

# Theoretische Informatica

Leo A.M. Verbeek, Anton Nijholt\* & Peter R.J. Asveld

*Faculteit der Informatica  
Universiteit Twente  
Postbus 217, 7500 AE Enschede*

*“We are not tool makers, we are mainly knowledge transmitters . . . let us be modest”.*

Maurice Nivat, *Bull. Europ. Assoc. Theor. Comp. Sci.*  
(1985) No.27 pp. 260-261.

Februari 1987

---

\* Huidige adres: Departement Wiskunde en Informatica, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussel, België.

## SAMENVATTING

---

Deze notitie beschrijft in het kort wat theoretische informatica is en hoe dit door de groep Theoretische Informatica van de Universiteit Twente wordt bedreven in onderwijs en onderzoek.

---

## INHOUD

---

1. Inleiding	1
2. Onderwerpen van de theoretische informatica	1
3. Taken van de groep Theoretische Informatica	5
3.1 Onderwijs door de groep Theoretische Informatica	5
3.2 Onderzoek door de groep Theoretische Informatica	6
4. Publicaties van de groep Theoretische Informatica vanaf 1980	8
4.1 Proefschriften	8
4.2 Boeken	8
4.3 Tijdschriftartikelen	9
4.4 Congresbijdragen	9
4.5 Memoranda	10
4.6 B-, K- en D-verslagen	11
4.7 Diversen	12
5. Samenstelling van de groep Theoretische Informatica	12

## 1. Inleiding

Theorie, ook als ze ontwikkeld wordt ten behoeve van gebruik in de praktijk, zal vaak af moeten zien van sommige praktische aspecten van problemen. Fundamentele wetenschappelijke resultaten zijn slechts te verkrijgen door te abstraheren en te formaliseren. Onderzoek naar de grenzen en beperkingen van formalismen helpt bij het begrijpen van die formalismen, bij het beoordelen van het mogelijk gebruik in een gegeven situatie en bij de beoordeling van de voor- en nadelen van het gebruik. Ook bij praktische toepassingen zijn formele methoden te prefereren boven ad hoc methoden. Formele methoden passen in een theorie of er kan theorie voor ontwikkeld worden. Als gevolg daarvan kunnen fouten vermeden worden en er ontstaan betrouwbaarder systemen doordat de middelen aanwezig zijn om aan te tonen dat aan de uitgangspunten voldaan is of omdat systemen, of onderdelen daarvan, automatisch gegenereerd kunnen worden. Een volledig formele behandeling van niet-triviale systemen in de informatica is niet altijd mogelijk. Men zal zich soms moeten beperken tot een formele behandeling van delen of aspecten van een volledig systeem. Overigens kan opgemerkt worden dat onderzoek naar en bekendheid met formele methoden en concepten en het daardoor verkregen inzicht kwaliteitsverhogend zal werken op het gebruik van meer pragmatische technieken.

*Theoretische informatica* bestudeert de fundamentele begrippen van de informatica met behulp van theoretische middelen. Formele modellen worden opgesteld om begrippen uit de informatica te bestuderen en te verhelderen. De bestudering van deze modellen wordt gedaan met theoretische middelen afkomstig uit de wiskunde en de logica of ontwikkeld binnen de theoretische informatica zelf. De bestudering van deze modellen en de ontwikkeling van theoretische middelen ten behoeve van deze studie resulteert uiteindelijk in een samenhangend raamwerk waarbinnen een bepaald onderwerp of een bepaalde in de praktijk gebruikelijke aanpak zinvol en mathematisch gefundeerd wordt beschreven.

In modellen wordt van sommige praktische aspecten afgezien zodat de essentie van het probleem overblijft. Dit gebeurt door onderscheid te maken tussen meer en minder relevante zaken en/of door bepaalde gezichtspunten te benadrukken. Dankzij dit abstraheren van praktische situaties worden relevante eigenschappen ontdekt die kenmerkend zijn voor vele concrete situaties en die anders niet herkend en niet geformuleerd zouden kunnen worden. Het raamwerk en zijn eigenschappen, geformuleerd met behulp van stellingen die bewezen worden, helpen mee om praktische situaties te begrijpen en om de complexiteit van het ontwerpen van praktische systemen in de hand te houden. Het raamwerk maakt het bovendien mogelijk om resultaten en methoden uit te wisselen, te verbeteren en te generaliseren en om ze te onderwijzen aan studenten van een bepaald gebied.

## 2. Onderwerpen van de theoretische informatica

De theorie van berekenbaarheid, de theorie van automaten en de theorie van formele talen zijn de drie klassieke deelgebieden van de theoretische informatica.

De oorsprong van de *theorie van berekenbaarheid* is te vinden in ontwikkelingen in de logica in de jaren dertig. De eerste elementen van deze theorie waren recursieve functies en de Turingmachine als model van een “computer” waarmee algoritmen kunnen worden uitgevoerd. Tegenwoordig, als onderdeel van theoretische informatica, houdt de theorie zich bezig met de (theoretische) beperkingen van de informatica. De theorie laat zien wat wel en wat niet berekend kan worden, voornamelijk door het bewijzen van fundamentele eigenschappen van algoritmen. In dit deelgebied van de theoretische informatica is een aanzienlijke hoeveelheid theorie ontwikkeld ter ondersteuning van de Church-Turing these.

*De theorie van automaten* kwam tot ontwikkeling in de jaren vijftig. De bestudering van abstracte machines afkomstig uit de logica, automaten voor het beschrijven van hersenactiviteiten en automaten voor het beschrijven van electromechanische en elektronische systemen leidde tot een nieuw wetenschapsgebied. Door de in- en uitvoer van dergelijke automaten te beschouwen als symboolrijen behorende tot een bepaalde taal werd dit gebied, na de opkomst van de theorie van formele talen, grotendeels in de theorie van formele talen opgenomen.

De *theorie van formele talen* kwam tot bloei na de introductie van het grammatica-begrip in de informatica. Generatieve linguïstiek en het ontwerpen van BNF-gedefinieerde programmeertalen en hun compilers zijn de voornaamste bronnen waaruit de theorie van formele talen is ontwikkeld. De theorie van formele talen is succesvol geweest in de classificering van grammatica- en taalklassen op grond van, bijvoorbeeld, eigenschappen van grammaticale regels, ontleedeigenschappen of complexiteitseigenschappen. Onderzoek naar zulke eigenschappen toont de theoretische beperkingen van formele systemen (vanuit verschillende gezichtshoeken). Met behulp van kennis van deze beperkingen kan de geschiktheid van een formeel systeem beoordeeld worden. Deze geschiktheid kan bijvoorbeeld betrekking hebben op het formeel systeem als model voor een cognitief of linguïstisch concept of op geschiktheid om geïmplementeerd te worden en na implementatie onderdeel te zijn in, bijvoorbeeld, het vertaalproces van een natuurlijke of programmeertaal.

In het bijzonder zijn na het ontwikkelen van theorie gericht op het vinden van equivalente genererende en accepterende (herkennende) systemen de bovenstaande drie gebieden sterk met elkaar verbonden geraakt. De probleemaanpak in de theorie van formele talen is een paradigma geworden voor de andere gebieden van theoretische informatica. Methoden en begrippen in andere deelgebieden van de theoretische informatica vinden vaak hun oorsprong in de theorie van formele talen en vaak kunnen problemen in deze gebieden gereduceerd worden tot, of toegelicht worden met, problemen uit de theorie van formele talen. Hoewel bovenstaande drie gebieden als klassiek binnen de theoretische informatica beschouwd kunnen worden is het geenszins het geval dat binnen deze gebieden zich geen nieuwe ontwikkelingen voordoen. Op deze nieuwe ontwikkelingen, zowel vanuit de praktijk als vanuit de theorie zelf geïnspireerd, wordt later teruggekomen. Twee andere deelgebieden van de theoretische informatica zijn de complexiteitstheorie en de theorie van semantiek.

De theorie van berekenbaarheid houdt zich bezig met kwalitatieve beschouwingen over wat wel en wat niet berekend kan worden met behulp van bepaalde formalismen. *Complexiteitstheorie*, daarentegen, houdt zich bezig met een kwantitatieve klassificatie van problemen. In de praktijk is het vaak niet alleen nodig te weten of een probleem kan worden opgelost, maar ook of dit op een realistische manier kan gebeuren. Complexiteitstheorie is de theoretische studie van concepten die gebruikt kunnen worden voor het meten van de efficiëntie van algoritmen en de studie van de toepassing van deze concepten bij pogingen om meer efficiënte technieken voor het oplossen van problemen te vinden. De gebruikte “maten” zijn in termen van aangewende hulpmiddelen (in het bijzonder (reken)tijd en (geheugen)ruimte) op specifieke machinemodellen (bijvoorbeeld Turingmachines of registermachines). Terwijl de theorie van berekenbaarheid duidelijk kan maken of een gegeven probleem in principe wel of niet opgelost kan worden, zal de complexiteitstheorie proberen antwoord te geven op de vraag of een mogelijke oplossing praktisch uitvoerbaar is.

Net als complexiteitstheorie is de *theorie van semantiek* ontstaan naar aanleiding van een behoefte vanuit de praktijk. De theorie van semantiek houdt zich bezig met de ontwikkeling van formele systemen voor het definiëren van de betekenis van programmeertaalconstructies. De belangrijkste semantische benaderingswijzen zijn de operationele en de mathematische beschrijvingswijzen. In de operationele aanpak wordt elke taalconstructie geassocieerd met een aantal acties uitgevoerd op een abstracte machine. De mathematische formalismen zijn de axiomatische Floyd-Hoare methode en de functionele of denotationele methode van Scott en Strachey. In dit laatste formalisme worden mathematische functies geassocieerd met de linguïstische constructies in de programmeertaal. Een groot deel van deze theorie is gebaseerd op de lambda-calculus van Church en op modellen voor deze calculus. Ook de mathematische interpretatie van datatypen gaat terug naar werk van Church. Achtergrondkennis van semantische theorieën kan de ontwerper van een programmeertaal helpen bij het vermijden van slecht gedefinieerde en moeilijk te begrijpen taalconstructies. Voor een gegeven programmeertaal kan een formele definitie helpen bij het (automatisch) implementeren van de taal en de theorie kan gebruikt worden bij het ontwikkelen van geldige bewijsregels waarmee de correctheid van programma's kan worden aangetoond.

De bovenstaande vijf deelgebieden bestrijken niet het gehele gebied van de theoretische informatica. Integendeel, men dient ze eerder te beschouwen als de grondslagen van theoretische informatica van waaruit praktijkproblemen in de informatica benaderd kunnen worden en nieuwe theoretische deelgebieden, gericht op bepaalde informaticaproblemen, kunnen worden ontwikkeld. Deze ontwikkeling in de breedte van theoretische informatica, die is samengegaan met een soortgelijke ontwikkeling in de informatica, kan geïllustreerd worden met de volgende lijst van onderwerpen die op dit moment gehanteerd wordt door de European Association of Theoretical Computer Science bij haar jaarlijkse congressen:

- theorie van automaten en formele talen
- theorie der berekenbaarheid
- analyse van algoritmen en complexiteit van berekeningen
- mathematische aspecten van programmeertaaldefinities
- semantiek en bewijstheorie van programmeertalen
- theorie van programmaspecificatie en -ontwerp
- theorie van gegevensstructuren
- theorie van gegevensbanken
- theorie van parallelle processen en VLSI

Deze lijst is niet uitputtend en de onderwerpen zijn niet allemaal onderling disjunct. Onderwerpen, die in de nabije toekomst wellicht nog meer dan nu het geval is binnen de theoretische informatica in het centrum van de belangstelling zullen staan, zijn o.a.

- *theorie van parallelle, samenwerkende en niet-deterministische processen.* De nadruk zal hier liggen op het ontwikkelen van formele systemen voor het beschrijven en het leveren van correctheidsbewijzen voor dergelijke processen, bijvoorbeeld met behulp van Petri-netten of met algebraïsche methoden. Daarnaast zal aandacht besteed moeten worden aan het toepassen van deze formalismen bij het definiëren van adequate programmeerconcepten en bij het beschrijven van protocollen, interfaces en hardware-structuren.
- *complexiteitstheorie en analyse van algoritmen.* Hoewel dit onderwerp nu tot de klassieke deelgebieden van de theoretische informatica gerekend wordt, zal het niettemin in de nabije toekomst - mede gezien de consequenties voor praktische problemen - in het middelpunt van de belangstelling blijven staan. Enkele deelonderwerpen, waaraan zeker nog steeds aandacht besteed zal worden zijn: (1) classificatie van problemen met betrekking tot rekentijd en geheugenruimte: het bepalen van boven- en zo mogelijk ondergrenzen van de complexiteit; (2) approximatie-algoritmen voor NP-volledige problemen; (3) ontwerpen en analyseren van efficiënte parallelle algoritmen. De concrete problemen, die men in dit verband bestudeert, komen behalve uit de (theoretische) informatica ook uit de zuivere en vooral uit de toegepaste wiskunde (combinatorische optimalisatie, operation research). Daarnaast is in de afgelopen jaren de belangstelling voor allerlei meetkundige problemen sterk toegenomen, hetgeen leidde tot het deelgebied van de “computational geometry”. Gezien het grote belang voor uiteenlopende praktische toepassingen zoals bij “computer graphics”, VLSI-ontwerp, patroonherkenning en robotica, zal ook op dit gebied in de komende jaren nog het nodige onderzoek verricht worden.
- *theorie van gegevensbanken.* Sinds de invoering van het relationele model is de belangstelling voor gegevensbanken bij theoretische informatici dusdanig gegroeid, dat we nu de “theorie van gegevensbanken” als een deelgebied binnen de theoretische informatica kunnen beschouwen. Binnen het kader van het relationele model ligt de nadruk, wat betreft het theoretisch onderzoek, o.a. op de volgende onderwerpen:
  - (1) het optimaal ontwerpen van een gegevensbank(schema) met betrekking tot enerzijds zekere integriteitsvoorwaarden, die meestal op wiskundige wijze geformuleerd zijn in termen van functionele en andere afhankelijkheden, en anderzijds het efficiënt afhandelen van vragen (“queries”), en ook het bijwerken van gegevensbanken.
  - (2) de uitdrukingskracht van vraagtaalen (“query languages”) en de complexiteit van individuele vragen uit een dergelijke taal.

(3) het beschrijven van gegevensbanken met logica zodat ook het verband met deductieve gegevensbanken en expertsystemen kan worden weergegeven met één formele beschrijvingsvorm.

Daarnaast geven ook problemen van bestandsorganisatie en gespreide gegevensbanken aanleiding tot meer theoretisch gericht onderzoek.

- *informatica-aspecten van VLSI*. Raakvlakken met de theoretische informatica zijn in het bijzonder de ontwikkeling van een mathematische theorie van VLSI-circuits, bijvoorbeeld de toepassing van theoretische middelen bij de ontwikkeling van algoritmen voor het vinden van VLSI-layouts, het vinden van rekenkundige modellen van VLSI-circuits, het vinden van compromissen in de tijd- en ruimtecomplexiteit van VLSI-circuits, de ontwikkeling van systolische automaten en, meer in het algemeen, het ontwikkelen van modellen voor parallelisme en het ontwerpen en analyseren van parallelle algoritmen.
- *kunstmatige intelligentie*. Dit onderwerp kenmerkt zich door een schrijnend gebrek aan fundamentele onderbouwing van gebruikte methoden en begrippen. Dit heeft tot gevolg dat veel werk herhaald wordt. Vanuit de theoretische informatica kunnen bijdragen worden geleverd aan modellen voor kennisrepresentatie, modale en intentionele logica, bewijsmethoden, zoekalgoritmen, complexiteit van K.I.-algoritmen, ‘logic programming’, patroonherkenning, natuurlijke taal formalismen en herschrijfsystemen. Meer in het algemeen zal theoretisch onderzoek naar de eigenschappen van gehanteerde formalismen kunnen leiden tot een betere fundering en een meer eenduidige interpretatie van formalismen.
- *natuurlijke-taal-verwerking*. Binnen dit deelgebied van de K.I. ligt de nadruk in het bijzonder op formalismen voor het beschrijven van syntaxis en semantiek van natuurlijke talen, formele methoden voor het omzetten van zinnen naar een semantische representatie, kennisrepresentatie en inferentiemethoden voor het oplossen van referentieproblemen. Het in de toekomst op grote schaal toepassen van natuurlijke-taal-interfaces vereist formalismen die, in analogie met vertalerbouw, het mogelijk maken syntaxis en semantiek van een natuurlijke taal aan elkaar te koppelen en daardoor het automatisch genereren van (onderdelen van) natuurlijke-taal-verwerkende systemen mogelijk te maken.

Uit de genoemde onderwerpen zal het duidelijk geworden zijn dat formele, mathematische methoden een grote rol spelen in de theoretische informatica. Onderzoekers in de theoretische informatica hanteren een mathematische aanpak en op deelgebieden worden de paradigma's van de wiskunde en de logica toegepast. Met enige klem benadrukken we – hetgeen uit het voorgaande al min of meer blijkt – dat niet zozeer een probleemgebied als wel de probleemaanpak bepaalt of er sprake is van theoretische informatica.

Eén van de manieren om naar informatica te kijken is het te beschouwen als een vakgebied waarin symbolen en symboolrijen met behulp van een computer gemanipuleerd worden. Bekendheid met de formele methoden (en hun beperkingen) die ten grondslag liggen aan dit manipuleren is een eerste teken van volwassenheid van het wetenschapsgebied informatica. Toen vertalerbouw een nieuw en belangrijk onderwerp was in de informatica werd veel tijd besteed aan het formaliseren van de syntaxis van programmeertalen. Mede daardoor kwam de theorie van formele talen tot bloei. Onderzoek in dit gebied heeft niet alleen concrete en bruikbare resultaten opgeleverd, maar heeft tevens gezorgd voor vruchtbare en wetenschappelijke attitudes en methodologieën in de informatica. Bovendien blijken de meeste resultaten in dit gebied blijvende waarde te hebben. Het is interessant te vermelden dat verschillende prominente onderzoekers eind jaren zestig van mening waren dat verschillende onderdelen van de theorie van formele talen, bijvoorbeeld ontledingstheorie, wel voldoende uitgewerkt waren. Echter, hedendaagse vertalers zijn meestal gebaseerd op methoden en technieken ontwikkeld na de jaren zeventig. Bovendien blijken methoden die destijds te ambitieus en niet efficiënt genoeg gevonden werden nu toepassing te vinden in projecten voor natuurlijke-taal-verwerking.

Andere, wellicht eveneens te beperkte, gezichtspunten, zoals informatica als de studie van algoritmen (Knuth) of informatica als de studie, ontwerp en gebruik van gegevensstructuren en hun transformatie door middel van algoritmen, leiden evenzeer tot vragen, die een antwoord vereisen wil men het wetenschapsgebied serieus kunnen nemen. Voorbeelden van degelijk

vragen zijn: wat is een algoritme?, wat kan wel en wat kan niet berekend worden?, tegen welke kosten kan iets berekend worden?, hoe kunnen algoritmen beschreven en geïmplementeerd worden?, is het mogelijk iets te zeggen over de correctheid van algoritmen?

Na de ontwikkeling van theorie die zich bezig houdt met dergelijke fundamentele vragen is theoretische informatica zich meer in de breedte en soms toepassingsgericht gaan ontwikkelen. Voorop is blijven staan het ontwikkelen en duidelijk maken van grondbegrippen, basisprincipes en fundamentele methoden van de informatica en het ontwikkelen van de daarbij benodigde wiskundige of logische beschrijvingsmiddelen. Formele wiskundige beschrijvingen van begrippen, methoden en middelen zijn eenduidig interpreteerbaar, hetgeen essentieel is teneinde een ondubbelzinnige en efficiënte communicatie tussen informatici te bevorderen. Belangrijk hierbij is tevens dat deze begrippen, methoden en middelen aansluiten bij de intuïtieve technische concepten van informatici om zodoende bruikbaar te zijn voor de begripsvorming en voor het realiseren van praktische toepassingen.

### 3. Taken van de groep Theoretische Informatica

De Faculteit Informatica is ontstaan in 1981 door samenvoeging van de vakgroep Informatica van de Onderafdeling Toegepaste Wiskunde en de vakgroep Digitale Techniek van de Afdeling Elektrotechniek. De Faculteit organiseert haar onderzoek in termen van zwaartepunten, thema's en projecten. Een zwaartepunt omvat een deelgebied van het wetenschapsgebied waar de afdeling zich op richt. Gelet op de toekomstige ontwikkelingen, voortbouwend op aanwezige expertise en overeenkomstig de landelijke afspraken is theoretische informatica als een van de drie zwaartepunten van de Faculteit Informatica gekozen. De groep Theoretische Informatica van de vakgroep TIF (Theoretische Informatica en Formulemanipulatie) is belast met het onderwijs en onderzoek in het zwaartepunt Theoretische Informatica.

#### 3.1. Onderwijs door de groep Theoretische Informatica

Onderwerpen als formele talen, automatentheorie en berekenbaarheid samen met een (uiterst) korte introductie tot complexiteitstheorie komen aan de orde in het tweedejaars college Inleiding Theoretische Informatica. Dit college kan beschouwd worden als een kennismakingscollege waarin een aantal fundamentele onderwerpen uit de informatica aan de orde worden gesteld. Tijd om dieper op deze onderwerpen in te gaan ontbreekt; complexiteitstheorie wordt in een later college uitgebreider behandeld. Voor uitdieping van de andere onderwerpen zijn op dit moment geen reguliere colleges beschikbaar. Wel zijn er colleges gewijd aan semantiek van programmeertalen en structuur van programmeertalen. Tevens wordt er elk jaar een college bijzondere onderwerpen verzorgd waar jaarlijks een medewerker een bepaald probleemgebied op een theoretische manier aan de orde stelt.

Een overzicht van de colleges verzorgd door leden van de groep Theoretische Informatica geven we in de volgende lijst; voor een beschrijving van deze colleges verwijzen we naar de Studiegids Universiteit Twente 1986/87.

- *Inleiding Theoretische Informatica* 211030 (Asveld).
- *Bijzondere onderwerpen uit de Theoretische Informatica* 211031 (Verbeek); dit jaar is het college gewijd aan de theorie van relationele gegevensbanken.
- *Seminarium Theoretische Informatica* 211032 (Alblas); het college heeft dit jaar als thema "attributengrammatica's".
- *Structuur van Programmeertalen* 211050 (Fokkinga).
- *Semantiek van Programmeertalen* 211060 (Verbeek).
- *Complexiteit van Berekeningen* 214010 (Asveld).

Naast het onderwijs aan de Universiteit Twente werd door leden van de groep Theoretische Informatica onderwijs elders verzorgd. Zo werden door Verbeek en Fokkinga colleges "Inleiding Theoretische Informatica" (1980-1981) en "Structuur van Programmeertalen" (1983-1984) verzorgd aan de Rijksuniversiteit Groningen en door Nijholt een college "Systematisch

Beschrijven'' (1982-1983) aan de Katholieke Universiteit Nijmegen. Gedurende het academisch jaar 1984-1985 verzorgde Nijholt colleges ''Discrete Structures'' en ''Theorie van Talen'' aan de Vrije Universiteit Brussel.

### 3.2. Onderzoek door de groep Theoretische Informatica

De groep Theoretische Informatica functioneert binnen de Faculteit Informatica van de Universiteit Twente. In het algemeen gezien is het voor een academische technische studierichting als informatica noodzakelijk de grondslagen van het vakgebied expliciet in het onderwijs aan de orde te laten komen. Daartoe is eigen activiteit in onderzoek naar de grondslagen van de informatica noodzakelijk. De groep Theoretische Informatica legt in zijn werkzaamheden de nadruk op de volgende drie punten.

- a. Eigen onderzoek in theoretische informatica; dit onderzoek is grensverleggend van aard en draagt bij aan de ontwikkeling van de grondslagen van de informatica. Daarnaast dient dit onderzoek voor het verkrijgen en behouden van expertise in dit vakgebied.
- b. Samenhang met de overige activiteiten in de informatica aan de Universiteit Twente en, met name, in de Faculteit Informatica. Deze samenhang blijkt uit de keuze van onderwerpen waarin door de groep expertise is ontwikkeld.
- c. Het overdragen van inzicht en kennis op het gebied van theoretische informatica. Dit gebeurt via het aanbieden van vakken in het studieprogramma, via afstudeeropdrachten (soms in samenwerking met andere vakgroepen) en via de samenwerking in studiegroepen e.d. met andere leden van de Faculteit.

Het eigen onderzoek van de groep Theoretische Informatica richt zich op het ontwikkelen en expliciet maken van basisbegrippen, fundamentele methoden en specifieke middelen van de informatica. Het belang van het onderzoek ligt in de grote behoefte van andere delen van informatica-activiteiten aan theoretische onderbouwing. Dit geldt zowel in het onderzoek als in het onderwijs. Het huidige onderzoek bestrijkt de volgende gebieden.

#### Formele Aspecten van Talen

Het ontwikkelen van fundamenteel inzicht in de eigenschappen van formele talen en automaten, dat wil zeggen van wiskundig geformuleerde structuren die eventueel als abstracties van programmeertalen en computers zijn te beschouwen. Begrippen die hierbij aan de orde komen zijn onder andere formele taal, grammatica, het genereren van een taal met behulp van een grammatica, het ontleden van een taal met behulp van een automaat, attributengrammatica, berekenbaarheid, ruimte- en tijdcomplexiteit, vertaling, etc. Meer in het bijzonder wordt onderzoek verricht aan

- (i) grammatica's voor context-vrije en context-afhankelijke aspecten van de syntaxis van talen; en interacties tussen syntaxis en semantiek bij het ontleden van talen. Het doel is het verkrijgen van een formele basis voor het automatisch, syntax-gericht genereren van programmatuur en voor het verwerken van natuurlijke taal met de computer.
- (ii) grammatica-modellen met in het bijzonder bepaalde structurele restricties op context-vrije en verwante grammatica's en hun invloed op normaalvorm-eigenschappen, complexiteit, ontledingsmethoden en praktische toepasbaarheid.

In de afgelopen jaren zijn resultaten verkregen op het gebied van boomgrammatica's en boomautomaten, programmaschema's, attributengrammatica's, methoden voor attributenevaluatie, complexiteit van attributengrammatica's, geïtereerde stapelautomaten, ontledingstheorie, equivalentieproblemen voor context-vrije grammatica's, iteratiethorema's en het verband tussen syntactische condities en genererende en semantische kracht van grammatica's.

Onderzoekers: P.R.J. Asveld, H.J.A. op den Akker, J.A. Hogendorp (Z.W.O.) en L.A.M. Verbeek.

Voorheen: J. Engelfriet, G. Filè, A. Nijholt, H. Vogler (Z.W.O.) en T.G. Vosse.



## Relationele Gegevensbanken

Het bestuderen en ontwikkelen van methoden voor het ontwerpen van relationele gegevensbanken op basis van diverse soorten afhankelijkheden waarmee beperkingen op gegevens en mutaties van gegevens wiskundig worden beschreven. Begrippen die hierbij aan de orde komen zijn onder andere structurering van gegevensbanken, integriteitsvoorwaarden, afhankelijkheden, onafhankelijke componenten, normaalvormen, “views”, het bijwerken van “views”, algoritmen voor decompositie en voor het bijwerken van “views”. Meer in het bijzonder wordt onderzoek verricht aan het beschrijven van relationele gegevensbanken met wiskundige logica. Hierdoor wordt ook verband gelegd met deductieve gegevensbanken en expertsystemen.

In de afgelopen jaren zijn resultaten verkregen op het gebied van decomposities en functionele afhankelijkheden, algoritmen voor modelrelaties met gegeven functionele en meerwaardige afhankelijkheden, transformaties op gegevensbankschema's, equivalentie van gegevensbankschema's en het vertalen van het bijwerken van een “view” naar het bijwerken van de gegevensbank.

Onderzoeker: L.A.M. Verbeek.

Voorheen: M. Dhillon (Z.W.O.) en R. Langerak.

## Programmatuurtheorie

Het bestuderen van programmeer- en specificatietalen en van programmeermethoden. Tot de theorie behoren denotationele, operationele en axiomatische semantiek van programmeertalen en van programmeertaalconstructies en bewijsmethoden van eigenschappen van zulke constructies. Meer in het bijzonder wordt onderzoek verricht aan

- (i) het helder en inzichtelijk beschrijven van programmeertaalconcepten, waarbij gelet wordt op geschiktheid voor bewijsvoering en het nut (wiskundig geformuleerd en bewezen) van die concepten;
- (ii) het bestuderen van het begrip “type”, waarbij enerzijds gelet wordt op de praktische toepassingen ervan (correctheid, abstracte datatypen) en anderzijds het verband wordt onderzocht met constructieve wiskunde en  $\lambda$ -calculus.

Onderzoekers: M.M. Fokkinga en J. Kuper.

Naast dit gerichte onderzoek wordt expertise ontwikkeld, bij voorkeur in samenwerking met leden van andere vakgroepen, in onderwerpen die bestudeerd worden in werk- en studiegroepjes zoals, bijvoorbeeld, het Seminarium Dynamische Logica, de studiegroep Augmented Transition Networks (beiden in 1981) en verder:

- 1981-82 Werkgroep *Denotationele Semantiek en Attributengrammatica's*: Alblas, Engelfriet, Filè, Fokkinga, Verbeek en leden van CAP.
- 1983 Werkgroep *Parallelliteit*: Engelfriet, Fokkinga, Verbeek en leden van IPS en CAP.
- 1982-83 Werkgroep *Compiler-Compiler*: Alblas, Nijholt, Engelfriet en leden van CAP.
- 1985-86 *Attributengrammatica's*: Alblas, Op den Akker, Asveld, Nijholt, Verbeek en leden CAP.
- 1985-86 *Logic Programming*: Op den Akker, Asveld, Fokkinga, Verbeek en leden CAP en IPS.
- 1986-87  *$\lambda$ -calculus en combinatorische logica*: Op den Akker, Asveld, Fokkinga, Hogendorp, Kuper, Verbeek en leden CAP en IPS.

Tevens werden bijdragen geleverd aan de studiegroep *Expert Systems* (in 1984 door Verbeek met een overzicht en de geschiedenis van Expert Systems en door Nijholt met een overzicht van ontwikkelingen in de Kunstmatige Intelligentie).

Expertise van de groep Theoretische Informatica blijkt ook uit

- gegeven inleidingen door Fokkinga over functionele talen (o.a. SASL) uitmondend in een project van CAP (December 1982)

- de tijdelijke versterking van de vakgroep IPS en het verzorgen van een aantal notities op dit gebied door Fokkinga (1982).
- bijdrage op het gebied van Kunstmatige Intelligentie aan de Filosofendag, TH Twente, September 1984, door Verbeek.
- bijdrage op het gebied van Kunstmatige Intelligentie aan Studium Generale TH Twente, October 1984, door Nijholt.

#### 4. Publicaties van de groep Theoretische Informatica vanaf 1980

##### 4.1. Proefschriften

- W. Kleefstra: The Concept of Data Model in Database Systems. Technische Hogeschool Twente, Juni 1980. (Mede)promotor L.A.M. Verbeek.
- R.F.A. Collard: The Processing of Structural Information in Serial Patterns. Technische Hogeschool Twente, December 1982. Promotor L.A.M. Verbeek.
- E.C.M. Hoenkamp: Een Computermodel van de Spreker: – Psychologische en Linguistische Aspecten. Katholieke Universiteit Nijmegen, April 1983. (Mede)promotor L.A.M. Verbeek, manuscriptcommissie A. Nijholt.
- G. Filè: Theory of Attribute Grammars. Technische Hogeschool Twente, April 1983. Promotor L.A.M. Verbeek, coreferent J. Engelfriet.
- H. Vogler: Tree Transducers and Pushdown Machines. Technische Hogeschool Twente, Maart 1986. Promotor L.A.M. Verbeek, coreferent J. Engelfriet.
- M. Dhillon: Analysis and Conceptual Design of Relational Databases. Technische Hogeschool Twente, Maart 1986. Promotor L.A.M. Verbeek.

Verder waren medewerkers van de groep Theoretische Informatica betrokken bij de promoties van:

- S.D. Swierstra (THT), januari 1981, Verbeek promotiecommissie
- P.K.H. Gragert (THT), november 1981, Verbeek promotiecommissie
- H.B.M. Jonkers (THE), februari 1982, Verbeek manuscript- en promotiecommissie
- P. Franchi-Zanettacci (Bordeaux), maart 1982, Engelfriet promotiecommissie
- H.J. Veldman (THT), juni 1983, Verbeek promotiecommissie
- H.C.M. Kleijn (RUL), juni 1983, Engelfriet promotiecommissie
- E.O. de Brock (THE), maart 1984, Verbeek manuscript- en promotiecommissie
- H.G. Kerkhoff (THT), april 1984, Verbeek promotiecommissie
- H.M. Blanken (THT), juni 1984, Verbeek promotiecommissie
- H. Meijer (KUN), juni 1986, Verbeek promotiecommissie
- P. de Bra (UI Antwerpen), februari 1987, Verbeek promotiecommissie

##### 4.2. Boeken

- A. Nijholt: *Deterministic Top-Down and Bottom-Up Parsing: Historical Notes and Bibliographies*. Mathematisch Centrum, Amsterdam, 1983.
- A. Nijholt & L. Steels (red.): *Ontwikkelingen in Expertsystemen*. Academic Service, Den Haag, 1986.
- A. Nijholt: *Computer Parsers and Computer Milieux: From First to Fifth Generation Computers*. (In voorbereiding).

##### 4.3. Tijdschriftartikelen

- J. Engelfriet, E.M. Schmidt & J. van Leeuwen: Stack machines and classes of nonnested macro languages, *J. Assoc. Comput. Mach.* **27** (1980) 96-117.
- J. Engelfriet, G. Rozenberg & G. Slutzki: Tree transducers, L systems, and two-way machines, *J. Comput. System Sci.* **20** (1980) 150-202.

- J. Engelfriet & G. Rozenberg: Fixed point languages, equality languages, and representation of recursively enumerable languages, *J. Assoc. Comput. Mach.* **27** (1980) 499-518.
- J. Engelfriet: Some open questions and recent results on tree transducers and tree languages. In: R.V. Book (Ed.): *Formal Language Theory: Perspectives and Open Problems*, Academic Press (1980), 241-286.
- J. Engelfriet & G. Rozenberg: A translational theorem for the class of EOL languages, *Inform. Contr.* **50** (1981) 175-183.
- J. Engelfriet & G. File: The formal power of one-visit attribute grammars, *Acta Inform.* **16** (1981) 275-302.
- J. Engelfriet & G. File: Passes and paths of attribute grammars, *Inform. Contr.* **49** (1981) 125-169.
- P.R.J. Asveld & J. Engelfriet: A note on non-generators of full AFL's, *Internat. J. Comput. Math.* **12** (1982) 13-17.
- J. Engelfriet: Three hierarchies of transducers, *Math. Systems Theory* **15** (1982) 95-125.
- J. Engelfriet & G. File: Simple multi-visit attribute grammars, *J. Comput. System Sci.* **24** (1982) 283-314.
- J. Engelfriet & S. Skyum: The copying power of one-state tree transducers, *J. Comput. System Sci.* **25** (1982) 418-435.
- A. Nijholt: From LL-regular to LL(1) grammars: Transformations, covers, and parsing, *R.A.I.R.O. Inform. Théor.* **16** (1982) 387-406.
- A. Ehrenfeucht, J. Engelfriet & G. Rozenberg: Context-free normal systems and ETOL systems, *J. Comput. System Sci.* **26** (1983) 34-46.
- J. Engelfriet & G. Slutzki: Extended macro grammars and stack controlled machines. *J. Comput. System Sci.* **29** (1984), 366-408.
- J. Engelfriet: Hierarchies of hyper-AFLs, *J. Comput. Systems Sci.* **30** (1985) 86-115.
- M.M. Fokkinga: Funktioneel programmeren in een vogelvlucht, *Informatie* **27** (1985) 862-873.
- J. Engelfriet & H. Vogler: Macro tree transducers, *J. Comput. Systems Sci.* **31** (1985) 71-146.
- J. Engelfriet: Determinacy  $\rightarrow$  (observation equivalence = trace equivalence), *Theor. Comp. Sci.* **36** (1985) 21-25.
- P.R.J. Asveld: Complete symmetry in D2L systems and cellular automata, *Internat. J. Comput. Math.* **19** (1986) 211-223.
- G. Filè: Machines for Attribute Grammars, *Inform. Contr.* **69** (1986) 41-124.
- J. Engelfriet: The complexity of languages generated by attribute grammars, *SIAM J. Comput.* **15** (1986) 70-86.
- J. Engelfriet & H. Vogler: Pushdown machines for the macro tree transducer, *Theor. Comp. Sci.* **42** (1986) 251-368.
- P.R.J. Asveld: A family of Fibonacci-like sequences, *Fibon. Quart.* (to appear).
- P.R.J. Asveld: Another family of Fibonacci-like sequences, *Fibon. Quart.* (to appear).

#### 4.4. Congresbijdragen

- J. Engelfriet & G. File: Formal properties of one-visit and multi-pass attribute grammars, Proc. 7th ICALP, Lecture Notes in Computer Science **85** (1980) 182-194.
- J. Engelfriet & G. File: Passes, sweeps and visits, Proc. 8th ICALP, Lecture Notes in Computer Science **115** (1981) 193-207.
- M.M. Fokkinga: On the notion of strong typing, in: International Symposium on Algorithmic Languages 81, J.W. de Bakker & J.C. van Vliet (eds.), North-Holland, Amsterdam, 1982.

- A. Nijholt & J. Pittl: A general scheme for some deterministically parsable grammars and their strong equivalents, in: G.I. Conf. on Theoretical Computer Science, A.B. Cremers & H.P. Kriegel (eds.), Lecture Notes in Computer Science **145** (1982) 243-255.
- J. Engelfriet: Iterated pushdown automata and complexity classes, Proc. 15th ACM Symp. on Theory of Computing, Boston, Mass. (1983) 365-373.
- J. Engelfriet & H. Vogler: Regular characterizations of macro tree transducers, pp. 103-117 in: B. Courcelle (Ed.): "Ninth Colloquium on Trees in Algebra and Programming" (1984), Cambridge University Press, Cambridge.
- T.G. Vosse: Een ontleed-methode voor Lexical-Functional Grammar, pp. 269-279 in Proceedings NGI-SION-Symposium 1986.

#### 4.5. Memoranda

- J. Engelfriet & G. File: Simple multi-visit attribute grammars, TW-Memorandum 314, August 1980.
- J. Engelfriet & G. File: Passes and paths of attribute grammars, TW-Memorandum 323, December 1980.
- A. Ehrenfeucht, J. Engelfriet & G. Rozenberg: Context-free normal systems and ETOL systems, Report No. 80-16, Inst. v. Toeg. Wisk. en Inf., R.U. Leiden 1980.
- J. Engelfriet: The trees of Hanoi, TW-Memorandum 325, January 1981.
- J. Engelfriet & G. Rozenberg: A translational theorem for the class of EOL languages, TW-Memorandum 334, May 1981.
- M.M. Fokkinga: On the notion of strong typing, TW-Memorandum 341, August 1981.
- G. Filè: Interpretation and reduction of attribute grammars, TW-Memorandum 359, November 1981.
- P.R.J. Asveld & J. Engelfriet: A note on non-generators of full AFL's, MC-rapport IW184/81, December 1981.
- J. Engelfriet: Tree transducers and syntax-directed semantics, TW-Memorandum 363, January 1982.
- J. Engelfriet & G. Slutzki: Extended macro grammars and stack controlled machines, TW-Memorandum 379, January 1982.
- M.P. Chytil: The lower bound for context-sensitivity: a correction, TW-Memorandum 382, February 1982.
- M. Dhillon: A report on decompositions and functional dependencies in relations, TW-Memorandum 383, March 1982.
- J. Engelfriet: Hierarchies of hyper-AFL, Memorandum INF-82-3, May 1982.
- L. Verbeek: Algorithm for database relations with given functional and multivalued dependencies, Memorandum INF-82-5, July 1982.
- J. Engelfriet & G. File: Passes, sweeps, and visits, Memorandum INF-82-6, August 1982.
- J. Engelfriet & H. Vogler: Macro tree transducers, Memorandum INF-82-7, August 1982.
- M.P. Chytil: Characterization of context-sensitivity by grammars and automata, Memorandum INF-82-9, September 1982.
- M. Dhillon: Transforming a relation scheme satisfying a realistic assumption into domain key normal form, Memorandum INF-82-12, November 1982.
- J. Engelfriet: The complexity of languages generated by attribute grammars, Memorandum INF-82-13, November 1982.
- M.M. Fokkinga: Over het nut en de mogelijkheden van typering, Memorandum INF-83-5, Juni 1983.

- M. Dhillon: Survey of the concepts of universal relation and acyclic database scheme, Memorandum INF-83-10, November 1983.
- M.M. Fokkinga: A notation for the most general form of repetition, Memorandum INF-84-3, February 1984.
- M.M. Fokkinga: Exception handling constructs considered unnecessary, Memorandum INF-84-8, April 1984.
- M. Dhillon: Theoretical remarks on query answering in two models of relational databases, Memorandum INF-84-9, March 1984.
- M. Dhillon: Decomposing a relation scheme into independent components, Memorandum INF-84-16, September 1984.
- A. Nijholt: Augmented parsing methods, Memorandum INF-84-19, November 1984.
- J. Engelfriet & H. Vogler: Pushdown machines for the macro tree transducer, Memorandum INF-85-2, February 1985.
- M.M. Fokkinga: Funktioneel programmeren in een vogelvlucht, Memorandum INF-85-4, Januari 1985.
- A. Nijholt: Topics of artificial intelligence, Memorandum INF-85-9, June 1985.
- P.R.J. Asveld: A family of Fibonacci-like sequences, Memorandum INF-85-10, June 1985.
- P.R.J. Asveld: Abstract grammars based on transductions, Memorandum INF-85-13, June 1985.
- P.R.J. Asveld: Complete symmetry in D2L systems and cellular automata, Memorandum INF-85-14, June 1985.
- M. Dhillon: Sovereign database schemes, Memorandum INF-85-17, July 1985.
- M. Dhillon: Update of views under the simplified universal relation assumption, Memorandum INF-85-19, August 1985.
- P.R.J. Asveld: Another family of Fibonacci-like sequences, Memorandum INF-86-6, March 1986.
- H.J.A. op den Akker: A left corner property for context-free grammars, Memorandum INF-86-8, April 1986.
- H.J.A. op den Akker: Deterministic parsing of attribute grammars - Part I: Top-down oriented strategies, Memorandum INF-86-19, June 1986.
- T.G. Vosse: Een manier om anafora op te lossen met discourse-grammatica's en wereld-kennis, Memorandum INF-86-23, Augustus 1986.
- T.G. Vosse: Een formeel raamwerk voor natuurlijke taal verwerking, Memorandum INF-86-26, Augustus 1986.
- P.R.J. Asveld & E.A. Boiten: A generator for Turing machine simulating programs - User's manual -, Memorandum INF-86-31, November 1986.
- P.R.J. Asveld: Fibonacci-like differential equations with a polynomial non-homogeneous part, Memorandum INF-86-36, December 1986.
- R. Langerak: View updates in relational databases with an independent scheme, Memorandum INF-86-40, December 1986.

#### **4.6. B-, K- en D-verslagen**

##### **B-verslagen**

- P. Desain. Een psychologisch plausible zinnengenerator voor het Nederlands. 1979.
- L. de Vries. Algoritmen voor relationele gegevensbanken. 1980.
- R.J. Vuurboom. Dependency-graphs of attribute grammars. 1980.
- A.J. Klomp. Circularity of attribute grammars. 1981.
- F. Houweling. Algoritmen voor het ontwerpen van relationele gegevensbanken. 1983.

H.A.N. Rigter (EL). Geheimschrift met openbare sleutels. 1982.

### **K-verslagen**

R. Langerak. Constructie van een modelrelatie met gegeven functionele en meerwaardige afhankelijkheden. 1984.

### **D-verslagen**

B.R.J. Walstra. Bescherming in gegevensverwerkende systemen. 1980.

C. Links. Twee nivo grammatika voor Lawine. 1982.

J.B. Gerkes. Generatie van vertalers voor minitaaltjes. 1983.

P. Desain. Aspecten van de Lambda-SVP typering. 1983.

S. Mayer. Implementatie van de Lambda taal en aspecten van typering. 1984.

H. van Tienen. Ontwerp en implementatie van een overdraagbaar LOGO-systeem. 1985.

T.G. Vosse. Formalismen in natuurlijke taalverwerking. 1985.

S.P. van de Burgt. Overdraagbare natuurlijke taal interfaces. 1986

R. Langerak. View updates in relational database systems. 1986.

### **4.7. Diversen**

M.M. Fokkinga & S.D. Swierstra. The typesystem of LAWINE. NGI-SION Congres, Maart 1983, Amsterdam.

P.R.J. Asveld & L.A.M. Verbeek: Grammars with disjunct syntactic categories – A research proposal (4pp. 1985).

## **5. Samenstelling groep Theoretische Informatica**

In 1981 ontstond de Onderafdeling Informatica i.o. Een van de vijf vakgroepen die werden gevormd in 1982 was Theoretische Informatica en Formulemanipulatie. De volgende medewerkers maken deel uit van de groep Theoretische Informatica:

Ir. H.J.A. op den Akker (vanaf 1/9/84, assistent-onderzoeker)

Dr.ir. P.R.J. Asveld (vanaf 1/1/85)

Drs. M.M. Fokkinga

Drs. J. A. Hogendorp (vanaf 1/9/86, Z.W.O.-medewerker)

Ir. J. Kuper (vanaf 1/6/86)

Prof.dr.ir. L.A.M. Verbeek

Van de groep maakten deel uit:

Dr. J. Engelfriet (tot 1/4/84)

Dr. G. Filè (1/1/79-1/5/83, research pool T.H.T.)

Dr. M. Dhillon (15/3/83-15/3/86, Z.W.O.-medewerker)

Dr.ir. A. Nijholt (1/9/82-31/12/85)

Dr. H. Vogler (1/4/83-1/4/84, Z.W.O.-medewerker)

Als gastmedewerkers waren aanwezig:

Dipl. Inf. M. Dhillon (1/10/81-15/3/83, Hogeschoolfonds Twente)

Dr. M. Chytil (Praag, 1/11/81-1/3/82)

Dipl. Inf. H. Vogler (Aken, 1/6/82-30/9/82)

Korte bezoeken werden gebracht door R. Wilhelm (Saarbrücken), E. Soisalon-Soininen (Helsinki, tijdelijk Karlsruhe) en J.M. Newcomer (Tartan Labs, Pittsburgh).