

De vierde en de vijfde normaalvorm

De normalisatietheorie kent naast en na de eerste tot en met derde en de Boyce-Codd normaalvorm nog twee 'hogere normaalvormen', de vierde en de vijfde normaalvorm. Deze worden in dit artikel behandeld. De tekst van dit artikel sluit aan op hoofdstuk 5 'Normalisatie' van het boek 'Relationele databases en SQL' (Wiegerink, Bijpost en De Groot).

Inhoud

	pag.
1 Meerwaardige afhankelijkheid en de vierde normaalvorm	2
1.1 Een functionele afhankelijkheid met een herhalende groep als gedetermineerde	2
1.2 Meerwaardige afhankelijkheid	5
1.3 Een verliesloze decompositie	7
1.4 De vierde normaalvorm	9
2 Joinafhankelijkheid en de vijfde normaalvorm	10
2.1 Joinafhankelijkheid	10
2.2 De vijfde normaalvorm	12
2.3 Normalisatie, de vijfde normaalvorm en informatiemodellering	13
Oefenopgaven	14
Samenvatting	15

1 Meerwaardige afhankelijkheid en de vierde normaalvorm

De normaalvormen 2NV, 3NV en BCNV zijn gebaseerd op functionele afhankelijkheden. De hiermee geassocieerde ‘verboden’ vormen van redundantie kunnen worden geëlimineerd door de functionele afhankelijkheden onder te brengen in een nieuwe ‘eigen’ tabel, met de determinant als sleutel. In de oorspronkelijke tabel blijft dan alleen de determinant achter, als verwijssleutel. Een dergelijke tabelafplitsing noemen we een *decompositie*. Merk op dat bij zo’n decompositie twee projecties van de oorspronkelijke tabel horen, één die de nieuwe, verkleinde tabel (kindtabel) oplevert en één die de afgesplitste (ouder)tabel oplevert.

Er zijn echter nog andere, algemenere vormen van gegevensafhankelijkheid, die een (algemener) type redundantie toelaten dat door vergelijkbare decomposities kan worden geëlimineerd. De belangrijkste hiervan is de *meerwaardige afhankelijkheid*; deze staat in verband met de vierde normaalvorm (4NV). Een nog algemenere vorm is de *joinafhankelijkheid*, die in verband staat met de vijfde normaalvorm (5NV).

Het belang van de hogere normaalvormen

Voor de praktijk is de theorie over de vierde normaalvorm en die over de vijfde normaalvorm van minder belang, omdat vrijwel alle ‘normale’ databasestructuren die aan 3NV voldoen, ook aan alle hogere (BCNV, 4NV en 5NV) voldoen. De kritische voorbeelden (wel BCNV, maar niet 4NV; wel 4NV, maar niet 5NV) doen nogal geconstrueerd aan. Dit artikel heeft daardoor een wat ‘academisch’ karakter, maar is er niet minder instructief om.

Bedenk hierbij ook dat bij kritische voorbeelden van BCNV (dat wil zeggen wel 3NV, maar niet BCNV) de overgang naar BCNV discutabel was. In dit artikel bekijken we dan ook alleen 3NV-structuren die ook in BCNV staan.

1.1 Een functionele afhankelijkheid met een herhalende groep als gedetermineerde

Het criterium voor de vierde normaalvorm lijkt op dat van BCNV, alleen moet ‘functionele afhankelijkheid’ worden vervangen door ‘meerwaardige afhankelijkheid’. Een structuur staat dus in de vierde normaalvorm als geen enkele tabel een ‘meerwaardige afhankelijkheid’ bevat die tot redundantie kan leiden. Maar wat is een meerwaardige afhankelijkheid? Voor we een definitie geven, behandelen we iets wat er nauw mee in verband staat: een functionele afhankelijkheid waarvan de gedetermineerde een herhalende groep is. Dit hebben we nog niet eerder gezien. We geven daarom een voorbeeld, aan de hand waarvan we de theorie van meerwaardige afhankelijkheden en de vierde normaalvorm op informele wijze zullen ontvouwen.

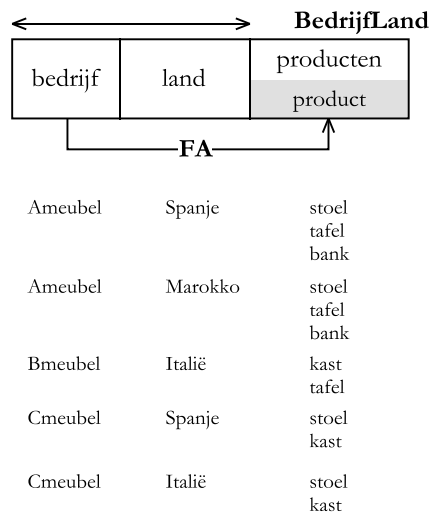
Voorbeeld 1

Functionele afhankelijkheden met herhalende groep als gedetermineerde

Figuur 1 geeft een niet-genormaliseerde tabel BedrijfLand, met een kleine voorbeeldpopulatie van vijf rijen. De tabelnaam is ontleend aan de combinatie (bedrijf, land) die een kandidaatsleutel is.

De tabel bevat exportinformatie over meubelbedrijven. Zo betekenen de gegevens in de eerste rij dat het bedrijf Ameubel naar het land Spanje de producten stoel, tafel en bank exporteert.

De producten vormen een herhalende groep met één kolom (product). Gegeven is dat de herhalende groep functioneel afhankelijk is van de (niet-unieke) kolom bedrijf. De voorbeeldpopulatie is hiermee in overeenstemming: bij elk voorkomen van een bedrijf hoort steeds dezelfde verzameling producten, *ongeacht het land*.



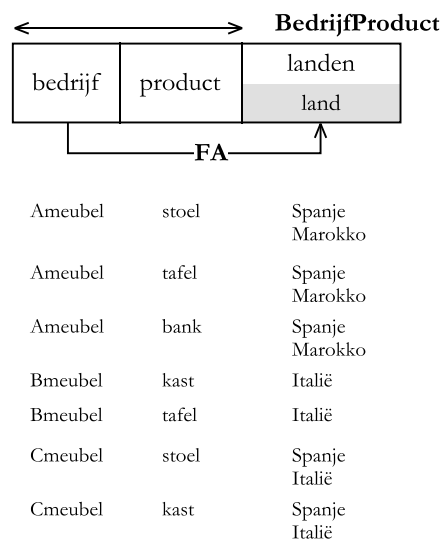
Figuur 1 Functionele afhankelijkheid waarbij de gedetermineerde een herhalende groep is

Opgave 1

Toon aan dat de uniciteitsregel (kandidaatsleutel) in figuur 1 geen zelfstandig gegeven is, maar volgt uit de functionele afhankelijkheid en het gegeven dat de voorbeeldpopulatie een geldige populatie is.

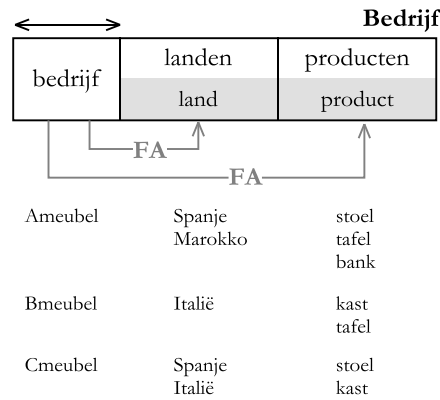
Uit de functionele afhankelijkheid in BedrijfLand volgt dat bij elke bedrijf één vaste verzameling productnamen hoort. Tevens hoort bij elke bedrijf een verzameling van een of meer landnamen. We zullen zien dat hier sprake is van symmetrie, ook al blijkt dat niet direct uit figuur 1.

Om die symmetrie zichtbaar te maken, zullen we allereerst de tabel herstructureren vanuit het perspectief van bedrijf-product-combinaties. De landnamen worden dan een herhalende groep, zie figuur 2. Al eerder, bij Reijnders' Toetjesboek, hebben we een dergelijke omkering uitgevoerd, zie hiervoor paragraaf 2.2.6 van Relationale databases en SQL.



Figuur 2 Omkering van de herhalende groep van Figuur 1

De figuren 1 en 2 samen laten zien dat landen en producten een vergelijkbare rol hebben ten opzichte van bedrijven. Dit wordt nog beter uitgedrukt in figuur 3, die rechtstreeks laat zien dat bij elke bedrijf een verzameling landen hoort en *los hiervan* ook een verzameling producten. De kandidaatsleutel is geslonken tot de kolom bedrijf, waarvan de beide herhalende groepen functioneel afhankelijk zijn. De FA's zijn grijs getekend (zie ook figuur 4), om aan te geven dat ze 'gewenst' zijn en geen aanleiding kunnen geven tot redundantie. (Doorgaans worden dergelijke FA's in het geheel niet getekend.)



Figuur 3 Equivalente structuur die de symmetrie tot uitdrukking brengt

Opgave 2

Markeer in elk der populaties van de figuren 1, 2 en 3 een maximale verzameling redundante gegevens.

We kunnen nu een opmerkelijke conclusie trekken: door uitgaande van de structuren van figuur 1 of figuur 2 nog een extra herhalende groep te introduceren (figuur 3), is er geen ruimte meer voor redundantie. Omgekeerd, met figuur 3 als vertrekpunt: gedeeltelijke normalisatie (eliminatie van één herhalende groep) leidt juist tot redundantie. Hiermee wordt nog weer eens duidelijk geïllustreerd dat normaliseren in de zin van het elimineren van herhalende groepen iets heel anders is dan normaliseren in de zin van het elimineren van redundante structuren.

Non first normal form (NFNF)

In Relationale databases en SQL wezen we er op dat de normalisatietheorie een historisch karakter draagt, vooral tot uiting komend in het vervlechten van twee 'doelen': elimineren van herhalende groepen en elimineren van redundantie. In een poging deze doelen uit elkaar te trekken, is een variant van het relationele model ontwikkeld die bekend staat als NFNF ('non first normal form'), ook wel NF² (NF square) genoemd. De gedachte hierachter is dat (ongecontroleerde) redundantie een kwaad is dat bestreden moet worden, maar dat met herhalende groepen niet altijd wat mis is. Een van de kenmerkende benaderingen in het boek en in dit artikel is dat de NFNF-benadering voor een deel wordt gevolgd, door een herhalende groep consequent te behandelen als één kolom. Een kolom met een gestructureerd datatype weliswaar (het datatype 'tabel'), maar verder een gewone kolom (met dus ook een eigen kolomnaam, wat men in andere leerboeken eigenlijk nooit ziet). Evenwel wilden we ook de klassieke normalisatietheorie, vanwege haar door 'iedereen' gebruikte terminologie, behandelen.

Het begrip meerwaardige afhankelijkheid, verbonden met de vierde normaalvorm, ligt nu bijna 'voor het oprapen'. Als laatste voorbereiding zullen we in de volgende opgave de structuur van figuur 1 normaliseren tot (minimaal) 1NV.

Opgave 3

Normaliseer de structuur van figuur 1 tot minimaal 1NV. Doe dat op twee manieren:

- 1 door eerst de functionele afhankelijkheid te elimineren en daarna de herhalende groep
- 2 door direct de herhalende groep te elimineren.

1.2 Meerwaardige afhankelijkheid

De tabel waar het ons om te doen is, is BedrijfLandProduct, die resulteert uit het elimineren van de herhalende groep in figuur 1 (zie figuur 17 in de uitwerking van opgave 3 en onderstaande figuur 4).

BedrijfLandProduct		
bedrijf	land	product
Ameubel	Spanje	stoel
Ameubel	Spanje	tafel
Ameubel	Spanje	bank
Ameubel	Marokko	stoel
Ameubel	Marokko	tafel
Ameubel	Marokko	bank
Bmeubel	Italië	kast
Bmeubel	Italië	tafel
Cmeubel	Spanje	stoel
Cmeubel	Spanje	kast
Cmeubel	Italië	stoel
Cmeubel	Italië	kast

Figuur 4 Genormaliseerde tabel waarin de functionele afhankelijkheden van de drie voorgaande figuren ‘verstopt’ zitten

De tabel BedrijfLandProduct is geconstrueerd met veronachtzaming van de functionele afhankelijkheid in figuur 1. Op de een of andere manier moet deze hier dus nog in ‘verstopt’ zitten. We mogen daarom verwachten dat de tabel redundante gegevens bevat (zie ook opgave 2). En inderdaad: uit elk van de onvolledige populaties van de figuren 5a en 5b is de volledige populatie reconstrueerbaar!

(a)

BedrijfLandProduct		
bedrijf	land	product
Ameubel	Spanje	stoel
Ameubel	Spanje	tafel
Ameubel	Spanje	bank
Ameubel	Marokko	
Bmeubel	Italië	kast
Bmeubel	Italië	tafel
Cmeubel	Spanje	
Cmeubel	Italië	stoel
Cmeubel	Italië	kast

(b)

BedrijfLandProduct		
bedrijf	land	product
Ameubel	Spanje	stoel
Ameubel		tafel
Ameubel		bank
Ameubel	Marokko	stoel
Bmeubel	Italië	kast
Bmeubel	Italië	tafel
Cmeubel	Spanje	stoel
Cmeubel		kast
Cmeubel	Italië	stoel

Figuur 5 BCNV, maar toch redundantie

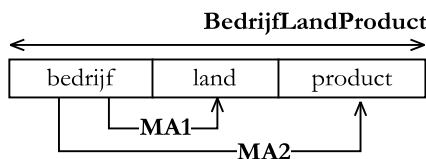
Redundantie dus, ook al voldoet de structuur aan BCNV. Ga maar na: de uniciteitsregel loopt over alledrie de kolommen en sluit dus functionele afhankelijkheden (afgezien van triviale) uit.

De regel waaraan BedrijfLandProduct, gezien zijn constructie, voldoet en waardoor de redundantie ontstaat, heet een *meerwaardige afhankelijkheid* (Engels: multi-valued dependency). Een meerwaardige afhankelijkheid wordt kortweg aangeduid met MA.

In alle typerende voorbeelden komen meerwaardige afhankelijkheden in tweetallen voor. In dit voorbeeld (zie figuur 6) gelden de meerwaardige afhankelijkheden MA1 en MA2:

- MA1: de verzameling landen bij een (bedrijf, product)-combinatie hangt alleen van het bedrijf af.
- MA2: de verzameling producten bij een (bedrijf, land)-combinatie hangt alleen van het bedrijf af.

MA1 impliceert MA2, en omgekeerd. Ze zijn niets anders dan een soort vertaling van de ‘weggenormaliseerde’ functionele afhankelijkheden in figuur 1 en figuur 2.



Figuur 6 Tweetal elkaar implicerende meerwaardige afhankelijkheden

Een aardig gezichtspunt op meerwaardige afhankelijkheid biedt een directe vergelijking van figuur 3 en de populatie van *BedrijfLandProduct*: deze laatste ontstaat door ‘vervlechting’ van beide herhalende groepen (‘alles met alles combineren’).

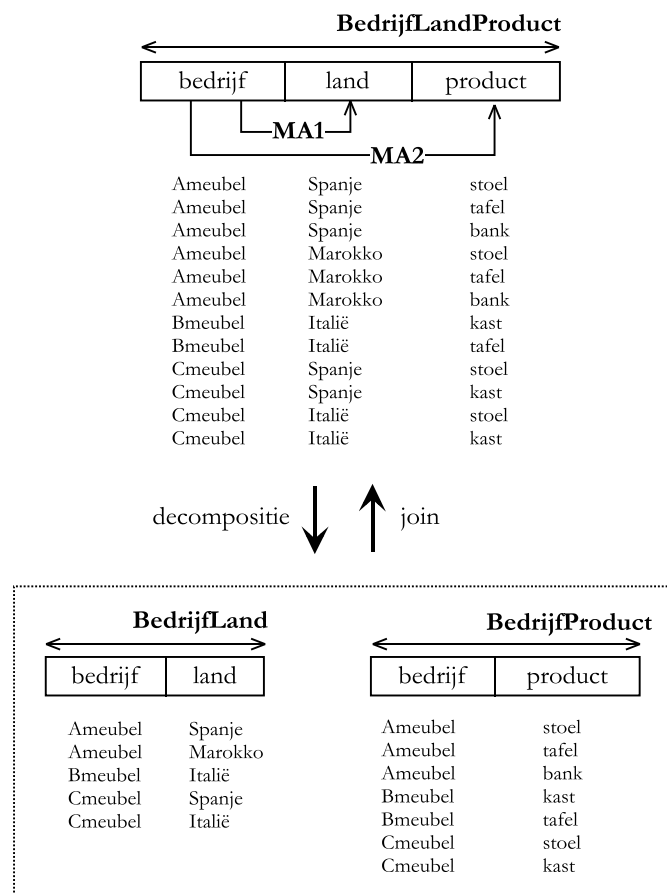
1.3 Een verliesloze decompositie

De meerwaardige afhankelijkheden MA1 en MA2 laten zich ook als volgt karakteriseren:

- Wanneer (b, l) een bedrijf-land-deelrij is, en (b, p) een bedrijf-product-deelrij, dan moet (b, l, p) tot de populatie behoren.

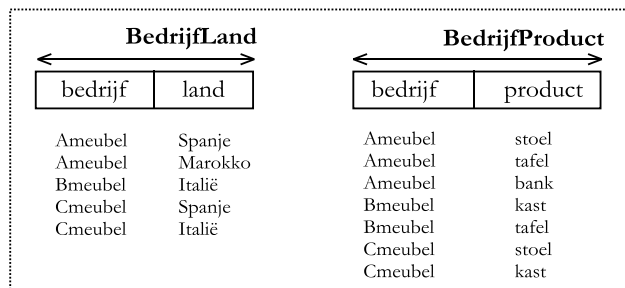
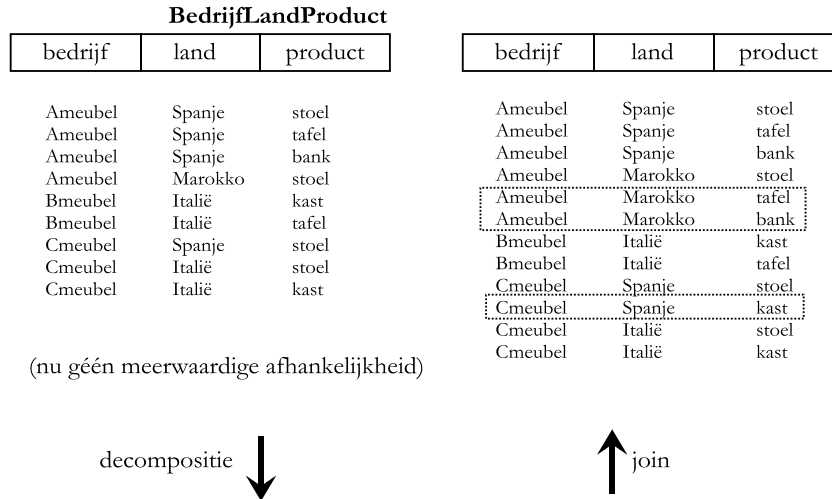
In termen van de betekenis van de gegevens (informatie) staat hier: als een bedrijf naar een bepaald land exporteert en dat bedrijf exporteert een bepaald product, dan moet het bedrijf dat product naar dat land exporteren. Merk op dat de rij (b, l, p) de join is van de deelrijen (b, l) en (b, p) . Vandaar dat de volgende formulering equivalent is.

- De tabel *BedrijfLandProduct* is de join van haar projectietabellen *BedrijfLand* en *BedrijfProduct* (zie figuur 7).



Figuur 7 Verliesloze decompositie van *BedrijfLandProduct*

Deze formulering drukt uit dat de tabellen *BedrijfLand* en *BedrijfProduct* een *verliesloze decompositie* (Engels: *lossless decomposition*) vormen van *BedrijfLandProduct*: deze is uit de decompositie weer terug te vinden door te joinen. Dit is een echte beperkingsregel, want in het algemeen is de join van decompositietabellen groter dan de oorspronkelijke tabel. Er is dan informatie verloren gegaan, de join bevat dan immers rijen die niet met feiten corresponderen en is dus een onbetrouwbare informatiebron. Zie bijvoorbeeld figuur 8, waarin de omstippelde rijen er door ‘terugjoinen’ zijn bijgekomen.



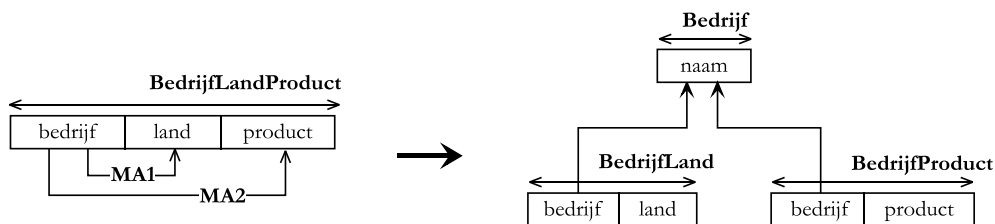
Figuur 8 Een niet-verliesloze decompositie

Pas op: je zou kunnen denken dat in figuur 8 door de decompositie en de daaropvolgende join geen informatie verloren is gegaan en dat er integendeel informatie is bijgekomen! En dat er dus geen verlies aan informatie (verliesloosheid) optreedt. Zo'n redenering is echter onjuist: er zijn *gegevens* (nieuwe rijen) bijgekomen, maar deze corresponderen niet met feiten en vormen dus *geen informatie*. De nieuwe tabel is onbetrouwbaar en bevat non-informatie. Je weet nu bijvoorbeeld niet meer welke producten Ameubel exporteert en naar welke landen Ameubel exporteert. Er treedt dus verlies aan informatie op en de decompositie is niet-verliesloos.

1.4 De vierde normaalvorm

De 'typische' (voor redundantie verantwoordelijke) meerwaardige afhankelijkheden in één tabel, zoals MA1 en MA2, zijn precies wat door de *vierde normaalvorm* (4NV) wordt verboden. Een tabel voldoet dus aan 4NV als dergelijke afhankelijkheden er niet in voorkomen. Een databasestructuur als geheel voldoet aan 4NV als al haar tabellen aan 4NV voldoen.

Een tabel die in BCNV maar niet in 4NV staat, wordt genormaliseerd tot 4NV door een (verliesloze) decompositie, zoals in figuur 7, corresponderend met een 'ontvlechting van de verstopte herhalende groepen'. Desgewenst nemen we ook de tabel Bedrijf op, zoals in figuur 9. Overigens is het wel of niet opnemen van Bedrijf hier secundair. Het is meer een kwestie van standaardiseren dan van normaliseren. (We zouden ook standaardisatietabellen Land en Product kunnen opnemen.)



Figuur 9 Normalisatie van BedrijfLandProduct tot 4NV, door decompositie (en standaardisatie van Bedrijf)

Verderop zal duidelijk worden dat de nieuwe structuur ook aan 5NV voldoet.

Functionele afhankelijkheid is een bijzonder soort meerwaardige afhankelijkheid

Omdat een kolom met enkelvoudige waarden kan worden opgevat als een bijzonder geval van een herhalende groep (door een enkelvoudige waarde te zien als tabel met één rij en één kolom), kan een functionele afhankelijkheid worden opgevat als een bijzonder geval van een meerwaardige afhankelijkheid: een MA hoeft geen FA te zijn, maar elke FA kan worden opgevat als een MA (waarvan de gedetermineerde een verzameling van één element is). De theorie van de meerwaardige afhankelijkheden, mits met voldoende strengheid opgezet, omvat daarom die van de functionele afhankelijkheden.

2 Joinafhankelijkheid en de vijfde normaalvorm

De vijfde normaalvorm (5NV) verbiedt een soort gegevensafhankelijkheid die nog algemener is dan meerwaardige afhankelijkheid: joinafhankelijkheid.

2.1 Joinafhankelijkheid

Ter illustratie van *joinafhankelijkheid* laten we een ‘kritisch voorbeeld’ zien: een joinafhankelijkheid die geen meerwaardige afhankelijkheid is.

Voorbeeld 2

Joinafhankelijkheid; kritisch voorbeeld van wel-4NV en niet-5NV

Stel, er geldt slechts de volgende beperkingsregel voor **BedrijfLandProduct**: wanneer b , l en p kolomwaarden zijn van bedrijf, land en product, en (b, l) , (b, p) en (l, p) zijn deelrijen van de populatie, dan behoort de rij (b, l, p) tot de populatie.

In informatietermen: als een bedrijf exporteert naar een land en dat bedrijf exporteert een bepaald product en dat product wordt geëxporteerd naar dat land, dan exporteert het bedrijf dat product naar dat land.

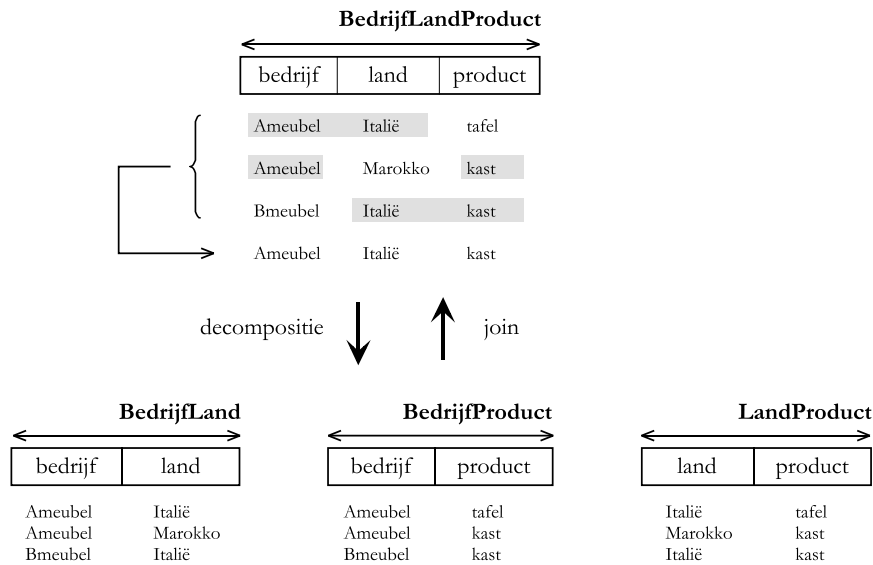
Deze beperkingsregel is een typerend voorbeeld van een joinafhankelijkheid. Figuur 10 illustreert dit met een populatie van slechts vier rijen. Deze populatie illustreert niet alleen de beperkingsregel, maar tevens dat **BedrijfLandProduct** geen meerwaardige afhankelijkheid bevat (ga dit na). **BedrijfLandProduct** voldoet dus aan 4NV.

BedrijfLandProduct		
bedrijf	land	product
Ameubel	Italië	tafel
Ameubel	Marokko	kast
Bmeubel	Italië	kast
Ameubel	Italië	kast

Figuur 10 Joinafhankelijkheid: tabel met illustratieve populatie (kritisch voorbeeld)

Merk op dat de vierde rij de join is van de drie gemarkeerde deelrijen en ook dat deze beperkingsregel erg lijkt op een meerwaardige afhankelijkheid (in de ‘deelrij-formulering’), maar toch net even anders is.

Een gevolg van de joinafhankelijkheid is dat de tabel **BedrijfLandProduct** de join is van de projecties **BedrijfLand**, **BedrijfProduct** en **LandProduct**, zie figuur 11.



Figuur 11 Joinafhankelijkheid: verliesloze decompositie (tot 5NV)

Met andere woorden: **BedrijfLandProduct** kan worden ‘teruggejoind’ uit de decompositie, zonder dat er rijen bijkomen en er dus verlies aan informatie optreedt. Ook hier is dus weer sprake van een verliesloze decompositie.

Na deze decompositie is de redundantie verdwenen. In informatietermen kan men stellen: alleen de binaire feiten worden geregistreerd, alle ternaire feiten zijn hieruit afleidbaar. Tevens heeft elk (binair) type feit nu zijn eigen tabel.

Een algemene definitie van een *joinafhankelijkheid* (*JA*) binnen een tabel *T* wordt gesteld in termen van een decompositie van *T*, die wordt gespecificeerd door een (willekeurig aantal) projectiedeeltablets. De joinafhankelijkheids-bepenkingsregel hierbij houdt dan in dat de join van deze projectietablets precies de oorspronkelijke tabel moet zijn. Ook dit komt dus weer neer op het bestaan van een verliesloze decompositie, of op de eis dat de join van corresponderende deelrijen tot de populatie behoort.

Meerwaardige afhankelijkheid is een bijzonder soort joinafhankelijkheid

Omdat een meerwaardige afhankelijkheid kan worden getypeerd door de mogelijkheid van een verliesloze decompositie corresponderend met twee typen deelrijen, is duidelijk dat joinafhankelijkheid een generalisatie is. Daarbij wordt – als bepénkingsregel – immers het bestaan van zo’n decompositie geëist, maar dan voor een willekeurig aantal deelkolommenschema’s. Een MA is dus een JA, al hoeft een JA nog geen MA te zijn.

2.2 De vijfde normaalvorm

Een relationele databasestructuur voldoet per definitie aan de *vijfde normaalvorm* (*5NV*) als hij in 1NV staat en geen van zijn tablets een niet-triviale joinafhankelijkheid bevat.

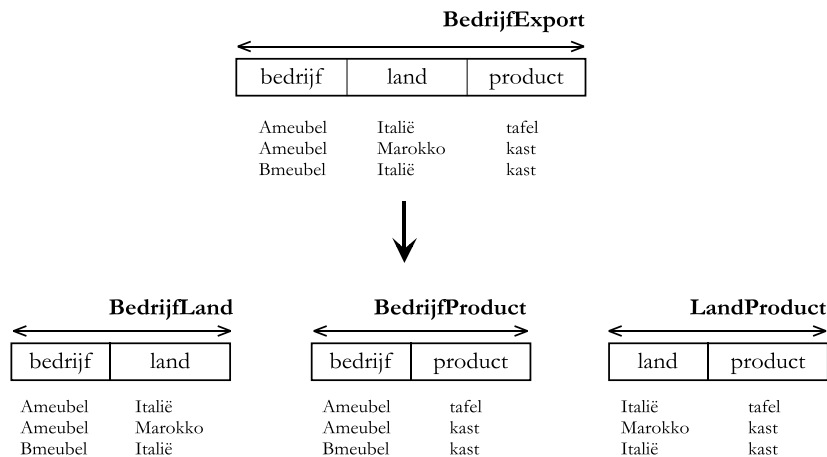
Omdat meerwaardige afhankelijkheid een bijzonder geval is van joinafhankelijkheid (en functionele afhankelijkheid weer een bijzonder geval van meerwaardige afhankelijkheid), volgt dat een structuur in 5NV ook aan alle andere normaalvormen voldoet. Normaliseren tot 5NV houdt dus in: het elimineren van joinafhankelijkheden die in de gegeven structuur ongewenst zijn. Voor elke joinafhankelijkheid geschiedt dit door projectie op de gespecificeerde deel-kolommenschema’s, zoals in figuur 11. De drie projecttablets voldoen aan 5NV.

In voorbeeld 3 illustreren we dat een tabel in 5NV in het algemeen geen decompositie (via projecties) toelaat zonder verlies aan informatie.

Voorbeeld 3

Niet-verliesloze decompositie van 5NV-tabel

De tabel **BedrijfExport** van figuur 12 is, naar we aannemen, niet onderworpen aan enige joinafhankelijkheid. Hij staat dus per definitie in 5NV.



Figuur 12 Voorbeeld van een niet-verliesloze decompositie

De aangegeven decompositie is niet verliesloos: de join van de drie projecties levert immers de populatie op van BedrijfExport, uitgebreid met de extra rij (Ameubel, Italië, kast). Vergelijk dit met figuur 11!

2.3 Normalisatie, de vijfde normaalvorm en informatiemodellering

Omdat de verbodsbepaling bij 5NV een generalisatie is van de verbodsbepalingen bij alle lagere normaalvormen vanaf 2NV, is een overtreding van één van de normaalvormen 2NV tot en met 4NV altijd ook een overtreding van 5NV. Overtredingen komen er altijd op neer dat een tabel niet voldoet aan het principe van ‘elk entiteitstype zijn eigen tabel’. Doordat in één tabel informatie over meerdere entiteitstypen is opgeslagen, kunnen er ongewenste vervlechtingen optreden en wordt de deur naar redundantie opengezet. De remedie bleek te zijn: voer een tabelsplitsing door (een decompositie, via projecties op deeltabellen).

Is dit nu voldoende om een goede structuur te krijgen? Nee, we hebben al eerder gewezen op de volgende punten:

- Bij het kritische voorbeeld van Boyce-Codd (wel 3NV, niet BCNV) werd de intra-tabel-redundantie (dus binnen elke tabel afzonderlijk) weliswaar geëlimineerd, maar kwam daar ‘inter-tabelellende’ voor in de plaats. Meer in het algemeen kunnen we stellen dat de normalisatietheorie tekort schiet doordat alleen intra-tabelcriteria een rol spelen.
- Ook wanneer normalisatie wel leidt tot een betere structuur, is het resultaat vaak nog niet wat we willen. Het kan nodig zijn nog tabellen toe te voegen voor standaardisatie van bepaalde gegevens.
- Redundantie is niet altijd slecht. Soms wordt bewust een gedenormaliseerde structuur gebruikt, ter bevordering van de performance.

De eerste twee punten geven aan dat er een kloof bestaat tussen informatiemodellering en de klassieke normalisatietheorie. Moderne methoden voor informatiemodellering gaan directer op hun doel af (‘elk entiteitstype zijn eigen tabel’) en dus op 5NV, als tenminste een relationele database het einddoel is. Communicatiegerichte methoden (o.a. *ORM*, Object Role Modeling) nemen daarbij de atomaire feittypen (zie paragraaf 2.6 van Relationele databases en SQL) als uitgangspunt. Omdat de kloof meer historisch dan conceptueel bepaald is, bestaat zeker de mogelijkheid deze te dichten. Met een transformatietheorie als zodanig is niets mis! In een moderne normalisatietheorie (er zijn stappen ondernomen hiertoe te komen) dient ook de behandeling van structuren met herhalende groepen opnieuw doordacht te worden.

Oefenopgaven

Opgave 4

Figuur 13 geeft een tabelstructuur met voorbeeldpopulatie, die informatie bevat over muziekstukken die in diverse arrangementen worden uitgevoerd door verschillende kamermuziekgroepen.

UitgevoerdArrangement			
stuk	groep	instrument	aantal
1	X	viool	2
1	X	piano	1
2	X	viool	2
2	X	piano	1
1	Y	viool	1
1	Y	fluit	1
1	Y	cello	1
3	Y	viool	1
3	Y	fluit	1
3	Y	cello	1

Figuur 13

Elk muziekstuk heeft een uniek nummer en elke groep een unieke groepsnaam (voor beter overzicht zijn in de populatie één-letternamen gekozen).

Van de arrangementen is slechts de bezetting van belang (de instrumenten met hun aantal). Deze bezetting wordt volledig bepaald door de uitvoerende groep en is dus onafhankelijk van het stuk. Wel wordt (*dit is een regel!*) in de deelpopulatie behorende bij elk stuk de volledige groepsbezetting opgenomen.

- Teken in de tabelstructuur de juiste uniciteitsregel.
- Markeer in de voorbeeldpopulatie een maximale verzameling redundante gegevens.
- Zijn er een of meer functionele afhankelijkheden die in deze structuur tot redundantie aanleiding geven? Zo ja, teken deze. Wat is de hoogste normaalvorm waaraan UitgevoerdArrangement voldoet?
- Indien de structuur niet in BCNV staat: normaliseer tot BCNV.
- Zijn er een of meer meerwaardige afhankelijkheden die in deze structuur tot redundantie aanleiding geven? Zo ja, teken deze. Voldoet de structuur aan een nog hogere normaalvorm dan BCNV?
- Normaliseer de structuur tot 5NV.
- Laat zien welke ‘verstopte’ herhalende groepen de structuur bevat door zover mogelijk te denormaliseren.

Opgave 5

Gegeven is de tabel Artikel (zie figuur 14).

			Artikel	
←→	nr	voorraad	btw-groep	btw-percentage
	100	3	2	19
	101	3	1	6
	102	5	2	19

Figuur 14

Bekend is dat bij één btw-groep altijd hetzelfde btw-percentage hoort.

- Pas op Artikel en haar voorbeeldpopulatie decompositie toe, bij de kolomverzamelingen (nr, voorraad) en (voorraad, btw-groep, btw-percentage).
- Is deze decompositie verliesloos? Illustreer uw antwoord aan de hand van de voorbeeldpopulatie.
- Bestaat er een andere decompositie die wel verliesloos is? Illustreer ook nu uw antwoord aan de hand van de voorbeeldpopulatie.

Samenvatting

Paragraaf 1

De *vierde normaalvorm* (4NV) is gebaseerd op een verbod op *meerwaardige afhankelijkheden*, voor zover die redundantie kunnen veroorzaken. Het begrip *meerwaardige afhankelijkheid* (MA) houdt een generalisatie in van het begrip functionele afhankelijkheid (FA): elke FA is een MA, maar niet omgekeerd.

De volgende definitie gaat uit van een tabel met kolommen (of kolomcombinaties) A en B , waarbij C de verzameling restkolommen is. Verder zijn a , b en c waarden (of waardencombinaties), waarbij a tot A , b tot B en c tot C behoort.

B heet *meerwaardig afhankelijk* van A wanneer de volgende, onderling equivalente beperkingsregels gelden:

- de verzameling c -waarden bij een (a, b) -combinatie hangt alleen van a af
- de verzameling b -waarden bij een (a, c) -combinatie hangt alleen van a af
- wanneer (a, b) en (a, c) als deelrijen voorkomen in de populatie, dan behoort de rij (a, b, c) tot de populatie.

Als B meerwaardig afhankelijk is van A , is ook C meerwaardig afhankelijk van A . In de derde formulering is die symmetrie bij voorbaat duidelijk.

Een ‘ongewenste’ meerwaardige afhankelijkheid kan worden geëlimineerd door een decompositie, corresponderend met de deelrijen (dus met AB en AC). Deze is *verliesloos*, hetgeen inhoudt dat geen informatie verloren gaat: de oorspronkelijke tabel kan worden teruggevonden door te joinen. Dit geldt ook voor de decomposities bij functionele afhankelijkheden, een FA is immers een bijzonder geval van een MA.

Kritische voorbeelden (niet-triviale MA's die geen FA zijn) kunnen worden geconstrueerd uit functionele afhankelijkheden waarvan de determinant niet-uniek is en de gedetermineerde een herhalende groep. Ze blijken te kunnen worden opgevat als een vervlechting (join) van twee herhalende groepen.

Paragraaf 2

De *vijfde normaalvorm* (5NV) is gebaseerd op een nog algemenere verbodsbepaling: het verbod op (niet-triviale) *joinafhankelijkheid*. Een tabel bevat een joinafhankelijkheid wanneer de regel geldt dat, bij een bepaalde verzameling deelrijen (gespecificeerd in termen van een kolommenschema $ABCD\dots$) ook de join van die deelrijen tot de populatie moet behoren.

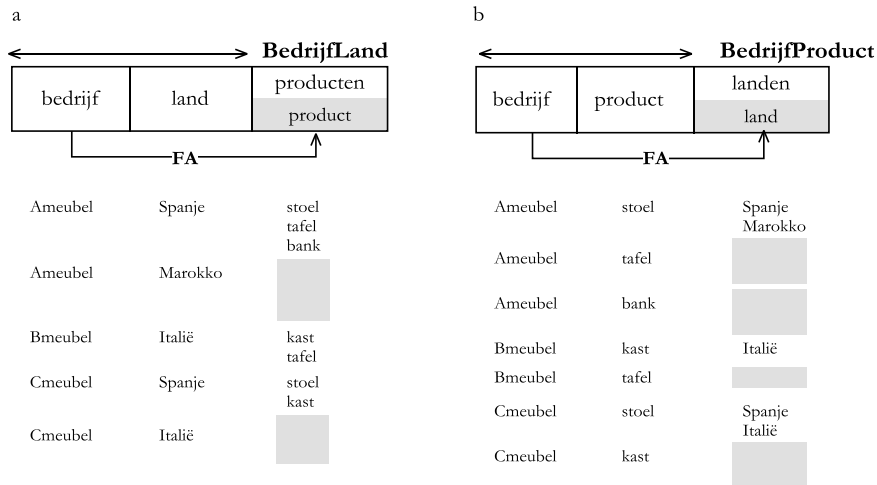
Het begrip joinafhankelijkheid generaliseert het begrip meerwaardige afhankelijkheid, dat op zijn beurt een generalisatie is van het begrip functionele afhankelijkheid.

Elke structuur die niet in 5NV staat, laat een *verliesloze decompositie* toe: een decompositie door middel van projecties waarbij, voor elke geldige populatie, de join van de projecties weer de oorspronkelijke tabel oplevert.

Uitwerking van de opgaven

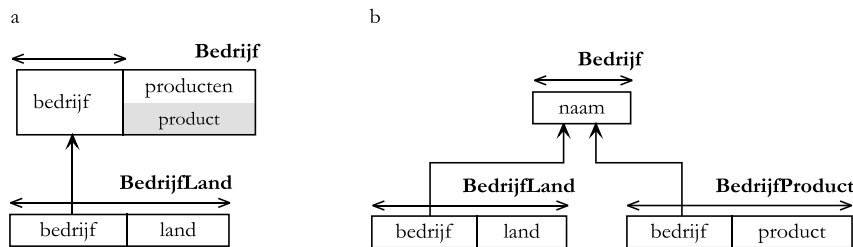
1 De kolomcombinatie (bedrijf, land, producten) vormt een supersleutel (zie paragraaf 2.1.4 van Relationele datbases en SQL). Deze kan worden versmald door de gedetermineerde van de functionele afhankelijkheid weg te laten. Aangezien bedrijf en land geen van beide uniek zijn, is de combinatie (bedrijf, land) een zo zuinig mogelijk gekozen unieke combinatie en vormt dus een kandidaatsleutel.

2 De gegevens die in figuur 15a (bij figuur 1) en figuur 15b (bij figuur 2) schuil gaan, zijn te reconstrueren uit de andere gegevens, en dus redundant. De structuur van figuur 3 laat geen redundantie toe.



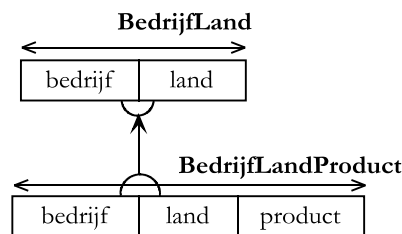
Figuur 15

3 Manier 1 geeft eerst (na elimineren van de functionele afhankelijkheid) figuur 16a. Het eindresultaat (na elimineren van de herhalende groep) is figuur 16b.



Figuur 16

Manier 2 (direct elimineren van de herhalende groep) geeft figuur 17.



Figuur 17

Opmerking: vanuit figuur 2 krijgen we voor manier 1 hetzelfde resultaat (figuur 16b) en voor manier 2 een analoog resultaat (als figuur 17, maar dan met een tabel *BedrijfProduct* en een bijbehorende verwijzing). Vanuit figuur 3 krijgen we, als we de herhalende groepen één voor één afsplitsen, hetzelfde resultaat als figuur 17b.

4a De enige uniciteitsbeperking is die over de eerste drie kolommen (zie figuur 18).



Figuur 18

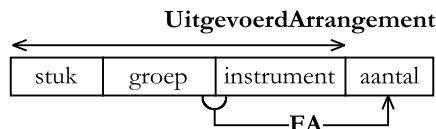
b Alles wat schuil gaat onder een grijze markering kan worden gereconstrueerd uit de overige gegevens (zie figuur 19). Immers: gegeven is dat de volledige bezetting (voor groep X blijkbaar 2 violen en 1 piano) bij elk stuk worden vermeld.

UitgevoerdArrangement

stuk	groep	instrument	aantal
1	X	viool	2
	X	piano	1
2	X		
1	Y	viool	1
	Y	fluit	1
	Y	cello	1
3	Y		

Figuur 19

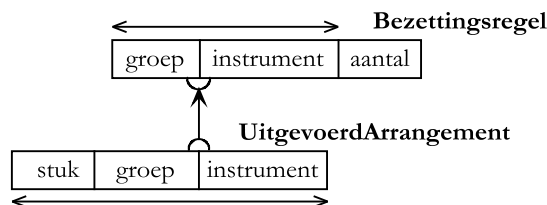
c De aantal-waarden worden gedetermineerd door de combinatie van groep en instrument (zie figuur 20).



Figuur 20

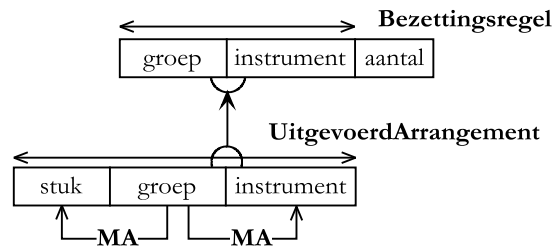
Omdat deze FA een partiële sleutelafhankelijkheid is, voldoet de structuur niet aan 2NV, zodat 1NV de hoogste normaalvorm is.

d Decompositie ('afsplitsen van de FA') leidt tot 2NV, maar de nieuwe structuur staat dan gelijk ook in BCNV (zie figuur 21).



Figuur 21

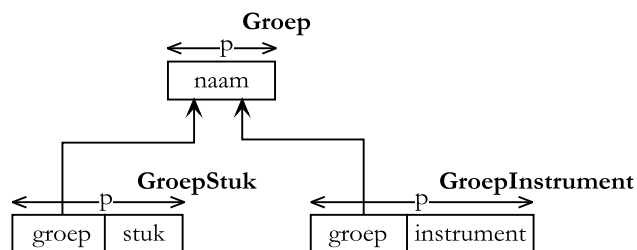
e Bij een groep hoort een vaste bezetting, dus een vaste verzameling instrumenten. Bij elke combinatie (stuk, groep) worden die instrumenten vermeld. Dit impliceert dat instrument meerwaardig afhankelijk is van groep. We kunnen nu ook een tweede meerwaardige afhankelijkheid verwachten, en inderdaad: ook stuk is meerwaardig afhankelijk van groep. Dit geeft figuur 22.



Figuur 22

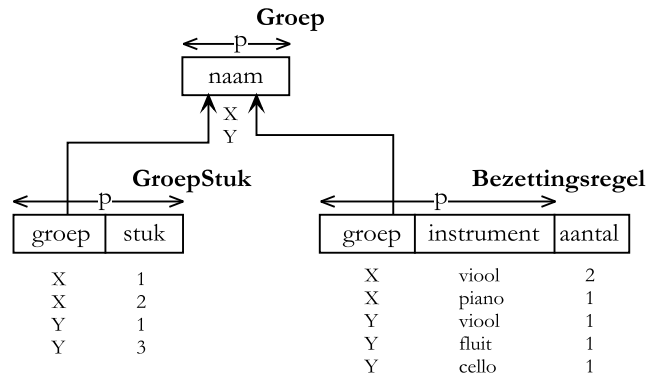
Gezien de meerwaardige afhankelijkheden voldoet de structuur niet aan 4NV en is BCNV de hoogste normaalvorm.

f Decompositie van UitgevoerdArrangement leidt tot figuur 23.



Figuur 23

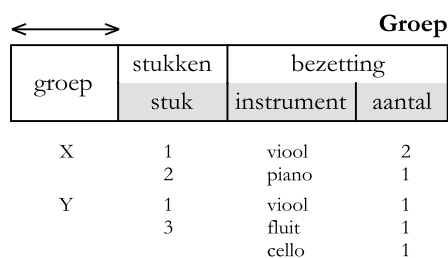
De tabel GroepInstrument heeft een verwijzing naar Bezettingsregel. Op de aantal-kolom na komen beide tabellen overeen, zodat we ze kunnen samenvoegen tot één tabel. Met de voorbeeldpopulatie erbij geeft dit figuur 24.



Figuur 24

De structuur staat nu in 4NV, maar omdat er verder geen joinafhankelijkheid is, ook in 5NV.

g Hier wordt het andere uiterste gevraagd: volledige denormalisatie. De gevraagde structuur heeft de determinant van de meerwaardige afhankelijkheden als sleutel en daarbij twee herhalende groepen (zie figuur 25).



Figuur 25

Merk op dat ook deze structuur vrij is van redundantie!

5a Resultaat van de decompositie (zie figuur 26).

		Artikel	
nr	voorraad	btw-groep	btw-percentage
100	3	2	19
101	3	1	6
102	5	2	19

Figuur 26

b Deze decompositie is niet verliesloos, zoals de voorbeeldpopulatie illustreert. De join van beide tabellen is immers niet gelijk aan Artikel, maar bevat twee extra rijen (zie figuur 27).

nr	voorraad	voorraad	btw-groep	btw-percentage
100	3	3	2	19
101	3	3	1	6
102	5	5	2	19

Figuur 27

De informatie dat artikel 100 btw-groep 2 heeft en artikel 101 btw-groep 1, is verloren gegaan.

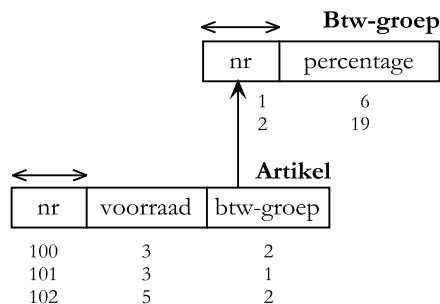
Opmerking: de voorbeeldpopulatie doet niet meer dan *illustreeren* dat de decompositie niet verliesloos is. Een decompositie is verliesloos als de join van de nieuwe tabellen gelijk is aan de oorspronkelijke tabel *voor elke geldige populatie*.

c Ja, de volgende decompositie (zie figuur 28).

nr	voorraad	btw-groep	btw-groep	btw-percentage
100	3	2	1	6
101	3	1	2	19
102	5	2		

Figuur 28

Deze decompositie komt overeen met een afsplitsing zoals bij normalisatie tot 3NV (resultaat staat ook in BCNV). Btw-percentage is immers functioneel afhankelijk van de niet-sleutelkolom btw-groep. Compleet met tabelnamen, een sleutelverwijzing en een naamaanpassing krijgen we figuur 29.



Figuur 29