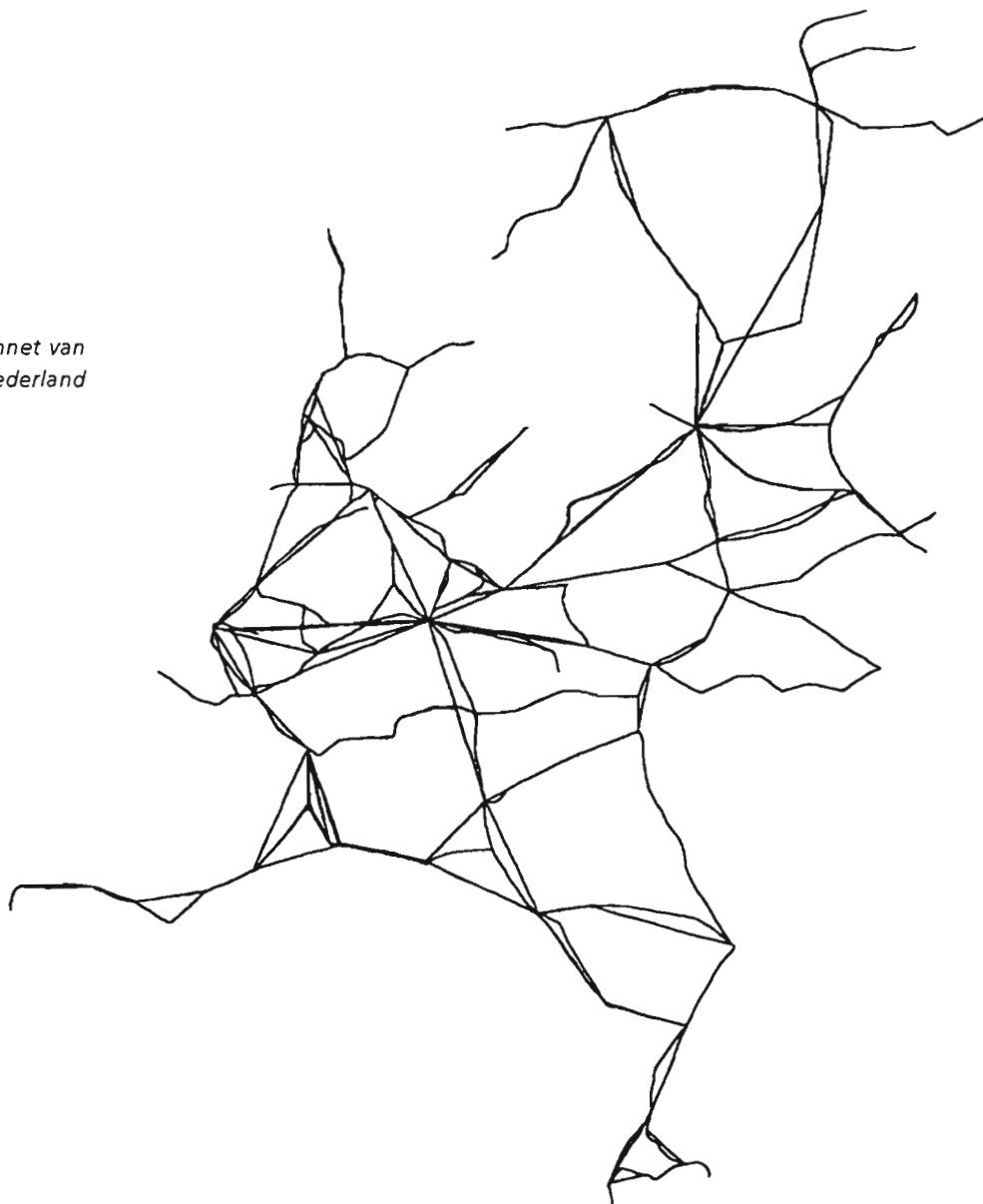
De figuur op pagina 9 stelt het spoorwegennet van Nederland voor zoals dat in de modellen van het LMS wordt gebruikt.

- 3 Stel, er wordt een treinverbinding tussen Lelystad en Heerenveen aangelegd, die verder gaat naar Groningen. Waar zou het netwerk dan veranderen?

*Het LMS wegensnet
van Nederland in
1986 en 2010*



*Spoorwegennet van
Nederland*



2

DE KORTSTE ROUTE

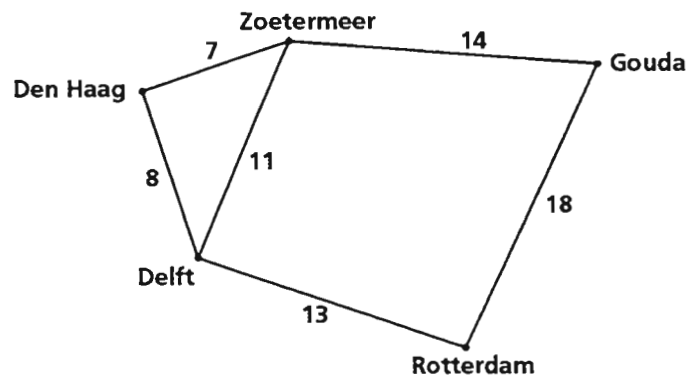


Het autoverkeer

Om voor elke autoreiziger de kortste route in het netwerk te vinden wordt gebruik gemaakt van computers. Voor elke herkomst en elke bestemming zoeken deze computers de kortste route. Dat kan alleen door op een systematische manier naar de kortste route te zoeken. Zo'n systematische methode wordt een **algoritme** genoemd.

Een bekende methode om de kortste route te zoeken is het **algoritme van Dijkstra**. We bekijken aan de hand van een eenvoudig voorbeeld hoe dit algoritme werkt.

Uitgangspunt is het netwerk hieronder. Er zijn vijf steden getekend: Gouda, Zoetermeer, Den Haag, Delft en Rotterdam.



We proberen om vanuit Gouda de kortste route te vinden naar alle andere plaatsen. In het model reizen dan alle automobilisten uit Gouda naar de overige plaatsen via die gevonden kortste route.

De eerste stap in het algoritme is om vanuit Gouda de lengte van de directe routes naar alle andere plaatsen te vinden. Direct wil zeggen: niet via

andere plaatsen. Wanneer er geen directe route is, doe je alsof de lengte van die route oneindig groot is.

In de **eerste stap** vinden we:

van Gouda naar	Zoetermeer:	14
	Rotterdam:	...
	Den Haag:	...
	Delft:	oneindig

4 Wat komt er te staan op de plaats van de stippeltjes?

De tweede stap is de verbinding met de kortste lengte - naar Zoetermeer dus - vast te leggen. Vervolgens kijken we of we via die gekozen verbinding een kortere route naar de andere plaatsen kunnen vinden. Voor Den Haag en Delft is dat duidelijk het geval. Er is geen directe verbinding tussen Zoetermeer en Rotterdam, dus de verbinding met Rotterdam kan niet worden verkort.

Na de **tweede** stap vinden we als lengtes:

van Gouda naar	Zoetermeer:	14	deze ligt vanaf nu vast
	Rotterdam:	18	
	Den Haag:	...	
	Delft:	14 + 11 (= 25)	

5 Wat wordt de lengte van Gouda - Den Haag in de tweede stap?

De derde stap is een herhaling van de tweede. Uit de verbindingen die nog niet vast liggen kiezen we die met de kortste lengte. In dit geval is dat de verbinding naar Rotterdam. Deze leggen we vast, en we gaan kijken of we via Rotterdam op een snellere manier naar de nog overgebleven plaatsen - Den Haag en Delft - kunnen reizen.

Omdat er geen directe verbinding is tussen Rotterdam en Den Haag valt deze mogelijkheid voor Den Haag af. Voor Delft hebben we de keuze uit 14 + 11 km (via Zoetermeer) en 18 + 13 km (via Rotterdam). We blijven reizen via Zoetermeer.

Als kortste lengtes krijgen we na de **derde** stap:

van Gouda naar	Zoetermeer:	14	deze lag al vast
	Rotterdam:	18	deze ligt vanaf nu vast
	Den Haag:	14 + 7 (= 21)	
	Delft:	14 + 11 (= 25)	

We herhalen stap 2. We leggen de korste nog niet definitieve verbinding vast - naar Den Haag dus - en we kijken of we via Den Haag op een snellere manier naar de overgebleven plaatsen - alleen Delft - kunnen reizen. Voor Delft hebben we de keuze uit: 14 + 11 (via Zoetermeer) en 14 + 7 + 8

(via Zoetermeer en Den Haag). We houden het op reizen via Zoetermeer.

De lengtes van de kortste routes na stap vier zijn:

van Gouda naar	Zoetermeer:	14	deze lag al vast
	Rotterdam:	18	deze lag al vast
	Den Haag:	$14 + 7 (= 21)$	deze ligt vanaf nu vast
	Delft:	$14 + 11 (= 25)$	

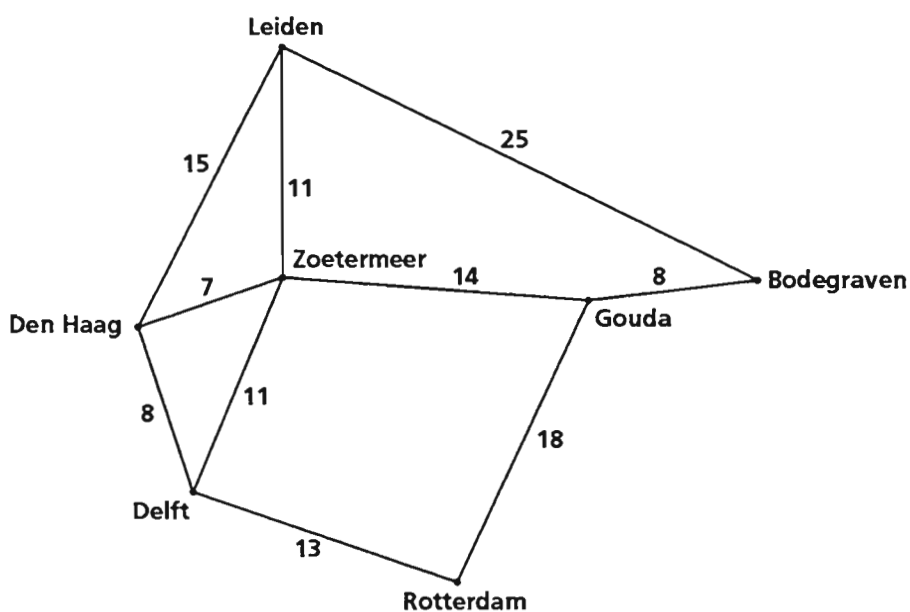
Weer kiezen we de nog niet definitieve verbinding met de kortste lengte. We hebben alleen nog de keuze uit Delft. Deze leggen we vast, en we zijn klaar. Het algoritme van Dijkstra is voltooid en de kortste routes vanuit Gouda naar de andere vier plaatsen zijn bekend.

- 6 Stel je wilt vanuit iedere plaats de lengtes van de kortste routes naar de andere plaatsen uitrekenen. Hoeveel (verschillende) lengtes van kortste routes vind je dan?

Een bekend begrip in de verkeerskunde is de term **reizigers-kilometers**.

- 7 Wat zal men daarmee bedoelen?

- 8 Op een zeker moment reizen er 20 mensen van Gouda naar Zoetermeer, 10 mensen van Gouda naar Den Haag, 15 mensen van Gouda naar Delft en 30 mensen van Gouda naar Rotterdam. Hoeveel reizigerskilometers worden er dan in totaal afgelegd als iedereen de kortste route kiest?



- 9 We breiden het netwerk iets uit - zie de figuur op pagina 12. De steden Leiden en Bodegraven worden toegevoegd. Probeer nu zelf de kortste route van Delft naar alle overige steden te vinden.

Het zal duidelijk zijn dat het bepalen van alle kortste routes voor heel Nederland veel tijd kost. Immers, voor elke herkomstzone, dus 345 keer, moet de boven beschreven serie stappen worden uitgevoerd voor alle mogelijke bestemmingen.

Resultaten

Beleidsmakers zijn geïnteresseerd in de mobiliteit van de Nederlandse bevolking. Om een schatting van de mobiliteit te kunnen maken, zijn heel wat gegevens nodig. Voor elke combinatie van herkomst en bestemming moet, via het algoritme, de kortste route worden bepaald. Dit moet gedaan worden voor alle mogelijke vervoerswijzen. Verder wordt aangenomen dat alle mensen via de voor hen gunstigste route reizen. Tenslotte zijn gegevens over aantallen verplaatsingen en het doel van de verplaatsingen nodig.

Het berekenen van een schatting van de mobiliteit is, ook voor de krachtigste computers, een enorme klus. De snelste computers hebben ca. 20 minuten nodig om alle mogelijkheden uit te rekenen. Ramingen kunnen worden gemaakt voor het heden, maar ook voor de toekomst. Een veel gebruikt toekomstjaar is 2010, zie de tabel op pagina 16. Zo'n voorspelling voor een toekomstjaar ontstaat door andere bevolkingsaantallen, aantallen auto's en bijvoorbeeld trein- en benzineprijzen in het model te gebruiken. Deze prijzen bepalen immers mede de vervoerswijze die mensen kiezen. Ook worden er bijvoorbeeld andere wegennetwerken gebruikt. Er wordt dan rekening gehouden met te verwachten nieuwe wegen (zie de figuur op pagina 8; de geplande nieuwe wegen zijn gestippeld).

De tabel op de volgende pagina toont de resultaten van het model voor 1986. De afkorting NSES boven de tabellen slaat op het onderdeel van het Landelijk Model Systeem waarin de vervoerswijze- en bestemmingskeuze worden gemodelleerd. Het zijn dit soort tabellen die tot het opstellen van bijvoorbeeld het Structuurschema Verkeer en Vervoer (het beleidsplan van het ministerie van Verkeer en Waterstaat) hebben geleid. Diverse pakketten van beleidsmaatregelen zijn in de modellen gestopt, waarbij steeds is gekeken naar de effecten op het kilometrage in Nederland. De regering had het streven om het kilometrage met maximaal 35 procent te laten groeien tussen 1986 en 2010. Het pakket beleidsmaatregelen waarmee dat volgens de modellen bereikt kan worden is in de Tweede Kamer voorgesteld.

Deze tabel bestaat eigenlijk uit twee tabellen. Het eerste gedeelte geeft de aantallen tours (dat zijn verplaatsingen) uitgesplitst naar vervoerswijze en motief (reden van vervoer). Het tweede gedeelte geeft de reizigers-kilometers, eveneens uitgesplitst naar vervoerswijze en motief.

Beide tabellen zijn een voorbeeld van een zogenaamde **kruistabel**, dat is

HAGUE CONSULTING GROUP - N.S.E.S. (1988) - MODEL VOOR VERKEERSPROGNOSES

SCENARIO: 86B-05/86B-05/86B-05, DATUM: 890418, TIJD: 195334

Aantallen reizen en
reizigerskilometers in
Nederland in 1986 vol-
gens LSSS-module
(etmaal gemiddelde
werkdag)

AANTALLEN TOURS (MLN) NEDERLAND NAAR VERVOERSWIJZE EN MOTIEF

	AUTORIJD		PASSAGIER	TREIN	STAD-BTM	REST-BUS	LANGZAAM	TOTAAL
WOON-WERK	1,905	0,231	0,153	0,084	0,179	1,726	4,278	
RIJ %	44,5	5,4	3,6	2,0	4,2	40,3	100,0	
KOL %	31,7	9,9	45,6	31,5	30,5	14,7	20,1	
REST WERK	0,644	0,107	0,043	0,009	0,029	0,460	1,292	
RIJ %	49,8	8,3	3,3	0,7	2,2	35,6	100,0	
KOL %	10,7	4,6	12,8	3,5	4,9	3,9	6,1	
OPLEIDING	0,087	0,217	0,049	0,023	0,104	3,121	3,600	
RIJ %	2,4	6,0	1,4	0,6	2,9	86,7	100,0	
KOL %	1,4	9,3	14,5	8,5	17,7	26,6	16,9	
WINKELN	1,264	0,646	0,033	0,112	0,135	2,562	4,750	
RIJ %	26,6	13,6	0,7	2,4	2,8	53,9	100,0	
KOL %	21,0	27,8	9,8	41,9	23,0	21,8	22,3	
OVERIG	2,107	1,124	0,058	0,039	0,140	3,877	7,345	
RIJ %	28,7	15,3	0,8	0,5	1,9	52,8	100,0	
KOL %	35,1	48,4	17,3	14,6	23,9	33,0	34,5	
TOTAAL	6,007	2,325	0,335	0,267	0,586	11,746	21,265	
RIJ %	28,2	10,9	1,6	1,3	2,8	55,2	100,0	
KOL %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

REIZIGERS-KMS (MLN) NEDERLAND NAAR VERVOERSWIJZE EN MOTIEF

	AUTORIJD		PASSAGIER	TREIN	STAD-BTM	REST-BUS	LANGZAAM	TOTAAL
WOON-WERK	49,166	7,949	8,616	1,161	4,717	13,070	84,678	
RIJ %	58,1	9,4	10,2	1,4	5,6	15,4	100,0	
KOL %	32,3	16,9	32,7	33,3	27,3	21,4	27,5	
REST WERK	32,877	5,672	6,124	0,174	1,874	2,402	49,123	
RIJ %	66,9	11,5	12,5	0,4	3,8	4,9	100,0	
KOL %	21,6	12,0	23,3	5,0	10,8	3,9	16,0	
OPLEIDING	4,816	1,805	4,767	0,385	3,724	17,357	32,853	
RIJ %	14,7	5,5	14,5	1,2	11,3	52,8	100,0	
KOL %	3,2	3,8	18,1	11,1	21,5	28,5	10,7	
WINKELN	16,843	6,965	1,351	1,124	2,002	9,682	37,968	
RIJ %	44,4	18,3	3,6	3,0	5,3	25,5	100,0	
KOL %	11,1	14,8	5,1	32,3	11,6	15,9	12,3	
OVERIG	48,626	24,679	5,459	0,639	4,992	18,429	102,823	
RIJ %	47,3	24,0	5,3	0,6	4,9	17,9	100,0	
KOL %	31,9	52,4	20,7	18,3	28,8	30,2	33,4	
TOTAAL	152,328	47,069	26,318	3,482	17,309	60,941	307,446	
RIJ %	49,5	15,3	8,6	1,1	5,6	19,8	100,0	
KOL %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

een tabel met twee ingangen. Bij een kruistabel worden vaak ook **randtalen** gegeven. De getallen in het binnenwerk van de tabel kunnen dan zowel horizontaal als verticaal gepercenteerd worden. In de tabellen worden deze percentages aangegeven met respectievelijk rij % en kol %. Uit de tabel kun je heel wat informatie halen over het Nederlandse reisgedrag. Zo betekent het getal 1,905 in de eerste cel van de eerste tabel dat er in 1986 in Nederland gemiddeld 1,905 miljoen autoritten ten behoeve van woon-werk verkeer per etmaal gemaakt zijn.

- 10 Hoeveel verplaatsingen zijn er in totaal voor woon-werk verkeer geweest op een gewone dag in 1986?
Hoeveel procent daarvan bestond uit autoritten?
- 11 Hoeveel auto-verplaatsingen per dag zijn er in totaal geweest?
Hoeveel procent hiervan was voor woon-werk verkeer?
- 12 Nederland had in 1986 ongeveer 14,5 miljoen inwoners.
Hoeveel verplaatsingen maakten we dat jaar met z'n allen per dag?
Hoeveel verplaatsingen is dat ongeveer per persoon?
Hoeveel reizigers-kilometers maakten we met z'n allen per dag?
Hoeveel kilometer per persoon is dat?
- 13 In de tabel kun je aflezen dat 40,3 % van de woon-werk **verplaatsingen** voor rekening is van het langzaam verkeer (voetgangers en fietsers).
Hoeveel procent van de woon-werk **kilometers** kan toegeschreven worden aan het langzaam verkeer? Kun je het verschil tussen deze twee percentages uitleggen?
- 14 In 1990 is de OV-jaarkaart voor studenten ingevoerd. Welke getallen uit de tabellen zullen het meest veranderd zijn ten gevolge van deze maatregel?
- 15 Hoe lang is een gemiddelde tour van een autorijder die gaat winkelen in 1986? En van een treinreiziger die naar school gaat in 1986?

De tabel op pagina 16 toont model-uitkomsten voor 2010. Voor de groei van de bevolking en de werkgelegenheid is een voorspelling van het CBS gebruikt - het zogenaamde **Middenscenario**. Het overheidsbeleid is bij het maken van deze tabellen niet gewijzigd. Dat houdt in dat er geen extra maatregelen zijn ingevoerd: de prijzen stijgen volgens de normale ontwikkeling en alleen de wegen die al gepland waren worden aangelegd.

- 16 Vergelijk de tabellen voor 2010 met die voor 1986.
Met hoeveel procent zal, volgens dit scenario, het aantal autokilometers voor woon-werk groeien tussen 1986 en 2010?
En het aantal autotours voor woon-werk?
En de gemiddelde lengte van een autotour voor woon-werk?
- 17 Wat kun je op basis van het cijfermateriaal zeggen over de verwachte mobiliteit in 2010, vergeleken met 1986?

HAGUE CONSULTING GROUP - N.S.E.S. (1988) - MODEL VOOR VERKEERSPROGNOSES

SCENARIO: 10M-NET/10M-NET/10M-NET, DATUM: 890421, TIJD: 120111

Aantallen reizen en reizigerskilometers in Nederland in 2010 bij het middenscenario en ongewijzigd beleid, volgens de LSSS-module (etmaal gemiddelde werkdag)

AANTALLEN TOURS (MLN) NEDERLAND NAAR VERVOERSWIJZE EN MOTIEF

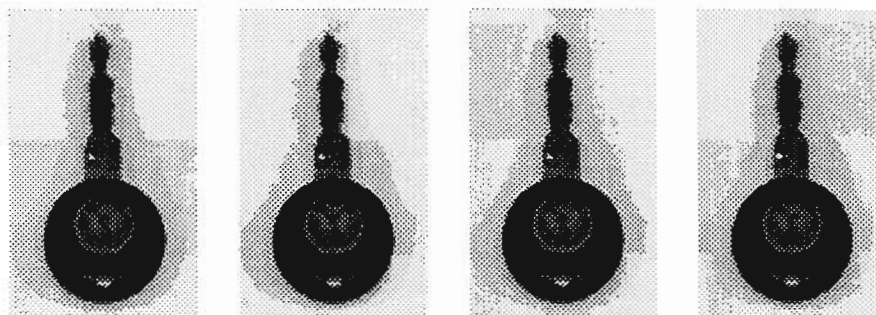
	AUTORIJD		PASSAGIER	TREIN	STAD-BTM	REST-BUS	LANGZAAM	TOTAAL
WOON-WERK	3,078	0,194	0,152	0,077	0,159	1,599	5,258	
RIJ %	58,5	3,7	2,9	1,5	3,0	30,4	100,0	
KOL %	31,3	10,3	44,7	32,2	29,9	15,4	22,6	
REST WERK	1,158	0,097	0,042	0,009	0,027	0,426	1,760	
RIJ %	65,8	5,5	2,4	0,5	1,6	24,2	100,0	
KOL %	11,8	5,2	12,5	3,6	5,1	4,1	7,6	
OPLEIDING	0,123	0,188	0,054	0,021	0,096	2,609	3,092	
RIJ %	4,0	6,1	1,7	0,7	3,1	84,4	100,0	
KOL %	1,2	10,0	15,9	8,8	18,2	25,1	13,3	
WINKELN	2,122	0,528	0,035	0,098	0,121	2,319	5,223	
RIJ %	40,6	10,1	0,7	1,9	2,3	44,4	100,0	
KOL %	21,6	28,1	10,2	41,3	22,8	22,3	22,5	
OVERIG	3,357	0,873	0,056	0,033	0,127	3,452	7,899	
RIJ %	42,5	11,1	0,7	0,4	1,6	43,7	100,0	
KOL %	34,1	46,5	16,6	14,0	23,9	33,2	34,0	
TOTAAL	9,839	1,880	0,339	0,238	0,530	10,406	23,232	
RIJ %	42,4	8,1	1,5	1,0	2,3	44,8	100,0	
KOL %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

REIZIGERS-KMS (MLN) NEDERLAND NAAR VERVOERSWIJZE EN MOTIEF

AUTORIJD			PASSAGIER	TREIN	STAD-BTM	REST-BUS	LANGZAAM	TOTAAL
WOON-WERK	81,657	6,966	8,623	1,033	4,264	11,965	114,148	
RIJ %	71,5	6,1	7,2	0,9	3,7	10,5	100,0	
KOL %	31,2	18,0	31,9	33,7	26,1	22,1	28,6	
REST WERK	62,412	5,248	5,947	0,150	1,839	2,184	77,780	
RIJ %	80,2	6,7	7,6	0,2	2,4	2,8	100,0	
KOL %	23,9	13,5	23,0	4,9	11,2	4,0	19,5	
OPLEIDING	7,466	1,626	5,231	0,370	3,820	15,116	33,630	
RIJ %	22,2	4,8	15,6	1,1	11,4	44,9	100,0	
KOL %	2,9	4,2	20,2	12,1	23,3	27,9	8,4	
WINKELN	29,291	5,599	1,313	0,970	1,817	8,640	47,630	
RIJ %	61,5	11,8	2,8	2,0	3,8	18,1	100,0	
KOL %	11,2	14,4	5,1	31,6	11,1	15,9	11,9	
OVERIG	88,525	19,310	5,128	0,542	4,625	16,308	126,438	
RIJ %	63,7	15,3	4,1	0,4	3,7	12,9	100,0	
KOL %	30,08	49,8	19,8	17,7	28,3	30,1	31,6	
TOTAAL	261,351	38,749	25,882	3,065	16,366	54,213	399,625	
RIJ %	65,4	9,7	6,5	0,8	4,1	13,6	100,0	
KOL %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

3

NUTSFUNCTIES



Prognoses voor de toekomst

Schattingen van het gedrag van personen worden vaak gemaakt met behulp van zogenaamde nutsfuncties. Dit zijn functies die het nut, dat een persoon van een bepaald artikel ervaart, wiskundig beschrijven. Dit nut is afhankelijk van een aantal kenmerken van de persoon en van het artikel.

In het verkeers- en vervoersonderzoek gaat het in deze nutsfuncties vaak om de keuze van vervoerswijze en bestemming van personen, of bijvoorbeeld het autobezit.

In het laatste geval is het artikel een **auto**, en de kenmerken die in de nutsfunctie voorkomen zijn het **inkomen** van een persoon (personen met een hoger inkomen kopen eerder een auto), het **aantal** personen in een huishouden (gezinnen met kinderen kopen vaker een auto), de **prijs** van een auto (hoe duurder, hoe minder vaak een auto aangeschaft wordt), enzovoort.

Welke factoren bepalend zijn voor het hebben van een auto wordt vastgesteld door middel van onderzoek, meestal in de vorm van enquêtes. Vaak worden twee soorten enquêtes gehouden.

Allereerst wil de onderzoeker een beeld krijgen van de huidige situ-

atie. Welke kenmerken hebben autobezitters en personen die geen auto hebben, en is daar een verband in te ontdekken?

Dit is af te leiden uit vragen als:

- 'Heeft u een auto?'
- 'Wat is uw inkomen?'
- 'Uit hoeveel personen bestaat uw huishouden?'

Een onderzoek als dit heet een **revealed preference onderzoek** (uit het onderzoek komt de voorkeur naar voren).

Vaak is een dergelijk onderzoek voldoende om een volledig beeld te krijgen van hoe het autobezit afhangt van externe factoren. Soms zijn aanvullende vragen nodig, bijvoorbeeld van de vorm: 'Als de prijs van een goedkope auto nou eens 5000 gulden lager zou liggen, zou u dan wél een auto kopen?'

Of: 'Als de prijs van de auto 5000 hoger zou zijn geweest op het moment dat u de auto kocht, zou u dan ook de auto hebben gekocht?'

De informatie uit een dergelijk onderzoek wordt gebruikt om in te kunnen schatten hoe de reactie van personen zal zijn als zich een volstrekt nieuwe situatie voordoet. In het genoemde voorbeeld kunnen de antwoorden van personen leiden tot een betere verklaring van

het verband tussen autoprijzen en koopgedrag.

Een onderzoek als dit heet een **stated preference onderzoek** (personen verklaren hun gedrag). De informatie uit dit type onderzoek is veel minder betrouwbaar, want wie zegt dat personen ook doen wat ze

zeggen te gaan doen in een hypothetische situatie?

Het is dan ook niet verstandig om bij het opstellen van nutsfuncties alleen uit te gaan van informatie uit een stated preference onderzoek: er moet altijd tegelijk een revealed preference onderzoek worden gedaan.

Een voorbeeld

Bij kostwinners in het bezit van een rijbewijs in zes verschillende huishoudens is een revealed preference onderzoek gedaan. Daarbij zijn tien vragen gesteld. De vragen met hun antwoorden staan in de tabel:

	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Heeft u een auto?	ja	ja	nee	ja	nee	nee
Hoe hoog is uw inkomen? (x 1000,-)	50	35	25	40	20	30
Uit hoeveel personen bestaat uw huishouden?	3	5	3	2	1	1
Werkt uw partner?	nee	nee	nee	ja	nvt	nvt
Woont u in de stad?	nee	nee	nee	ja	ja	ja
Hoe hoog is uw opleiding?	univ.	hbo	mbo	hbo	mbo	univ.
Woont u ver van uw werk?	ja	ja	nee	ja	nee	nee
Bent u een vrouw?	nee	nee	ja	ja	nee	ja
Bent u jonger dan 25 jaar?	nee	nee	ja	nee	ja	ja
Bent u ouder dan 65 jaar?	nee	nee	nee	nee	nee	nee

- 18 Kun je drie factoren noemen waarvan je verwacht dat ze een positief effect hebben op het autobezit, twee waarvan je een negatief effect verwacht en twee factoren waarvan je op basis van deze informatie nog niets kunt zeggen?

Nutsfuncties in het Landelijk Model Systeem

Een belangrijk model om het reisgedrag van personen te modelleren en voorspellingen te doen over de verandering in het reisgedrag van personen in de toekomst is het al eerder genoemde Landelijk Model Systeem. Dit model wordt onder meer gebruikt om vooraf een indruk van de effecten van diverse tolheffingssystemen te krijgen.

Het Landelijk Model Systeem is opgedeeld in een aantal deelmodellen. Een belangrijk onderdeel hierin is het **autobezitsmodel**. Hierin worden twee situaties onderscheiden. De eerste, voor huishoudens waarin één rijbewijs

aanwezig is, geldt voor de keuze tussen het wel of niet hebben van een auto. De tweede, voor huishoudens waarin twee of meer rijbewijzen aanwezig zijn, geldt voor het hebben van één of meer auto's. Deze opsplitsing is gemaakt omdat in Nederland slechts twee procent van de huishoudens waarin twee rijbewijzen aanwezig zijn geen auto heeft. Dit wordt als een constante factor in de modellen meegenomen. Er wordt verder vanuit gegaan dat huishoudens zonder rijbewijs ook geen auto hebben.

De nutsfunctie voor het hebben van één auto met als alternatief het hebben van geen auto ziet er als volgt uit:

$$U(A) = 2.73 - 0.41 * FLIC + 0.05 * AGEL1 + 10.61 * LMRHINC + 0.17 * REGIO + 0.74 * LURB$$

$$U(B) = 10.61 * LMRHINC$$

Betekenis van de afkortingen:

U	- nutsfunctie
A	- het hebben van een auto
B	- het niet hebben van een auto
FLIC	- 1 als in het huishouden een vrouw de enige rijbewijsbezitter is, anders 0
AGEL1	- leeftijd - 45 voor rijbewijsbezitters ouder dan 45
LMRHINC	- log van het netto huishoudinkomen per maand, waarvan afgetrokken zijn de uitgaven voor de woning, de dagelijkse uitgaven en de vaste autokosten
REGIO	- 1 als de woongemeente niet ligt in Utrecht, Noord Holland of Zuid Holland, anders 0
LURB	- 1 als de woongemeente minder dan 50.000 inwoners heeft, anders 0.

19 Heeft het vrouw zijn een positief of een negatief effect op het nut van autobezit?

20 Heeft het hebben van een auto voor een persoon uit de stad Groningen een groter of kleiner nut dan voor een persoon uit Amsterdam?

21 Stel er zijn twee personen met identieke omstandigheden, behalve dat de één uit Haarlem komt en de ander uit Deurne. Wiens nut van het hebben van een auto is groter, en hoeveel? Wat verandert er in dit verschil als de persoon uit Deurne verhuist naar Berkel en Rodenrijs?

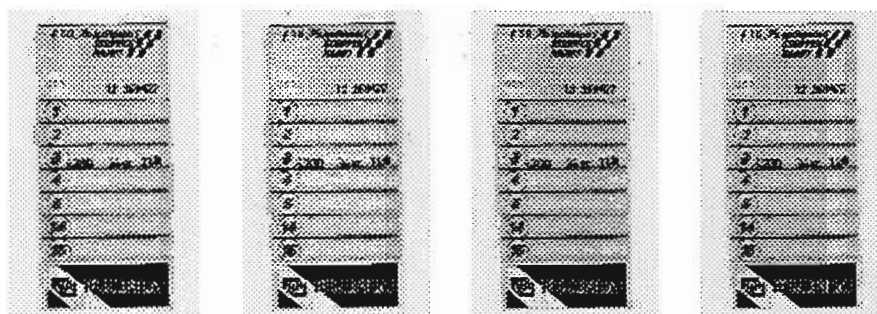
Uiteraard is het niet zo dat twee personen met identieke omstandigheden altijd dezelfde keuze zullen maken. Er blijven altijd factoren in een beslissing van personen die niet op een of andere manier zijn te verklaren. Deze factor wordt in de modellen opgenomen in de vorm van een zoge-

naamde storingsterm. Dit is een statistische term, waarvan de grootte niet van tevoren is vast te stellen, maar waarvoor wel een kansverdeling is te geven. De verwachtingswaarde van deze factor is altijd nul (als je je enquêtes goed hebt uitgevoerd), en door zoveel mogelijk aspecten van een keuze te verklaren wordt de standaardafwijking van deze factor zo klein mogelijk gehouden.

Omdat de storingsterm niet exact bekend is, is ook niet meer zeker te zeggen welke optie (wel een auto of geen auto) voor een bepaald individu het grootste nut heeft. Wel is de kans uit te rekenen dat de ene optie een grotere kans heeft dan de andere. Daarbij gebruik je de kansverdeling van de storingsterm. In de uiteindelijke modellen worden deze kansen gebruikt. Er wordt vanuit gegaan dat personen, gemiddeld over heel Nederland, de optie zullen kiezen met de grootste kans.

4

TOETS VAN
WILCOXON



Verdeling van opbrengsten van de strippenkaarten

De opbrengsten van de strippenkaarten worden verdeeld over de openbaar vervoermaatschappijen in Nederland. Een groot deel van het openbaar vervoer met de strippenkaart wordt verzorgd door de busmaatschappijen.

In 1990 is een onderzoek gehouden naar het reisgedrag van personen die reizen met een strippenkaart. Daarbij is onder andere gevraagd waar ze de kaart hebben gekocht, met welke maatschappij ze gaan reizen en hoeveel strippen ze daar gaan besteden. Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek, uitgevoerd door de WROOV (= Werkgroep Reizigers-Omvang en Omvang Verkopen), zijn verdeelsleutels opgesteld voor de opbrengst van de strippenkaarten. Wie het grootste aantal reizigers vervoert krijgt het meest. De oude verdeling was gebaseerd op een onderzoek uit 1984,

maar sinds die tijd is er nogal wat veranderd in de verdeling.

Streekvervoer Nederland, de vereniging die de belangen van alle streekvervoerbedrijven behartigt, vond dat door de nieuwe verdeling de streekvervoerbedrijven een lager aandeel in de verdeling kregen dan voorheen. Deze vereniging is daarom op een onderzoekinstelling afgestapt om de verdeling te toetsen. Een belangrijk onderdeel van het onderzoek was het in kaart brengen van de bedragen die het streekvervoer kreeg in 1984 en in 1990. Hetzelfde is gedaan voor de stadsbusdiensten. Om te weten of het onderzoek zin had is daarbij een statistische toets uitgevoerd, om na te gaan of er inderdaad een verschil was tussen de twee jaren.

Voor de rest van dit hoofdstuk is het nodig dat je bekend bent met de gang van zaken bij het toetsen van hypothesen.

In de tabel hieronder staan de gegevens van 19 streekbusmaatschappijen. Omdat de echte gegevens geheim zijn, zijn de namen van de maatschappijen weggelaten en de werkelijke geldbedragen door een constante gedeeld.

Maatschappij	1984	1990
1	226,48	179,08
(Gefingeerde) inkom-		
sten van 19 streekbus-		
maatschappijen		
2	10357,62	10420,88
3	25235,91	24235,09
4	3966,36	3812,19
5	2387,03	1968,76
6	11583,42	10754,94
7	7552,51	8122,27
8	7147,48	6526,13
9	1232,00	839,16
10	21551,59	19414,24
11	920,95	716,16
12	35,73	15,57
13	1670,64	2129,33
14	14090,83	10336,74
15	6,04	7,10
16	6841,19	7165,56
17	19934,74	19088,49
18	8208,40	7782,68
19	10266,77	8666,79

In het onderzoek is de zogenaamde **toets van Wilcoxon** gebruikt. Deze toets kan gebruikt worden om twee, onderling afhankelijke, steekproeven met elkaar te vergelijken. De toets werkt met rangnummers en is een uitbreiding van de Tekentoets.

De toets van Wilcoxon zit als volgt in elkaar:

- Allereerst worden de twee waarden voor 1984 en 1990 per busmaatschappij van elkaar afgetrokken. We weten nu het verschil. Wanneer er geen noemenswaardig verschil is tussen beide jaren verwachten we dat het verschil voor elke busmaatschappij ongeveer 0 zal zijn.
- Als tweede stap wordt de absolute waarde genomen van het verschil. Ofwel, als het verschil negatief is, wordt het verschil met -1 vermenigvuldigd. We hebben nu alleen positieve verschillen.
- Deze positieve verschillen worden in volgorde gezet en ze krijgen een rangnummer. De kleinste krijgt nummer 1, en zo oplopend.
- Dit rangnummer vermenigvuldigen we met het oorspronkelijke teken

van het verschil, dus met -1 als het verschil negatief was, en met +1 als het verschil positief was. Dit totaal tellen we op - de som noemen we S .

Deze som is, als er geen noemenswaardig verschil is, ongeveer 0. De kans dat deze som groter is dan 0 is 0.5, en de kans dat deze som kleiner is dan 0 is ook 0.5. Bij de som hoort ook een standaardafwijking, de formule daarvoor is:

$$\sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6}}$$

waarbij n het aantal waarnemingen (= busmaatschappijen) is.

Voor ons geval definiëren we de nulhypothese:

$$H_0: S = 0$$

en als alternatief:

$$H_1: S > 0$$

22. Waarom is het alternatief $S > 0$ en niet $S < 0$ of $S \neq 0$?

De toetsingsgrootte die bij deze toets hoort ziet er als volgt uit:

$$\frac{S}{\sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6}}}$$

Deze toetsingsgrootte is onder de nulhypothese bij benadering standaardnormaal verdeeld.

De onderzoekers wilden met 95 procent betrouwbaarheid zeggen of de busmaatschappijen minder kregen in 1990. Daarom is de volgende test opgesteld:

Verwerp H_0 als

$$\frac{S}{\sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6}}} \geq z_{\text{kritiek}}$$

$$\frac{S}{\sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6}}}$$

De kritieke z -waarde zoeken we op in de tabel voor de normale verdeling, bij $\alpha = 0,05$.

23. Pas de toets van Wilcoxon toe op de gegevens uit de tabel op de pagina hiervoor en trek een conclusie: kreeg het streekvervoer in 1990 inderdaad minder dan in 1984?

Inleiding

Verkeer en vervoer zijn uit onze samenleving niet weg te denken. Iedereen heeft er mee te maken en het is vaak een onderwerp van heftige discussie. Sommige mensen beweren absoluut niet zonder auto te kunnen, anderen zijn fanatieke gebruikers van het openbaar vervoer. Op alle fronten neemt de mobiliteit nog steeds toe, waardoor de overheid geregeld ingrijpende beleidsbeslissingen moet nemen. Ter voorbereiding laat de overheid zich over allerlei ingewikkelde kwesties adviseren door deskundigen op dit gebied. Zij brengen Nederland en het gedrag van de Nederlanders in kaart en proberen toekomstige ontwikkelingen te voorspellen. Wiskundige modellen spelen daarbij een belangrijke rol.

De inhoud van het pakket

De bedoeling van het pakket is om een indruk te geven van het gebruik van wiskunde bij verkeers- en vervoersproblemen.

De onderwerpen die aan bod komen, zijn:

- modelnetwerken van Nederland
- het zoeken van de kortste route

- reizigerskilometers en verplaatsingen in Nederland
- menselijk gedrag voorspellen
- verdeling opbrengsten strippenkaarten.

Doelgroep

De hoofdstukken zijn heel verschillend van niveau en staan tamelijk los van elkaar. De eerste twee hoofdstukken vragen geen speciale wiskundige voorkennis, ze zijn voor wat betreft de wiskundige inhoud geschikt voor de onderbouw. De hoofdstukken 3 en 4 zijn theoretischer van aard en bedoeld voor leerlingen uit de bovenbouw met wiskunde A in hun pakket. In hoofdstuk 4 wordt de toets van Wilcoxon besproken. Dit is een statistische toets-techniek die tot de verdelingsvrije toetsen gerekend wordt, een onderwerp dat op dit moment niet tot de schoolwiskunde behoort. Om de gang van zaken te kunnen volgen, is enige basiskennis van de wiskundige statistiek en het toetsen van hypothesen in het bijzonder, noodzakelijk. Voor meer informatie over de toets van Wilcoxon (en andere toetsen) verwijzen we naar de vakliteratuur.

Antwoorden

- 1 Zwolle Doetinchem: 52 - 77. Heerlen Groningen: 334 - 21.
- 2 De stippellijnen stellen wegen voor die tussen 1986 en 2010 aangelegd worden.
- 3 De lijn van Lelystad naar Groningen wordt doorgetrokken.
- 4 18, oneindig
- 5 $14 + 7 (= 21)$
- 6 $(5 \times 4)/2 = 10$

Inleiding

Verkeer en vervoer zijn uit onze samenleving niet weg te denken. Iedereen heeft er mee te maken en het is vaak een onderwerp van heftige discussie. Sommige mensen beweren absoluut niet zonder auto te kunnen, anderen zijn fanatieke gebruikers van het openbaar vervoer. Op alle fronten neemt de mobiliteit nog steeds toe, waardoor de overheid geregeld ingrijpende beleidsbeslissingen moet nemen. Ter voorbereiding laat de overheid zich over allerlei ingewikkelde kwesties adviseren door deskundigen op dit gebied. Zij brengen Nederland en het gedrag van de Nederlanders in kaart en proberen toekomstige ontwikkelingen te voorspellen. Wiskundige modellen spelen daarbij een belangrijke rol.

De inhoud van het pakket

De bedoeling van het pakket is om een indruk te geven van het gebruik van wiskunde bij verkeers- en vervoersproblemen.

De onderwerpen die aan bod komen, zijn:

- modelnetwerken van Nederland
- het zoeken van de kortste route

- reizigerskilometers en verplaatsingen in Nederland
- menselijk gedrag voorspellen
- verdeling opbrengsten strippenkaarten.

Doelgroep

De hoofdstukken zijn heel verschillend van niveau en staan tamelijk los van elkaar. De eerste twee hoofdstukken vragen geen speciale wiskundige voorkennis, ze zijn voor wat betreft de wiskundige inhoud geschikt voor de onderbouw. De hoofdstukken 3 en 4 zijn theoretischer van aard en bedoeld voor leerlingen uit de bovenbouw met wiskunde A in hun pakket. In hoofdstuk 4 wordt de toets van Wilcoxon besproken. Dit is een statistische toets-techniek die tot de verdelingsvrije toetsen gerekend wordt, een onderwerp dat op dit moment niet tot de schoolwiskunde behoort. Om de gang van zaken te kunnen volgen, is enige basiskennis van de wiskundige statistiek en het toetsen van hypothesen in het bijzonder, noodzakelijk. Voor meer informatie over de toets van Wilcoxon (en andere toetsen) verwijzen we naar de vakliteratuur.

Antwoorden

- 1 Zwolle Doetinchem: 52 - 77. Heerlen Groningen: 334 - 21.
- 2 De stippellijnen stellen wegen voor die tussen 1986 en 2010 aangelegd worden.
- 3 De lijn van Lelystad naar Groningen wordt doorgetrokken.
- 4 18, oneindig
- 5 $14 + 7 (= 21)$
- 6 $(5 \times 4)/2 = 10$

21 Deurne heeft minder dan 50.000 inwoners en ligt in Brabant. Het nut van een auto is daardoor $0,17 + 0,74 = 0,91$ groter dan in Haarlem. Bij verhuizing naar Berken en Rodenrijs wordt het verschil 0,74. Berken en Rodenrijs heeft minder dan 50.000 inwoners en ligt in Zuid Holland.

22 Er wordt eenzijdig getoetst. Omdat naar de verschillen '84 - '90 wordt gekeken, beschrijft H_1 ($S > 0$) de situatie dat de inkomsten in '90 lager waren dan in '84.

23 $S = 120$ en de standaarddeviatie is $\sqrt{19 \cdot 20 \cdot 39 / 6} = 49,7$

De toetsingsgrootte $120 / 49,7 = 2,41$ is groter dan de kritieke waarde van 1,645 dus H_0 wordt verworpen. Conclusie: het zou wel eens waar kunnen zijn dat het streekvervoer in 1990 minder kreeg dan in 1984.

Maatschappij	1984	1990	verschil	rangnr
1	226,48	179,08	47,40	3
2	10357,62	10420,88	-63,26	-4
3	25235,91	24235,09	1000,82	16
4	3966,36	3812,19	154,17	5
5	2387,03	1968,76	418,27	9
6	11583,42	10754,94	828,48	14
7	7552,51	8122,27	-567,76	-12
8	7147,48	6526,13	621,35	13
9	1232,00	839,16	392,84	8
10	21551,59	19414,24	2137,35	18
11	920,95	716,16	204,79	6
12	35,73	15,57	20,16	2
13	1670,64	2129,33	-458,69	-11
14	14090,83	10336,74	3754,09	19
15	6,04	7,10	-1,06	-1
16	6841,19	7165,56	-324,37	-7
17	19934,74	19088,49	846,25	15
18	8208,40	7782,68	425,72	10
19	10266,77	8666,79	1599,98	17