

BayesBuilder: Introductie Bayesiaanse Netwerken

– Computer Practicum –

P.C. Groot & Tom Heskes

Institute for Computing and Information Sciences, Radboud University Nijmegen

<http://www.cs.ru.nl/~perry>

<http://www.cs.ru.nl/~tomh/>

Wim Wiegerinck

SNN, Radboud University Nijmegen

<http://www.snn.ru.nl/~wimw>

Over dit Practicum

Dit computer practicum heeft als doel inzicht te geven in het modelleren van Bayesiaanse netwerken. Het practicum maakt gebruik van BayesBuilder, een software pakket dat ontwikkeld is voor het maken en uitvoeren van Bayesiaanse netwerken. BayesBuilder is gratis voor niet commerciële doelen en kan gedownload worden van het internet.¹ BayesBuilder draait momenteel alleen onder Microsoft Windows. Voor dit practicum is BayesBuilder al voor je geïnstalleerd. Hoofdstuk 2 beschrijft de opdracht. Appendix A geeft achtergrond informatie over het gebruikte model in de opdrachten. Appendix B geeft achtergrondinformatie over het gebruik van BayesBuilder. Appendix C geeft een vertaling van enkele Engelse woorden die gebruikt worden in dit practicum.

1 Opdracht: Diagnose bij de dokter

Om te oefenen met het programma en het redeneren met kansen bekijken we nog een keer het scenario van een patient die bij de dokter komt en last heeft van kortademigheid.

1.1 Het netwerk voor diagnose

Open in BayesBuilder het netwerk '1-Diagnose.bbnet' en zet alvast het vlaggetje op 'groen'. Kijk of je de volgende elementen in het netwerk kunt herkennen/terugvinden:

1. Wat is de kans dat iemand rookt? (klik met de rechtermuisknop en kies 'Probabilites...') En dus wat is de kans dat iemand niet rookt?
2. Hoeveel procent van de mensen die bij de dokter komen is kortademig?

¹<http://www.snn.ru.nl/Research/bayesbuilder/setup-bayesbuilder.exe>

3. Roken vergroot de kans op longkanker en daarmee de kans op een positieve rontgenfoto.
4. Het rookgedrag van mensen wordt niet beïnvloed door de vervuilingsgraad in hun omgeving of omgekeerd.

1.2 Redeneren met BayesBuilder

Zoals gezegd ligt de kracht van een Bayesian netwerk in het kunnen redeneren met kansen in de vorm 'Wat is de meest waarschijnlijke verklaring voor een patient met symptomen X en Y maar niet Z?'. Goed gebruik en interpretatie van het netwerk kunnen je dan helpen de juiste conclusies te trekken. Bepaalde conclusies liggen voor de hand:

1. Wat is de kans op een positieve rontgenfoto bij iemand die longkanker heeft? (verifieer door de variable m.b.v. het pinnetje te 'clampen')
2. Wat is de kans dat een niet-roker kortademig is?

Andere combinaties worden al gauw iets minder triviaal. (Probeer eerst zelf een inschatting te maken en verifieer je antwoord daarna met behulp van het netwerk):

3. Wat is de kans dat iemand bij wie de rontgenfoto positief was longkanker heeft?
4. Wie heeft een grotere kans op longkanker: een niet-kortademig persoon in een gebied met veel vervuiling of een kortademig persoon uit een schone leefomgeving?

2 Opdracht: Een model voor medische diagnose

Hoe groter en complexer het netwerk hoe moeilijker het wordt om allerlei 'gezond verstand' inschattingen te maken. Hieronder kijken we naar een iets uitgebreider model van een kliniek waar ze medisch advies geven voor mensen met klachten aan de luchtwegen.

2.1 Controleren van het model

Open in BayesBuilder het netwerk '2a - Chestcallcenter (incomplete).bbnet'. Controleer of de achtergrond kennis, beschreven in appendix A, op een juiste manier is vertaald bij het maken van het model. Controleer bijvoorbeeld in de volgende twee gevallen of de kanstabellen overeenkomen met de hieronder gegeven kennis:

- 10 % van de mensen die *roken* hebben *longkanker*, maar slechts 1 % van de mensen die *niet roken* hebben *longkanker*.
- 30 % van de mensen die *roken* hebben *bronchitis*, maar slechts 1 % van de mensen die *niet roken* hebben *bronchitis*.

Er belt iemand met koorts (fever) die last heeft van kortademigheid. Kun je op basis van deze gegevens bepalen of hij/zij zich zorgen zou moeten maken over longontsteking of dat een andere verklaring waarschijnlijker is?

2.2 Uitbreiden van het model

De persoon geeft ook aan dat 'het snot gutst bun deus uit'². We weten dat een loopneus een typisch verschijnsel is bij een gewone verkoudheid, maar in het model is dit symptoom nog niet opgenomen. We gaan daarom een extra knoop 'runny nose' toevoegen die voldoet aan de volgende informatie:

- In 90 % van de cases gaat *verkoudheid* (common cold) samen met een *loopneus*.
- Slechts 1 % van de mensen zonder *verkoudheid* had een *loopneus*.

Voer de volgende handelingen uit:

Maak met 'create node' een nieuwe knoop aan. Vul bij de label naam 'runny nose' in. Plaats de nieuwe knoop recht onder de 'common cold' knoop. Selecteer de 'link' toets (button met pijl naar beneden) en trek een verbinding van 'common cold' naar 'runny nose'. Klik op het witte 'select node' pijltje (linksboven in de taakbalk). Klik met de rechtermuisknop op 'runny nose' en selecteer 'Probabilities...'. Vul de kansinformatie in zoals boven aangegeven. (Als je er niet goed uitkomt of wilt weten of je het goed gedaan hebt kun je het volledige netwerk bekijken door het bestand '2b - Chestcallcenter (compleet).bbnet' te openen.)

Kun je met deze extra informatie (de loopneus) een betere inschatting maken over de kans op longontsteking of ligt de juiste diagnose inmiddels voor de hand?

2.3 Toepassen van het systeem in de praktijk

Pas je systeem toe op de volgende cases:

- Meneer De Rover belt op. Hij is boekhouder in een middelgroot bedrijf. Hij woont in een keurig rijtjeshuis in Almere. Hij klaagt over hoge koorts en een vervelende natte hoest (alhoewel hij niet rookt). Bovendien heeft meneer De Rover ook nog last van een loopneus. Welke diagnose heeft de grootste kans? Waarom?
- Het leger des heils belt op. Een onbekend persoon, die er nogal beroerd uitziet, is gearriveerd in hun opvang voor daklozen. Hij heeft hoge koorts en een vervelende natte hoest. Wat is je diagnose?
- Een collega belt op. Eén van zijn patiënten heeft last van een terugkerende pneumonia. Deze patient is een zware roker maar volgt verder een 'normale', gezonde levenswijze. Wat is je advies: naar het ziekenhuis voor een foto of niet?

²waarmee hij waarschijnlijk zijn neus bedoelt

- Als we observeren dat de patiënt hoest dan wordt de kans op longkanker groter. Als we echter weten dat de patiënt zowel borstpijn als ademtekort heeft, dan zorgt hoesten er juist voor dat dit de kans op longkanker verkleint. Hoe kan dit? (Dit effect wordt ook wel ‘explaining away’ genoemd.)

3 Opdracht: Wie zijn beter in wiskunde: jongens of meisjes?

Vaak hebben we wel veel data, maar weten we niet precies hoe de pijlen in het model moeten lopen. In dat geval wordt het extra moeilijk om goede conclusies te trekken. Ter illustratie kijken we hier naar resultaten van een (gefingeerd) onderzoek onder scholieren van twee scholen om antwoord te krijgen op de aloude vraag wie er nou eigenlijk beter zijn in wiskunde: jongens of meisjes.

3.1 Jongens zijn beter ...!?

Open het netwerk ‘3a - Maths.bbnet’ in Bayesbuilder. Lees af hoeveel procent van de geïnterviewde leerlingen ‘goed’ is in wiskunde (gemiddeld hoger dan 7), en hoeveel procent daarvan jongens resp. meisjes waren.

Wie zijn er op basis van deze gegevens gemiddeld beter in wiskunde?

3.2 ... nee meisjes! ...

Één van de meisjes van het St.Dunstan’s college is het daar (uiteraard) in het geheel niet mee eens en meldt opgelucht dat op *haar* school meisjes het gemiddeld beter deden dan jongens. Klopt dit?

Maar, zegt een meisje van het Imperial, bij ons deden meisjes het gemiddeld *ook* beter dan jongens!? Klopt dit? en zo ja: hoe kan het dat jongens het als geheel beter doen terwijl in beide scholen meisjes beter scoren dan jongens?

Wie zijn er nu eigenlijk echt gemiddeld beter in wiskunde op basis van deze gegevens?

3.3 ... of toch niet?

Eigenlijk is ook die conclusie niet gerechtvaardigd: met extra informatie kan blijken dat het toch weer heel anders ligt! Bijvoorbeeld netwerk ‘3b - Maths.bbnet’ geeft een alternatief netwerk voor exact dezelfde data waarin jongens juist weer beter zijn dan meisjes. Pfffff ... lastig hoor. Om te bepalen wat er echt aan de hand is heb je meer gegevens nodig ... en hulp van krachtige technieken zoals Bayesiaanse netwerken!

Natuurlijk tot slot de moeilijkste vraag: wie zijn er bij jullie eigenlijk beter? ...

Acknowledgement

BayesBuilder is ontwikkeld door Marcel Nijman, Ender Akay, and Wim Wiegerinck van SNN Nijmegen³ onderdeel van het Donders Instituut voor Neuroscience, Radboud Universiteit Nijmegen. Deze practicum handleiding is een vertaling van een masterclass van Wim Wiegerinck. Tom Claassen heeft feedback en nuttige aanvullingen gegeven op deze manual.

A Algemene Kennis en Statistische Informatie

De kennis die gebruikt is voor het model in de opdrachten is afkomstig van een model over aandoeningen betreffende de luchtwegen [Lauritzen and Spiegelhalter, 1988]:

Het symptoom *dyspnoea* (ademtekort) kan veroorzaakt worden door de ziekten *pneumonia* (longontsteking), *longkanker*, en/of *bronchitis*. Patiënten met *pneumonia* en/of *bronchitis* hebben vaak last van een *natte hoest*. *Pneumonia* en/of *longkanker* gaan vaak samen met een hevige *pijn op de borst*. *Pneumonia* veroorzaakt vaak een *hoge koorts*, maar dit kan ook veroorzaakt worden door een eenvoudige verkoudheid. Een *verkoudheid* kan echter vaak herkend worden door een *loopneus*. Soms kunnen symptomen zoals *natte hoest*, *borstpijn*, en/of *dyspnoea* voorkomen zonder dat deze te verklaren zijn omdat eerder genoemde ziekten ontbreken. Het kan ook voorkomen dat meerdere ziekten tegelijk voorkomen. Een *verzwakt immuunsysteem*⁴ of *longkanker* kan de kans op *pneumonia* verhogen. *Roken* is een ernstige risicofactor voor *bronchitis* en voor *longkanker*.

Voor de ziekten *pneumonia*, *longkanker*, *bronchitis* en *verkoudheid*, bestaan er wel standaard testen, maar deze worden niet meegenomen in het model.

Enkele gegevens over de populatie van mensen die de kliniek bezoekt:

- Statistieken:

Symptoom	%	Symptoom	%
verzwakt immuunsysteem	5	roken	29
pneumonia	2	longkanker	4
bronchitis	9	verkoudheid	35
koorts	9	natte hoest	19
borstpijn	14	ademtekort	18

- Correlaties (afhankelijkheden):

– 80 % van de populatie mensen met *bronchitis* had ook last van *dyspnoea*.

³<http://www.snn.ru.nl/nijmegen>

⁴Komt bijvoorbeeld voor bij daklozen of met HIV geïnfecteerde mensen.

- 50 % van de populatie mensen zonder *bronchitis*, maar met *pneumonia*, en/of *longkanker* had ook last van *dyspnoea*.
 - 10 % van de populatie mensen waarvoor de drie eerder genoemde ziekten niet vastgesteld konden worden hadden last van *dyspnoea*.
 - 90 % van de populatie mensen met *pneumonia*, en/of *longkanker* hadden tevens last van *pijn op de borst*.
 - 10 % van de populatie mensen waarvoor de ziekten niet vastgesteld konden worden hadden last van *borstpijn*.
 - 90 % van de populatie met *pneumonia* en/of *bronchitis* hadden last van een *natte hoest*.
 - 10 % van de populatie mensen waarvoor de ziekten niet vastgesteld konden worden hadden last van een *natte hoest*.
 - Van de populatie met een verkoudheid had 20 % tevens een hoge koorts. In 90 % van de gevallen ging een *verkoudheid* samen met een *loopneus*. Slechts 1 % van de mensen zonder *verkoudheid* had een *loopneus*.
 - 90 % van de populatie met *pneumonia* had een hoge koorts.
- Risicofactoren:
 - 10 % van de mensen die *roken* hebben *longkanker*, maar slechts 1 % van de mensen die *niet roken* hebben *longkanker*.
 - 30 % van de mensen die *roken* hebben *bronchitis*, maar slechts 1 % van de mensen die *niet roken* hebben *bronchitis*.
 - 30 % van de mensen met een *verzwakt immuunsysteem* en 5 % van de mensen met *longkanker* hebben tevens *pneumonia*. In slechts 0.1 % van de populatie zonder risico factoren had tevens *pneumonia*.

B Introductie BayesBuilder

In deze sectie beschrijven we de belangrijkste functies van BayesBuilder. We doen dit op basis van een voorbeeld en een korte samenvatting van Bayesiaanse netwerken.

B.1 BayesBuilder

Om BayesBuilder te starten dubbel-klik je het icoon genaamd **BayesBuilder.exe**. Wacht op de licentie verklaring, en klik ‘accept’. De belangrijkste functies van BayesBuilder kunnen geraadpleegd worden met behulp van de ikoontjes op de menu balk. Als de muis boven een icoon blijft zweven, volgt er een korte uitleg. Een icoon wordt uitgevoerd door een enkele klik met de linker muis knop.



Open network: Klik ‘Open network’, selecteer ‘icy.bbnet’ en klik op ‘Open’. Het netwerk wordt vervolgens getoond in het rechter paneel.

B.1.1 Redeneren in BayesBuilder

Dit netwerk is gerelateerd aan een kort verhaal over redeneren met onzekerheid [Jensen, 1996].

Icy roads

Politie inspecteur Smith wacht ongeduldig op de komst van Mr. Holmes en Dr. Watson. Ze zijn laat en inspecteur Smith heeft nog een andere belangrijke lunch afspraak. Hij kijkt uit het raam en vraagt zich af of er ijs ligt op de wegen. Zowel Holmes als Watson zijn namelijk slechte auto bestuurders, dus als er ijs ligt op de wegen, zouden ze kunnen verongelukken.

Zijn secretaresse komt binnen en vertelt hem dat Dr. Watson een verkeersongeluk heeft gehad. “Watson? OK. Het zou nog erger kunnen zijn... ijs op de wegen! Dan heeft Holmes waarschijnlijk ook een aanrijding gehad. I ga nu maar naar mijn lunch afspraak.”

“IJs op de wegen?” antwoordt zijn secretaresse. “Zo koud is het niet, en bovendien is er zout gestrooid op de wegen.” Inspecteur Smith klaart op. “Pech voor Watson dan. Laten we Holmes nog tien minuten geven.”

Een Bayesiaans netwerk is een representatie van een probabilistisch model. In dit geval heeft het model drie variabelen: *IcyRoads*, *Watson*, en *Holmes*. Dit zijn de knopen in het netwerk. De knopen hebben een discrete verzameling van toestanden. Bijvoorbeeld de knoop *Watson* heeft toestanden *crash* en *safe*. De getallen achter de toestanden, gevisualiseerd met rode balken⁵ in de knopen, geven de kansen weer ($\times 100$) dat die knoop in die specifieke toestand verkeert.

$$\begin{aligned}P(Watson = crash) &= 0.59 \\P(Watson = safe) &= 0.41 \\P(IcyRoads = TRUE) &= 0.70\end{aligned}$$

etc. Merk op dat de kansen in een knoop altijd tot 1 optellen.



Clamp node: Als dit ikoon geactiveerd is kunnen knopen een waarde krijgen door een klik met de linkermuisknop. Op deze manier wordt er een observatie in het netwerk ingevoerd. Bijvoorbeeld, klik met de linkermuisknop op de toestand *crashed* in de knoop *Watson*. De blauwe balk betekent dat de knoop geobserveerd is in die toestand.



Enable/disable calculating of network: Om het netwerk uit te rekenen, moet de groene vlag geselecteerd worden. Als dit gedaan wordt zal je zien dat de overige

⁵De rode balken worden pas getoond als het netwerk uitgevoerd wordt. Hier kan het ikoon met de rode vlag voor geselecteerd worden.

rode balken (*IcyRoads*, *Holmes*), van waarde veranderen. Deze representeren de kansen afhankelijk van de knopen die geobserveerd zijn. Bijvoorbeeld

$$\begin{aligned} P(IcyRoads = TRUE | Watson = crash) &= 0.95 \\ P(Holmes = crash | Watson = crash) &= 0.76 \end{aligned}$$

Door met de linkermuisknop te klikken op een andere toestand (bijvoorbeeld *safe*) in de knoop *Watson*, wordt de knoop vastgezet. Je kunt de observatie opheffen door met de linkermuisknop te klikken op de naam van de knoop (*Watson*), of door een klik met de linkermuisknop op de blauwe balk, of op de naam van de toestand.

Een Bayesiaans netwerk is gedefinieerd als een product van conditionele kanstabellen. Voor elke knoop in een Bayesiaans netwerk is er één tabel. Deze tabellen vormen de instellingen van het netwerk. De grafische structuur van het netwerk geeft aan hoe de kansen van een knoop afhangen van de ouders van die knoop (de knopen die wijzen naar die knoop). Als er geen ouder naar een knoop wijst, bestaat de tabel enkel uit ongeconditioneerde kansen. In dit geval is het Bayesiaanse netwerk dus gedefinieerd als het product

$$P(Watson, IcyRoads, Holmes) = P(IcyRoads) \cdot P(Watson | IcyRoads) \cdot P(Holmes | IcyRoads)$$

De tabellen kunnen bekeken (en veranderd) worden door met de rechtermuisknop te klikken op de knoop en vervolgens **Probabilities...** te selecteren in het pop-up menu. Bijvoorbeeld, in *Watson*'s tabel, toont de eerste rij de conditionele kansen van *Watson*'s toestand (*crash* of *safe*) geconditioneerd op *IcyRoads = True*. De tweede regel toont de kansen geconditioneerd op *IcyRoads = False*. In andere woorden, de tabel representeert de volgende conditionele kansen

$$\begin{aligned} P(Watson = crash | IcyRoads = TRUE) &= 0.8 \\ P(Watson = safe | IcyRoads = TRUE) &= 0.2 \\ P(Watson = crash | IcyRoads = FALSE) &= 0.1 \\ P(Watson = safe | IcyRoads = FALSE) &= 0.9 \end{aligned}$$

Merk op dat elke rij tot 1 sommeert. Je kunt deze kansen expliciet controleren door in *BayesBuilder* de 'clamp node' icoon te gebruiken om geobserveerde waarden van *IcyRoads* in te voeren.

Test het model en controleer of het model overeenkomt met de redeneer strategie die inspecteur en zijn secretaresse volgden.

B.1.2 Veranderen van Modellen en Maken van Nieuwe Modellen



Create node: Een dialoogvenster verschijnt. De label van de knoop (standaard 'label0', 'label1' etc.), het aantal toestanden van de knoop, en de toestand namen

(komma gesepareerd, standaard TRUE,FALSE) kunnen ingevoerd worden. Labels en toestand namen kunnen later eventueel nog veranderd worden.

Verder de tekst 'label0' en vul in 'Cold?'. Druk op OK. De knoop is in het midden van het zichtbare scherm gemaakt en wordt met een onderbroken streep getekend omdat de kansen nog ingevuld moeten worden.



Move node: Klik met de linkermuisknop op een knoop en verplaats deze naar een andere plaats. In dit geval dien je de nieuwe knoop direct boven de knoop *IcyRoads* te plaatsen. Analoog kan je andere knopen ook verplaatsen.

Maak een andere knoop en geef het het label 'Salted?' en plaats deze rechts van *Cold* en *IcyRoads*.



Link node: Er zijn een aantal verschillende manieren om twee knopen met elkaar te verbinden:

1. Druk met de linkermuisknop op de knoop *Cold*. Nu is *Cold* paars, wat betekent dat deze geselecteerd is. Trek een pijl van *Cold* naar *Salted*.
2. Druk met linkermuisknop op *IcyRoads*. Druk met de rechtermuisknop op *Cold* en *Salted*.

Pijlen kunnen verwijderd worden een pijl in *dezelfde* richting nogmaals te tekenen. Bijvoorbeeld, een druk met de linkermuisknop op *IcyRoads* en met de rechtermuisknop op *Salted* verwijdert de pijl. Druk nogmaals op *Salted* om de pijl opnieuw te tekenen.

Merk op dat het niet toegestaan is om pijlen in een lus (in de richting van de pijlen) te tekenen.



Select node: Druk met de linkermuisknop op *Cold*, en vervolgens met de rechtermuisknop op dezelfde knoop. Selecteer **Probabilities....** Het dialoog scherm van de kanstabel van de knoop verschijnt die je vervolgens kunt bekijken of aanpassen.

De Kansen Dialoogscherf van een Knoop. Je kunt elke positieve waarde invullen, d.w.z. een getal tussen 0 en 100 is ook mogelijk i.p.v. 0 en 1. De getallen worden automatisch genormaliseerd zodra je het dialoogscherf sluit. De tabel kan geleegd worden d.m.v. de linker knop (kleine witte vierkantjes), en de tabel kan genormaliseerd worden d.m.v. de rechter knop (calculator) in de werkbalk van het dialoogscherf. Uniforme en random waarden kunnen ingevoerd worden m.b.v. het **Table** menu. Leeg de tabel, vul de waarden 0.95 in het vakje gelabeld 'TRUE' en 0.05 in het vakje gelabeld 'FALSE'. Zorg ervoor dat je of de **Enter** toets of een ander tekst vakje activeert met de muis nadat je een waarde hebt ingevoerd. Druk op OK. Open de kansen dialoogscherf van de knoop *Salted*. Nu moet je conditionele kansen invoeren voor *Salted* geconditioneerd op de toestanden van *Cold*. Voer de volgende tabel in

Cold?	TRUE	FALSE
TRUE	0.5	0.5
FALSE	0.1	0.9

Voer tenslotte de kansen in voor *IcyRoads*.

Salted?	Cold?	TRUE	FALSE
TRUE	TRUE	0.5	0.5
TRUE	FALSE	0.001	0.999
FALSE	TRUE	0.9	0.1
FALSE	FALSE	0.01	0.99

(Als *Salted* en *Cold* zijn verwisseld dan moeten de bijbehorende kansen ook verwisseld worden.)

Let op: zorg ervoor dat je de ENTER knop intoetst nadat je de laatste kans hebt ingevoerd. Anders wordt deze kans namelijk niet opgeslagen.

Na het invoeren van de kansen, is het netwerk weer volledig gespecificeerd, zoals ook te zien is door de rode balken. Nu kan je het model toetsen. Controleer bijvoorbeeld of het model overeenkomt met de redeneer strategie van inspecteur Smith en zijn secretaresse. Je zal vermoedelijk zien dat de conclusies niet veel verschillen van het originele 'icy.bbnet' netwerk.

De Eigenschappen Dialoog Venster van een Knoop: Selecteren van **Properties...** in het pop-up menu van een knoop geeft je de mogelijkheid om de label van een knoop te veranderen evenals de namen van de toestanden van die knoop. Je kan ook tekst invoeren 'descr.' en 'info' tekst velden.

Saving: Maak gebruik van de **Save as ...** optie in het **File** menu om het netwerk onder een andere naam op te slaan. (gebruik **Save** als geen andere naam nodig is.)

Andere Nuttige Operaties

File | New om een nieuw netwerk te maken.

Edit | Undo / Redo om een operatie ongedaan te maken of wederom uit te laten voeren. Ook toegankelijk vanaf de tool-bar.

Network | Delete Selection selecteer één of meer knopen d.m.v. **Select**, en klik op één of meer knopen terwijl de **Ctrl** toets ingedrukt wordt. **Delete Selection** (of **Ctrl Delete**) verwijdert de knopen (deze operatie kan ongedaan worden).

Network | Clear Dit zorgt ervoor dat geen enkele knoop geobserveerd is.

Module | Edit Name Verander de naam in de bovenste linker hoek van het netwerk paneel.

C Terminologie

Hieronder volgen de Nederlandse en Engelse medische termen die voorkomen in het Bayesiaanse netwerk dat gebruikt wordt in de opdrachten.

Nederlands	Engels
ademtekort	dyspnoea
borstpijn	chest pain
bronchitis	bronchitis
hoesten	coughing
immuunsysteem	immune system
koorts	fever
longkanker	lung cancer
longontsteking	pneumonia
loopneus	runny nose
roken	smoking
verkoudheid	common cold

Referenties

[Jensen, 1996] Jensen, F. (1996). *An introduction to Bayesian networks*. UCL Press.

[Lauritzen and Spiegelhalter, 1988] Lauritzen, S. and Spiegelhalter, D. (1988). Local computation with probabilities on graphical structures and their application to expert systems (with discussion). *J. Royal Statistical Society Series B*, 50:157–224.