

# Van mindmap naar Hypothesis Management Framework

Tara Koopman

29 juni 2018

Begeleider: Silja Renooij  
Extra begeleider: Remi Wieten  
Tweede beoordelaar: Henry Prakken  
Opleiding: bachelor Kunstmatige Intelligentie, UU  
ECTS: 7,5

## Samenvatting

Tegenwoordig gebruikt de politie mindmaps om de feiten in een zaak inzichtelijk te maken [4, 9]. In deze mindmaps kan lastig worden weergegeven wat de waarschijnlijkheid van verschillende scenario's is en wat voor invloed bepaald bewijs heeft op bepaalde scenario's. De afweging van verschillende scenario's vindt hierdoor vooral plaats in het hoofd van de analist. Door het gebruik van een Bayesiaans netwerk (BN) kunnen de waarschijnlijkheden van scenario's en de invloed van bewijzen op scenario's wel worden uitgereked. Het Hypothesis Management Framework (HMF) is een framework dat in een BN omgezet kan worden en zonder hulp van een BN-expert opgesteld kan worden [5]. In deze scriptie wordt onderzocht hoe een mindmap in een HMF omgezet kan worden. Er wordt eerst een formalisatie gegeven van een mindmap zoals gebruikt door de politie en er wordt onderzocht wat het HMF precies inhoudt. Daarna wordt er een voorstel gedaan van hoe een mindmap, volgens de gegeven formalisatie, in een HMF kan worden omgezet. Na deze omzetting kan er worden uitgerekend wat het meest waarschijnlijke scenario is en wat voor invloed bepaald bewijs op een bepaalde scenario's heeft, waardoor een analist zijn keuzes in het onderzoek inzichtelijker kan maken. Met de gegeven omzetting is het lastig om mindmaps met veel verschillende elementen om te zetten. Ook is er bij de formalisatie van de mindmap vanuit gegaan dat sommige scenario-elementen niet afhankelijk van elkaar zijn, terwijl deze afhankelijkheid wel geldt. Verder onderzoek zou moeten uitwijzen de omzetting verder verbeterd kan worden.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grafen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Mindmaps</b>	<b>6</b>
3.1	Mindmaps in het algemeen . . . . .	6
3.2	Mindmaps zoals gebruikt door de politie . . . . .	7
3.2.1	Functies binnen criminaliteitsonderzoek . . . . .	8
3.2.2	Hypotheses en scenario's . . . . .	8
3.2.3	Het proces bij lijkvinding . . . . .	8
3.2.4	Formalisatie van een mindmap in XMind . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Bayesiaanse netwerken en het Hypothesis Management Framework</b>	<b>13</b>
4.1	Bayesiaans netwerk . . . . .	13
4.1.1	De syntax . . . . .	14
4.1.2	Inferentie . . . . .	15
4.1.3	D-separatie . . . . .	16
4.2	Het Hypothesis Management Framework . . . . .	18
4.2.1	Waarom het HMF? . . . . .	18
4.2.2	De syntax . . . . .	18
4.2.3	Voorbeeld . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Omzetting van mindmap naar HMF</b>	<b>22</b>
5.1	Motivatie voor de omzetting . . . . .	23
5.2	Eisen aan de omzetting . . . . .	23
5.3	Variabelen . . . . .	24
5.4	Voorbeeld omzetting . . . . .	29
5.5	Stappenplan . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Conclusie</b>	<b>34</b>
6.1	Antwoord op de onderzoeksvraag . . . . .	34
6.2	Implicaties . . . . .	36
6.3	Verder onderzoek . . . . .	36

# 1 Inleiding

Redeneren over onzekerheid is één van de onderwerpen waar in het vakgebied van Kunstmatige Intelligentie mee bezig wordt gehouden. Een Bayesiaans netwerk (BN) is een model voor het representeren van onzekere kennis [8] dat in het vakgebied van KI veel wordt gebruikt. Een BN kan in veel verschillende domeinen worden toegepast waar er over onzekerheid geredeneerd moet worden.

Ook voor het werk van de politie geldt dat er vaak beslissingen genomen moeten worden in een zaak waar niet alle feiten bekend zijn. Tegenwoordig gebruikt de politie mindmaps om de feiten in een zaak inzichtelijk te maken [4, 9]. Een mindmap is een middel om gedachtestromen te visualiseren, data te structureren en relaties tussen verschillende concepten weer te geven [2]. In een mindmap kunnen criminaliteitsanalisten verschillende scenario's en bewijzen weergeven en aangeven wat er nog verder in de zaak onderzocht moet worden. Dit geeft een duidelijk visuele weergave van het onderzoek. Het onderzoek van de politie is dynamisch; er kunnen steeds nieuwe bewijzen en scenario's bijkomen, waardoor de redeneringen binnen het onderzoek kunnen veranderen. Een mindmap is een goede manier om de uitkomsten van zo'n dynamisch onderzoek weer te geven, omdat er altijd nieuwe informatie aan een mindmap kan worden toegevoegd. Een nadeel van een mindmap is dat de sterkte van verschillende relaties lastig kan worden weergegeven. Zo kan je in een mindmap bijvoorbeeld niet zien hoe groot de invloed van een bepaald bewijs op een scenario is. Hierdoor vindt het wegen van verschillende scenario's voornamelijk plaats in het hoofd van een analist, waardoor het lastig kan zijn om deze afweging helder te communiceren naar bijvoorbeeld de aanklager. Ook kan dit tot gevolg hebben dat er een tunnelvisie bij de analist ontstaat.

Het gebruik van een BN zou de geschetste problemen van een mindmap bij de politie kunnen verminderen. Voor deze netwerken bestaan algoritmen voor het uitrekenen van kansen, waardoor er bijvoorbeeld kan worden berekend hoe groot de invloed van een bepaald bewijs is op een scenario en welk scenario het meest waarschijnlijk is. Door het gebruik van een BN kan er veel beter worden ondersteund waarom bepaalde keuzes in het onderzoek zijn gemaakt en hoe dit tot de eindconclusie heeft geleid. Een groot nadeel van een BN is dat het vaak alleen is op te stellen met behulp van een expert op het gebied van BNs, wat een tijdrovend proces is. Van Gosliga en Van de Voorde hebben een voorstel gedaan van een framework dat makkelijk in een BN omgezet kan worden zonder behulp van zo'n expert; het Hypothesis Management Framework (HMF) [5]. Het HMF is speciaal ontwikkeld voor onderzoeken bij de politie en is zo ontworpen dat de kansen die erin verwerkt zijn makkelijk voor een analist van de politie te begrijpen zijn. Ook is het HMF zo ontworpen dat het tunnelvisie tijdens het onderzoek tegengaat. Een ander voordeel van het HMF is dat er makkelijk extra informatie aan toegevoegd kan worden, wat erg belangrijk is voor een dynamisch onderzoek zoals bij de politie.

Als een mindmap makkelijk kan worden omgezet in het HMF, zou dit er toe leiden dat de besluitvorming van de politie beter kan worden ondersteund. Wel moet er dan gebruik gemaakt worden van een standaard mindmap. Dit

heeft geleid tot de volgende onderzoeksvraag:

**Hoe kan een mindmap, gemaakt in XMind, zoals wordt gebruikt door de politie op een systematische manier, zonder hulp van een BN-expert, worden omgezet in een Hypothesis Management Framework, zodat zoveel mogelijk informatie uit de mindmap behouden blijft?**

In hoofdstuk 2 wordt er eerst ingegaan op het begrip grafen, dit is nodig om later een formalisatie van een mindmap te kunnen geven en voor het begrip van een BN. In hoofdstuk 3 wordt onderzocht wat er wordt verstaan onder een mindmap en hoe mindmaps worden gebruikt door de politie. Ook zal er een formalisatie worden gegeven van mindmaps zoals ze worden gebruikt door de politie. In hoofdstuk 4 wordt het begrip BN verder uitgelegd en wordt er onderzocht wat het HMF precies is. In hoofdstuk 5 wordt er onderzocht hoe de omzetting van mindmap naar HMF precies gemaakt kan worden. Tot slot worden hier conclusies over getrokken in hoofdstuk 6.

## 2 Grafen

**In dit hoofdstuk wordt er ingegaan op het begrip graaf. Dit is nodig voor de formalisatie van een mindmap en voor het begrip van een BN.**

Een graaf is een paar  $G = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$ , met  $\mathbf{V}$  een eindige, niet lege verzameling en  $\mathbf{E}$  een verzameling die bestaat uit deelverzamelingen van  $\mathbf{V}$  met twee elementen [7]. De elementen in  $\mathbf{V}$  worden knopen genoemd, de elementen in  $\mathbf{E}$  heten kanten en hebben de vorm  $e = \{V_i, V_j\}$ . Als er sprake is van een verzameling knopen  $\mathbf{V}$  zal dit vetgedrukt worden weergegeven.

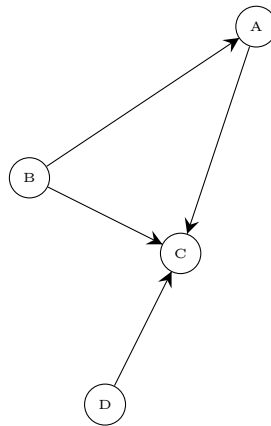
Er bestaan gerichte en ongerichte grafen. Bij een ongerichte graaf worden de kanten ook wel genoteerd als  $e = V_i V_j$ . Als er zo'n kant in de graaf bestaat, betekent dit dat er een relatie is tussen  $V_i$  en  $V_j$ . Hierbij worden  $V_i$  en  $V_j$  burens van elkaar genoemd. De relatie tussen de burens gaat twee richtingen uit.

Bij een gerichte graaf worden de kanten ook wel pijlen genoemd en worden ze ook wel genoteerd als  $V_i \rightarrow V_j$ . Dit betekent dat er een relatie is tussen de knopen  $V_i$  en  $V_j$ , waarbij  $V_i$  de startknoop wordt genoemd en  $V_j$  de eindknoop [7]. Bij zo'n relatie wordt ook wel gezegd dat  $V_i$  de ouder is van  $V_j$ , en  $V_j$  het kind van  $V_i$ . De verzameling van ouders van een knoop  $V$  wordt weergegeven door  $\pi(V)$ . De verzameling van kinderen van een knoop  $V$  wordt weergegeven door  $\sigma(V)$ . Wat de relatie tussen een ouder en kind precies inhoudt, hangt af van wat de graaf representeert.

Een gerichte graaf wordt acyclisch genoemd als het voor geen enkele knoop in de graaf mogelijk is om in dezelfde knoop uit te komen door het volgen van de pijlrichtingen.

Een voorbeeld van een gerichte, acyclische graaf wordt gegeven in Figuur 1. Aan de pijlen is te zien dat de graaf gericht is. De graaf representeert de stroming van rivieren tussen verschillende meren in een berggebied. Elke knoop

staat voor een meer in het gebied. Elke pijl in de graaf betekent dat er een rivier stroomt vanaf de ouder naar het kind. Ook is de graaf acyclisch, door een knoop als startpunt te nemen, kan je nooit meer in die knoop uitkomen door de pijlen te volgen.



Figuur 1: Voorbeeld van een gerichte, acyclische graaf die de stroming van verschillende rivieren in een berggebied representeert.

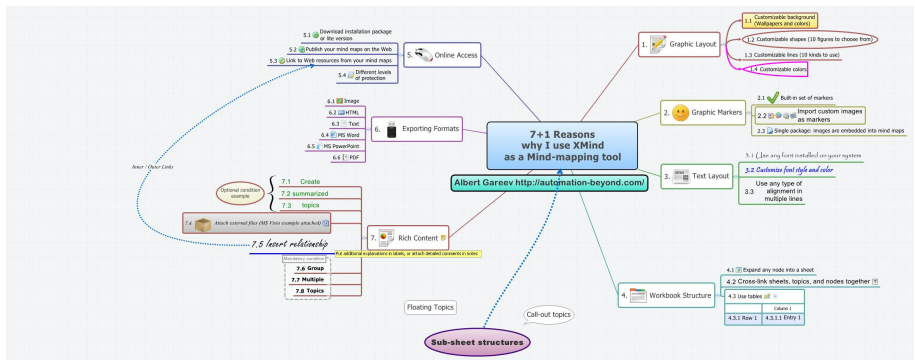
### 3 Mindmaps

In paragraaf 3.1 wordt er een korte uitleg gegeven over wat er in het algemeen onder een mindmap wordt verstaan. Daarna zal er worden ingegaan op de technieken en software tools die de Nederlandse politie gebruikt om mindmaps te maken. Ten slotte wordt er in paragraaf 3.2.4 een formalisatie gegeven van de mindmaps zoals ze door de politie worden gebruikt.

#### 3.1 Mindmaps in het algemeen

Mindmaps zijn ontwikkeld om een visuele weergave te geven van informatie, concepten en relaties hiertussen [2]. Het doel van een mindmap is om associaties bij een idee op te roepen. Door de vorm kunnen gedachten worden verduidelijkt, geordend en samengevat. Mindmaps kunnen worden gemaakt met pen en papier, maar er zijn ook software programma's om mindmaps te ontwikkelen. XMind [10] is een voorbeeld van zo'n software programma. Gebruikers kunnen hiermee templates, herbruikbare standaardstructuren, voor hun eigen doeleinden ontwerpen.

Mindmaps worden gemaakt door het centrale thema in het midden van de mindmap op te schrijven. De mindmap wordt verder uitgebouwd door onderwerpen die met het hoofdthema worden geassocieerd met lijnen hiermee te verbinden. Deze onderwerpen kunnen weer andere associaties oproepen,



Figuur 2: Een mindmap geconstrueerd in XMind [10].

die dan ook worden opgeschreven en met het bijbehorende onderwerp worden verbonden. Dit proces herhaalt zich tot er een graaf ontstaat van verschillende onderwerpen, thema's en concepten die onderling met elkaar verbonden zijn. Er kan extra structuur in de mindmap worden aangebracht door het gebruik van kleur en afbeeldingen. Ook kan door het gebruik van verschillende groottes van woorden en diktes van lijnen het belang van de verschillende concepten worden weergegeven. In Figuur 2 is een voorbeeld van een mindmap te zien.

Een mindmap is nooit 'af', er kunnen altijd nieuwe concepten aan worden toegevoegd en nieuwe links worden gelegd. Dit is een voordeel als de mindmap wordt gebruikt in een domein waarbij steeds nieuwe informatie wordt geleverd, die in de mindmap moet worden verwerkt. Een ander voordeel is de vrije vorm en de structuur; tussen elk concept kan een link worden gelegd.

De complete vrijheid bij het creëren van een mindmap kan ook een groot nadeel zijn. Omdat een link tussen twee concepten alleen betekent dat er een associatie tussen bestaat, valt er niets te zeggen over de onderlinge relatie tussen de concepten. Zo kan binnen dezelfde mindmap een link betekenen dat het ene concept een oorzaak weergeeft van een ander concept, terwijl een andere link betekent dat het ene concept een voorbeeld is van een ander concept. Dit kan ervoor zorgen dat het lastig is om een mindmap te begrijpen voor iemand die niet betrokken was bij het maken ervan.

### 3.2 Mindmaps zoals gebruikt door de politie

In deze paragraaf zal er een korte omschrijving worden gegeven van de rolverdeling binnen criminaliteitsonderzoek, zodat later de processen bij de politie duidelijker kunnen worden uitgelegd. Ook wordt er een definitie gegeven van de begrippen hypothese en scenario. Deze definities zullen bij de uitleg over mindmaps gebruikt worden.

### 3.2.1 Functies binnen criminaliteitsonderzoek

Bij de Nederlandse politie wordt er een onderscheid gemaakt tussen twee soorten analisten bij operationeel onderzoek. Ten eerste zijn er operationeel analisten, die verantwoordelijk zijn voor het verkrijgen van informatie en bewijs voor de zaak, het arresteren van verdachten en het ontwikkelen van de eerste scenario's over wat er mogelijk gebeurd is. Daarnaast zijn er criminaliteitsanalisten die verantwoordelijk zijn voor het filteren van betekenisvolle feiten uit alle informatie die de operationele analisten verzamelen. Ze moeten terugkoppelen aan de operationele analisten welke informatie er nog ontbreekt, zodat zij daarnaar kunnen zoeken. Alle informatie die de criminaliteitsanalist krijgt, wordt opgeslagen in een zogenaamde chronolijst, een lijst van de belangrijkste bewijzen gesorteerd op chronologische volgorde.

### 3.2.2 Hypotheses en scenario's

Bij het analyseren van een misdaad wordt er gebruik gemaakt van hypotheses en scenario's. Bij het onderzoeken van een misdaad worden er eerst een aantal hypotheses opgesteld. Zo'n hypothese is een veronderstelling, gebaseerd op het voorlopige feitenmateriaal, over een toedracht of situatie die nog nader onderzocht moet worden [4]. Als er ergens een lichaam wordt gevonden kunnen er verschillende hypotheses zijn, bijvoorbeeld dood door moord of dood door ongeluk. Hypotheses bevatten altijd een belangrijke eigenschap van de misdaad [3], in het bovenstaande voorbeeld is dat de doodsoorzaak.

Bij elke hypothese worden verschillende scenario's opgesteld. De hypothese is het centrale element waar een scenario omheen wordt gebouwd. Een scenario is een beschrijving van gebeurtenissen die tot de misdaad hebben geleid, waarom, hoe en wanneer ze hebben plaatsgevonden en wie er bij betrokken waren [3]. Door het bewijs dat een scenario ondersteunt, wordt ook de bijbehorende hypothese ondersteund. Een scenario bestaat uit verschillende elementen die allemaal iets zeggen over een andere eigenschap van de gebeurtenissen. In het voorbeeld hierboven kunnen er verschillende scenario's opgesteld worden voor de hypothese 'moord', die allemaal een eigen beschrijving geven van gebeurtenissen die tot een moord hebben kunnen leiden. De taak van de criminaliteitsanalisten is om het meest waarschijnlijke scenario te selecteren.

### 3.2.3 Het proces bij lijkvinding

Mindmaps zijn een van de middelen die de Nederlandse politie gebruikt om bewijs in een zaak weer te geven. Om die mindmaps op te bouwen wordt een standaard template van het eerdergenoemde XMind gebruikt. Door het gebruik van dit template komt er een duidelijke structuur in de mindmaps. Aan de hand van het proces van lijkvinding zal worden uitgelegd hoe een mindmap door de politie wordt geconstrueerd, hierbij wordt een voorbeeld gebruikt dat ook is gegeven door [9]. Bij dit voorbeeld is er een lichaam met meerdere steekwonden gevonden in de garage van een huis. In de chronolijst staan de volgende bewijzen;



uit het politierapport blijkt dat er bloed is gevonden in de keuken van het huis en uit het rapport van de lijkschouwer blijkt dat het lichaam is verplaatst.

Bij het vinden van een lijk zijn er altijd maar vier mogelijke hypothesen, namelijk: natuurlijke dood, zelfmoord, ongeluk en moord [4]. Deze hypothesen worden als knopen in de mindmap weergegeven en verbonden met de knoop waarin de naam van de zaak staat, zoals te zien in Figuur 3.



Figuur 3: De begin mindmap zoals gebruikt door de politie bij lijkvinding.

Voor elk van de hypothesen probeert de criminaliteitsanalist zoveel mogelijk scenario's te bedenken die de hypothese kunnen ondersteunen. Deze scenario's worden gemaakt aan de hand van de 7 w's, dit zijn de volgende vragen [9]:

1. Wat is er gebeurd?
2. Waar is het gebeurd?
3. Wanneer is het gebeurd?
4. Wie was erbij betrokken?
5. Waarom is het gebeurd?
6. Waarmee is het gebeurd?
7. Op welke wijze is het gebeurd?

Niet altijd wordt voor elke hypothese het antwoord op alle zeven vragen gegeven. In het gegeven voorbeeld heeft het slachtoffer meerdere steekwonden, de hypothese 'natuurlijke dood' is dan meteen te weerleggen en het is dus niet nodig om scenario's op te stellen voor deze hypothese door de 7 w's te beantwoorden. Voor de hypothesen, die wel worden onderzocht, worden alle vragen als knopen aan de mindmap toegevoegd.

Op elke vraag kunnen meerdere mogelijke antwoorden worden gegeven. Elk antwoord op een vraag staat gelijk aan een scenario-element. Een scenario-element beschrijft een onderdeel van de gebeurtenissen in het gehele scenario, bijvoorbeeld de dader, het tijdstip of de locatie.

Zo kunnen er in het gegeven voorbeeld meerdere antwoorden worden gegeven op de vraag 'waar is het gebeurd?'. De eerste mogelijkheid is dat de moord is

gepleegd in de garage. De tweede mogelijkheid is dat de moord is gepleegd in de keuken en dat het lichaam daarna is verplaatst naar de garage. De laatste mogelijkheid is dat de moord is gepleegd op een nog onbekende locatie en dat het lichaam daarna is verplaatst naar de garage. Deze scenario-elementen worden allemaal als knoop aan de mindmap toegevoegd en verbonden met de bijbehorende w-vraag. Dit is te zien in Figuur 4.



Figuur 4: Verschillende scenario-elementen zijn toegevoegd aan de mindmap.

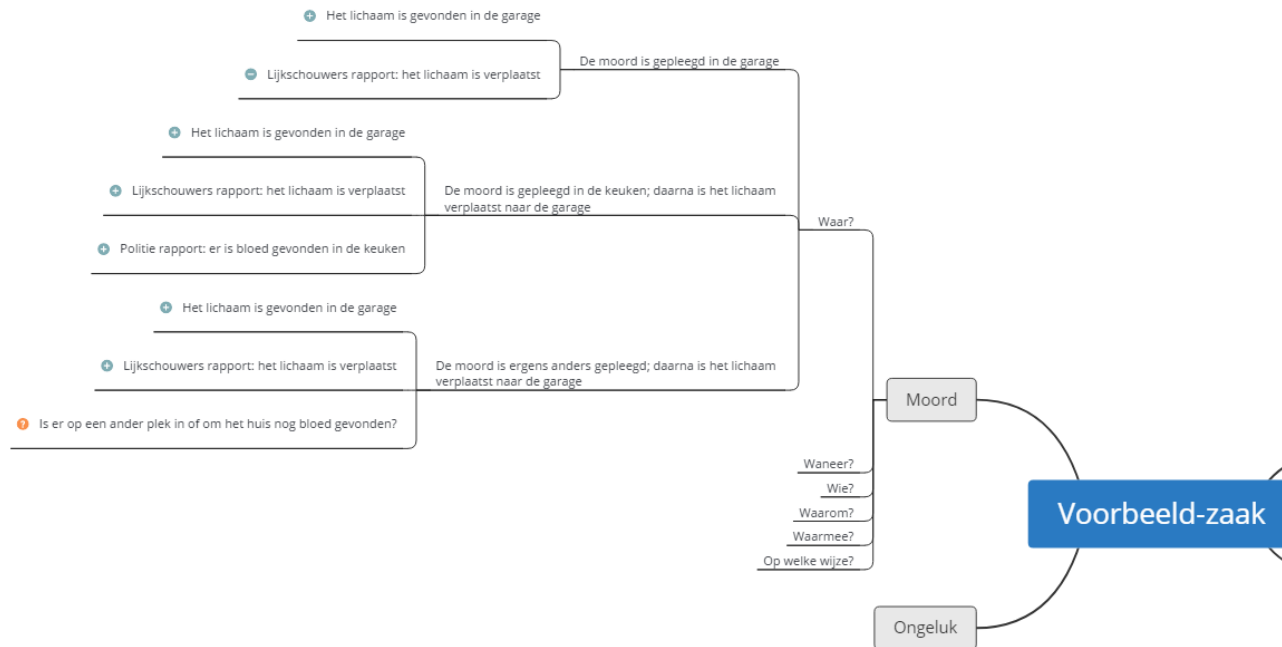
De opgestelde scenario-elementen worden ondersteund of ontkracht door de gevonden bewijzen in de chronolijst. Zo wordt het eerste scenario-element in het gegeven voorbeeld ondersteund doordat het lichaam in de garage is gevonden, maar ontkracht doordat uit het rapport van de lijkschouwer blijkt dat het lichaam is verplaatst. Alle relevante bewijzen worden als knoop toegevoegd aan de mindmap bij het bijbehorende scenario-element. In die knoop staat dan de bron van het bewijs en de inhoud van het bewijs, gescheiden door een dubbele punt. Soms wordt de bron van het bewijs ook weggelaten. De knoop wordt met een plus gemarkeerd als het bewijs het scenario-element ondersteunt en wordt met een min gemarkeerd als het bewijs het scenario-element ontkracht. In Figuur 5 is te zien hoe de bewijzen bij de verschillende scenario-elementen zijn toegevoegd.

Het kan ook zo zijn dat er nog extra informatie nodig is om een scenario verder te ondersteunen of ontkrachten. In dit geval wordt de knoop in de mindmap gemarkeerd met een vraagteken. Een voorbeeld hiervan is te zien in de mindmap in Figuur 5. Het scenario-element dat de moord op een nog onbekende plek is gepleegd, heeft namelijk extra bewijzen nodig om verder ondersteund of ontkracht te worden. Bij ontbrekend bewijs kan de criminaliteitsanalist aan de operationeel analist vragen om verder onderzoek te doen om deze informatie te verkrijgen, dit gebeurt in een informatie collectie plan (ICP) [9]. Dit is een lijst van vragen die beantwoord moeten worden om de scenario's van de criminaliteitsanalist te ondersteunen of weerleggen. De vragen in de ICP worden vertaald naar praktische vragen, waarna een operationeel analist verder onderzoek zal doen om hierop antwoord te geven. De bevindingen tijdens dat onderzoek worden weer opgeslagen in de chronolijst. Als het gevraagde bewijs is gevonden, wordt dit aangepast in de mindmap.

Uiteindelijk worden zo alle vragen voor de relevante hypothesen beantwoord.

Vaak worden de w-vragen niet onafhankelijk van elkaar behandeld. Zo is bij de hypothese van moord de vraag 'waarom is het gebeurd?' afhankelijk van de vraag 'wie was erbij betrokken?'. Als er meerdere verdachten zijn, zullen er namelijk ook meerdere motieven zijn. Voor elke verdachte zal dan apart de 'waarom'-vraag worden beantwoord. Hoe dit precies in de mindmap wordt weergegeven kan per zaak en per analist verschillen [9].

De vraag 'wat is er gebeurd?' wordt niet altijd expliciet beantwoord, omdat deze vraag vaak gelijk is aan het gehele scenario. Een scenario wordt opgesteld door voor elke vraag een scenario-element te selecteren en deze samen te voegen tot een logisch geheel. Voor elke hypothese kunnen er zo meerdere scenario's worden opgesteld. De criminaliteitsanalist kiest uiteindelijk het meest waarschijnlijke scenario. Met dit scenario zal dan naar de aanklager worden gegaan [9].



Figuur 5: Een voorbeeld mindmap zoals gebruikt door de politie.

Voor andere type zaken kunnen er andere templates voor de mindmap worden gebruikt. Ook kan het per politie-eenheid verschillen welk template wordt gebruikt. Er zal vanaf nu worden uitgegaan van het standaardtemplate voor lijkvinding zoals gegeven door [9] wat hierboven is beschreven. Ook wordt er aangenomen dat de w-vragen in de mindmap onafhankelijk van elkaar beantwoord zullen worden. In de volgende paragraaf zal een formalisatie worden gegeven van dit type mindmap.

### 3.2.4 Formalisatie van een mindmap in XMind

De vaste structuur voor een mindmap over lijkvinding in XMind kan worden gezien als een ongerichte graaf  $M$ , met  $M = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$ , waarbij  $\mathbf{V}$  bestaat uit  $\{Z\} \cup \mathbf{H} \cup \mathbf{W} \cup \mathbf{S} \cup \mathbf{B}$ . Daarnaast zijn er extra restricties op de kanten die in  $\mathbf{E}$  zitten. Deze restricties worden hieronder toegelicht.

#### De knopen

**Z**: Er bestaat één knoop  $Z$  in  $M$ , dit is de knoop met het onderwerp van de mindmap; de naam van de zaak die wordt behandeld. Deze wordt in het midden van de mindmap neergezet.

**H**: Er zitten vier knopen,  $H_1$  tot en met  $H_4$ , in  $\mathbf{H}$ , dit zijn de eerder genoemde hypothesen bij een lijkvinding.

**W**: De knopen  $W_j^i$  met  $i = 1..4$  en  $1 \leq j \leq 7$  in  $\mathbf{W}$  staan voor de zeven w-vragen die voor elke hypothese  $H_i$  worden beantwoord.

**S**: De knopen  $S_j^i k$  in  $\mathbf{S}$  met  $k \geq 1$  zijn de scenario-elementen die voor elke knoop  $W_j^i$  worden opgesteld. De  $i$  en  $j$  van de knoop  $S_j^i k$  zijn gelijk aan de  $i$  en  $j$  van de knoop  $W_j^i$ , die de S-knoop als ouder heeft.

**B**: De knopen  $B_l^{S_j^i k}$  met  $l \geq 1$  in  $\mathbf{B}$  staan voor de bewijzen in de zaak die het scenario-element  $S_j^i k$  ondersteunen. Elke bewijsknoop heeft twee eigenschappen O en N. Deze eigenschappen staan allebei in de knoop, gescheiden door een dubbele punt.

**O**: O is de onderbouwing van het bewijs of de manier waarop het bewijs is verkregen. In sommige gevallen kan O leeg zijn. Bijvoorbeeld als het bewijs nog niet is gevonden of dat het triviaal is hoe het is verkregen.

**N**: N is de naam van het bewijs of wat het bewijs precies inhoudt.

Ook heeft een bewijsknoop een markering  $M_a$ , die drie verschillende waarden kan aannemen.

**+**: Een plus geeft aan dat het bewijs het bijbehorende scenario-element ondersteunt.

**-**: Een min geeft aan dat het bewijs het bijbehorende scenario-element weerlegt.

**?**: Een vraagteken geeft aan dat het bewijs nog ontbreekt en dat hier nog extra informatie over gevonden moet worden. Als een bewijs met een vraagteken  $s$  gemarkeerd, wordt het onderdeel O weggelaten.

**De kanten** De verschillende kanten die in  $\mathbf{M}$  bestaan zijn beperkt tot de volgende:

$Z \rightarrow H_i$ :  $Z$  wordt met de vier hypothesen verbonden.

$H_i \rightarrow W_j^i$ : Elke hypothese-knoop  $H_i$  voor alle  $i = 1..4$  wordt verbonden met knopen  $W_j^i$  met  $1 \leq j \leq 7$  uit  $\mathbf{W}$ . Elke hypothese-knoop wordt dus verbonden met die  $W$ -knopen, waarvan de vragen voor die hypothese in de zaak beantwoord worden. Het kan dus ook zo zijn dat een knoop  $H_i$  geen kinderen heeft als die hypothese niet voor de zaak behandeld wordt. Dit heeft ook tot gevolg dat er meerdere keren een knoop met dezelfde vraag in  $\mathbf{W}$  kan zitten als deze vraag voor meerdere hypothesen wordt beantwoord.

$W_j^i \rightarrow S_j^i k$ : Vanaf elke knoop  $W_j^i$  gaan er kanten naar de scenario-elementen  $S_j^i k$  in  $\mathbf{S}$ . Elke  $W$ -knoop wordt dus verbonden met één of meer scenario-elementen voor die vraag.

$S_j^i k \rightarrow B_l^{S_j^i k}$ : Vanaf elke knoop  $S_j^i k$  gaan er kanten naar de scenario-elementen  $B_l^{S_j^i k}$  met  $l \geq 1$ . Elke  $S$ -knoop heeft dus één of meer kinderen in  $\mathbf{B}$ . Als een bewijs meerdere scenario-elementen ondersteunt of ontkracht, dan wordt er per scenario-element een bewijsknoop aangemaakt. Als dit wordt gedaan kan het zijn dat een  $B$ -knoop met hetzelfde bewijs een andere markering heeft voor een andere ouder in  $\mathbf{S}$ , omdat het bijvoorbeeld het ene scenario-element ondersteunt en het andere weerlegt.

## 4 Bayesiaanse netwerken en het Hypothesis Management Framework

In dit hoofdstuk wordt er in gegaan op het Hypothesis Management Framework (HMF): een framework dat makkelijk in een Bayesiaans netwerk (BN) kan worden omgezet en gebruikt kan worden voor het ondersteunen van besluitvorming in criminaliteitsonderzoek. In paragraaf 4.1 zal er eerst worden onderzocht wat een BN is, om daarna specifieker in te gaan op het HMF in paragraaf 4.2. Er wordt bekeken hoe het HMF er precies uitziet en welke variabelen en structuur het heeft.

### 4.1 Bayesiaans netwerk

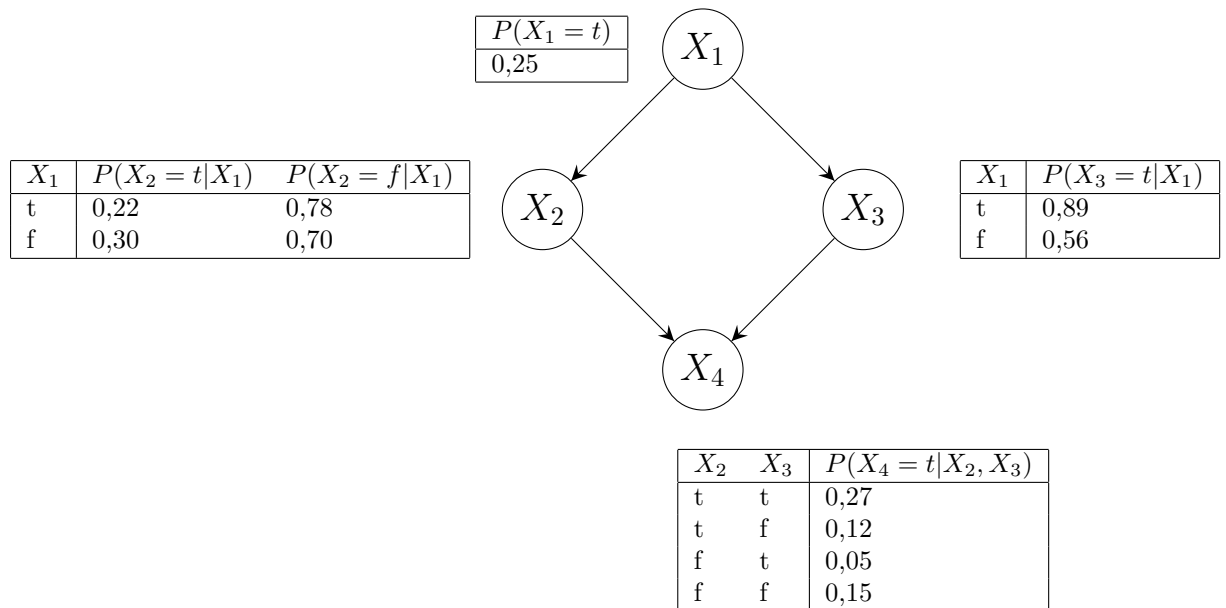
Een BN is een representatie van een kansverdeling over een verzameling variabelen  $\mathbf{V}$ , die als knopen in de bijbehorende graaf worden gerepresenteerd. Deze graaf is gericht en acyclisch. De onafhankelijkheden tussen de variabelen worden hierin weergegeven. Eerst zal er worden ingegaan op de syntax van een BN, daarna wordt de semantiek verder uitgewerkt.

### 4.1.1 De syntax

Elke knoop in de graaf van een BN correspondeert met een variabele in het domein dat wordt bestudeerd [6]. Elke variabele heeft een eindige verzameling van verschillende waarden die de variabele kan aannemen. Deze waarden moeten elkaar uitsluiten en collectief uitputtend zijn. Vaak is het voldoende om aan te nemen dat er maar twee waarden zijn die de variabele kan aannemen, deze aanneme wordt hier dus ook gemaakt. De waarden die een variabele kan aannemen worden doorgaans *true* en *false* genoemd.

Hiernaast heeft elke variabele een conditionele distributie, dit is de kans  $P(x|\pi(x))$ , ofwel de kans op  $x$  gegeven de ouders van  $x$  [8]. Gegeven alle mogelijke combinaties van de waardes van alle ouders, wordt voor elke waarde van het kind aangegeven wat de waarschijnlijkheid is dat deze waarde wordt aangenomen. Als een variabele geen ouders heeft, bevat de tabel enkel de a priori kansen. De onvoorwaardelijke of a priori kans is de kans dat een variabele een waarde aanneemt, zonder dat er rekening wordt gehouden met de andere waardes in het BN. Alle kansen in een BN zijn verkregen door eerder onderzoek of door een inschatting van een expert in het domein dat de BN representeert.

In Figuur 6 is een simpele BN te zien, waarbij de conditionele distributies zijn weergegeven in de conditionele distributie tabel (CPT). Bijvoorbeeld in de tabel van variabele  $X_2$  valt af te lezen dat als  $X_1$  *true* is dat  $X_2$  ook *true* is met een waarschijnlijkheid van 0,22. In de tabel van  $X_2$  zijn ter illustratie ook de waarschijnlijkheden weergegeven dat die variabele *false* is. Omdat de kansen van *true* en *false* bij elkaar opgeteld altijd gelijk zijn aan 1, is deze kolom uit de andere tabellen weggelaten. Variabele  $X_1$  is een voorbeeld van een variabele zonder ouders, waarvan de tabel dus alleen de a-prior kans bevat.



Figuur 6: Voorbeeld van een BN, met t = true en f = false.

#### 4.1.2 Inferentie

Met een BN kunnen berekeningen over de kansen van de variabelen worden gedaan. Het berekenen van kansen in een BN wordt inferentie genoemd. Uit het voorbeeld in Figuur 6 kan worden berekend dat de waarschijnlijkheid van  $X_2 = true$  gelijk is aan 0,28. Er wordt verder niet ingegaan op de manier waarop deze berekening wordt gedaan, omdat de berekening verder niet relevant is voor deze scriptie. De berekeningen in deze paragraaf zijn verkregen door BayesiaLab [1], een software tool om BNs te construeren en inferentie toe te passen.

Als er bewijs voor een variabele is gevonden, kan deze variabele geïnstantieerd worden, dit betekent dat een bepaalde waarde aan die variabele wordt toegekend. Er wordt dan gezegd dat die variabele geobserveerd is. In een BN worden de knopen van de geïnstantieerde variabelen vaak gearceerd weergegeven.

Voor het berekenen van kansen in een BN zijn niet altijd alle variabelen relevant. Deze niet-relevante knopen voor de berekeningen worden ook wel onvruchtbaar genoemd. Een knoop  $V$  is onvruchtbaar als  $V$  en geen enkele van de nakomelingen van  $V$  bewijs bevat [6]. Voor de onvruchtbare knopen geldt ook dat de a posteriori kans niet wordt berekend. Een onvruchtbare knoop heeft geen invloed op de waarschijnlijkheden van andere niet-onvruchtbare knopen in de BN. De waardes in een CPT van een onvruchtbare knoop worden dus niet gebruikt bij inferentie.

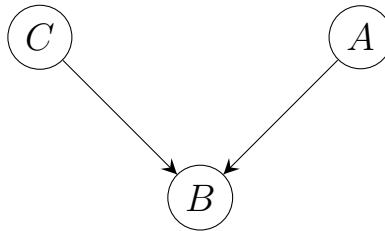
Van een variabele in een BN kan de a posteriori kans worden berekend, dit is

de kans op een bepaalde waarde van de variabele, gegeven de waarden van andere variabelen in het netwerk. Als bijvoorbeeld in Figuur 6  $X_4$  geïnstantieerd is op *true* kan uit het netwerk  $P(X_2 = \text{true} | X_4 = \text{true})$  worden berekend, dit is de kans op  $X_2 = \text{true}$  gegeven de instantiatie van  $X_4$  op *true*. Uit de berekening volgt dat de a posteriori kans op  $X_2 = \text{true}$  gelijk is aan 0,492.

### 4.1.3 D-separatie

Het begrip d-separatie zegt iets over de onafhankelijkheidsrelatie in een BN. Eerst zal er een korte uitleg worden gegeven van wat dit begrip precies inhoudt. Daarna wordt er in gegaan op de betekenis en het belang hiervan.

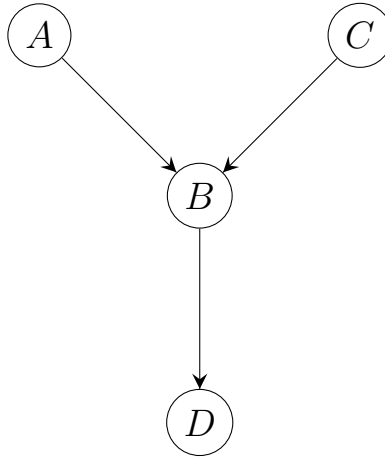
Voor de definitie van d-separatie wordt er gekeken naar ketens in een BN. Een keten is een reeks van verschillende knopen en pijlen in de graaf van een BN, waarbij er geen rekening wordt gehouden met de pijlrichtingen. Een knoop  $X$  is een V-knoop in een keten als de knoop twee inkomende pijlen heeft op die keten. In Figuur 7 is hier een voorbeeld van te zien. In de keten ABC is knoop B een V-knoop.



Figuur 7: In deze keten is knoop B een V-knoop.

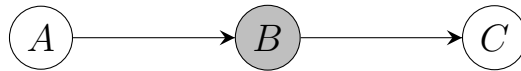
Een keten kan geblokkeerd zijn. Er zijn twee situaties waarin een keten geblokkeerd is. Ten eerste is een keten geblokkeerd als de keten een knoop  $V$  bevat, zodat  $V$  een ongeïnstantieerde V-knoop is zonder geïnstantieerde nakomelingen. In Figuur 8 is hier een voorbeeld van te zien. Knoop B is een V-knoop en B zelf en nakomeling D zijn beide niet geïnstantieerd. De keten ABC is hierdoor geblokkeerd. Als A hierna wordt geïnstantieerd heeft dit geen invloed op de kansverdeling over C. Andersom geldt dit ook zo.





Figuur 8: De keten ABC in bovenstaande BN met V-knoop B is geblokkeerd.

De tweede situatie waarin een keten geblokkeerd is, is als de keten een knoop  $V$  bevat waarbij  $V$  geïnstantieerd is en maximaal één inkomende pijl heeft op de keten. In Figuur 9 is hier een voorbeeld van te zien. Variabele  $B$  is hierbij geïnstantieerd, waardoor de keten ABC geblokkeerd is.



Figuur 9: De keten ABC in bovenstaande BN met geïnstantieerde knoop B is geblokkeerd.

Een geblokkeerde keten wordt ook wel inactief genoemd. Een keten die niet is geblokkeerd is actief.

Twee knopen  $A$  en  $B$  zijn  $d$ -gesepareerd gegeven een verzameling knopen  $\mathbf{Z}$  als er geen actieve ketens bestaan tussen  $A$  en  $B$ , gegeven de geïnstantieerde variabelen in  $\mathbf{Z}$ . In dat geval zijn  $A$  en  $B$  conditioneel onafhankelijk van elkaar gegeven  $\mathbf{Z}$ . Als in een BN met verzameling geïnstantieerde variabelen  $\mathbf{Z}$  geldt dat  $A$  en  $B$   $d$ -gesepareerd zijn, geldt  $P(A \mid B, \mathbf{Z}) = P(A \mid \mathbf{Z})$  [6].

De relaties in een netwerk moeten overeenkomen met de conditionele onafhankelijkheidsrelaties die gelden in het domein dat het netwerk representeert [6]. De relaties in een BN zijn dus geen causale verbanden, ook al kan dit wel het geval zijn. Als in een BN twee variabelen onafhankelijk zijn van elkaar, maar ze wel afhankelijk van elkaar zijn in het domein dat wordt gerepresenteerd is de inferentie die in die BN wordt gedaan niet meer betrouwbaar. Het is dus van belang dat de onafhankelijkheidsrelatie in een BN juist is.

## 4.2 Het Hypothesis Management Framework

Nu duidelijk is wat een BN inhoudt, zullen we verder ingaan op het Hypothesis Management Framework (HMF). Eerst wordt er ingegaan op de reden waarom het HMF is ontwikkeld en wat hier de voordelen van zijn ten opzichte van standaard BNs. Daarna zal er worden ingegaan op de syntax en semantiek van het HMF en zal dit verder verduidelijkt worden aan de hand van een voorbeeld.

### 4.2.1 Waarom het HMF?

Bij het TNO wordt steeds meer gebruik gemaakt van BNs, zo ook bij criminaliteitsonderzoek. Hierbij worden BNs gebruikt om bewijs weer te geven en hieruit het meest waarschijnlijke scenario te halen. Ook kan worden aangegeven welk, nog onbeschikbaar bewijs, het belangrijkste is om een scenario verder te ondersteunen [5].

Om te zorgen dat BNs veelvuldig gebruikt gaan worden in criminaliteitsonderzoek, is het van belang dat ze geconstrueerd kunnen worden zonder hulp van een specialist op het gebied van Bayesiaanse netwerken. Het is vaak te complex om zonder hulp van een BN-expert een BN op te stellen, zonder het framework van het HMF te gebruiken. Ook voor het gebruik van beschikbare software om BNs op te stellen is veel kennis op het gebied van BNs nodig.

Bij criminaliteitsonderzoek is het van belang om elk mogelijke scenario goed te onderzoeken, maar er bestaat altijd de kans dat een analist zich te veel op één scenario focust, waardoor andere bewijzen en scenario's niet in het onderzoek worden meegenomen. Het gebruik van het HMF moet zoveel mogelijk tegengaan dat er zo'n vooroordeel in een onderzoek ontstaat. Dit doet het HMF op drie verschillende manieren [5]. Ten eerste doordat verschillende analisten scenario's kunnen toevoegen aan hetzelfde model. Ten tweede doordat analisten onafhankelijk van elkaar kunnen werken aan verschillende scenario's. Ten slotte kunnen er verschillende templates in het HMF worden gemaakt. Een template is een standaardvorm voor het HMF dat gebruikt kan worden in soortgelijke situaties.

Criminaliteitsonderzoek is een dynamisch onderzoek; er kunnen steeds nieuwe bewijzen en scenario's bijkomen. Het is dus van belang dat de BN die de zaak representeert makkelijk uitbreidbaar is. Het HMF is zo ontworpen dat dit het geval is.

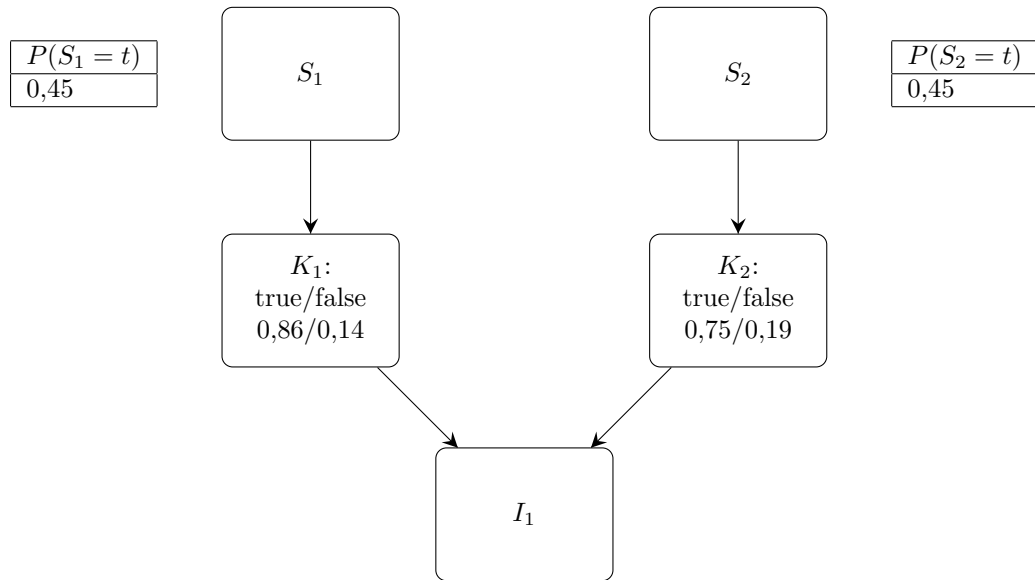
### 4.2.2 De syntax

In [5] waar het voorstel van het HMF wordt gedaan, wordt het begrip hypothese gebruikt, waarbij er een andere definitie wordt gebruikt dan de definitie die in 3.2.2 is gegeven. In [5] worden hypothesen gedefinieerd als 'statements waarvan we de a posteriori kansverdeling willen weten'. Deze beschrijving komt overeen met de definitie voor scenario gegeven in 3.2.2, omdat van elk opgesteld scenario in de zaak de meest waarschijnlijke moet worden geselecteerd. In de rest van

deze scriptie zal daarom het begrip scenario worden gebruikt waar in [5] wordt gesproken van hypothese, om verwarring tussen de definities te voorkomen.

Het HMF heeft net als een BN een onderliggende graaf  $G=(\mathbf{V}, \mathbf{E})$ . Bij een HMF geldt dat de verzameling knopen uit vier typen bestaat;  $\mathbf{V} = \mathbf{S} \cup \mathbf{I} \cup \mathbf{K} \cup \mathbf{Ib}$  waarbij er restricties zitten op de pijlen tussen de verschillende soorten knopen. Net zoals in een BN bevatten de verschillende typen knopen in het HMF variabelen, die de waarde *true* en *false* kunnen aannemen. De K-knopen zijn hier een uitzondering op, wat deze knopen precies bevatten zal verderop worden uitgelegd. De verschillende knopen in het HMF hebben de volgende betekenis en mogelijke verbindingen:

- S:** De knopen  $S_1$  tot en met  $S_n$  in  $\mathbf{S}$  zijn de scenario's waarvan we de a priori kans willen weten. Dit kunnen gehele scenario's zijn of scenario-elementen. De gebruiker stelt a priori kansen op voor elke variabele in  $\mathbf{S}$ . De scenario's staan bovenaan het netwerk en hebben dus geen ouders,  $\pi(S_i) = \emptyset$ .
- I:** De knopen  $I_1$  tot en met  $I_n$  in  $\mathbf{I}$  zijn indicatoren. Dit zijn bewijzen die scenario's kunnen helpen ondersteunen of ontkrachten. Een indicator  $I_i$  heeft één of meer scenario's  $S_j$  als voorouder en elk scenario  $S_j$  heeft één of meer indicatoren  $I_i$  als nakomeling. Indicatoren zijn afhankelijk van het voorkomen van bepaalde scenario's. Voor een indicator en alle voorouders  $S_j$  worden conditionele waarschijnlijkheden opgesteld. De scenario's zijn geen directe ouders van de indicatoren, maar ze zijn ouders van de variabelen in  $\mathbf{K}$ , die weer ouders zijn van de indicatoren. Indicatoren zijn onderling nooit met elkaar verbonden in het HMF, maar kunnen mogelijk afhankelijk zijn van elkaar, omdat ze niet d-gesepareerd zijn van elkaar gegeven de geïnstantieerde variabelen in het HMF.
- K:** De knopen  $K_1$  tot en met  $K_n$  in  $\mathbf{K}$  zijn kansknopen. Voor deze knopen geldt  $\pi(K_i) \in \mathbf{S}$  en  $\sigma(K_i) \in \mathbf{I}$  of  $\sigma(K_i) = \{I_i, Ib_i\}$ . Een kansknoop heeft dus altijd één scenario als ouder en één indicator als kind en kan mogelijk nog een Ib-knoop als kind hebben. Als een indicator afhankelijk is van meerdere scenario's of scenario-elementen wordt er voor elk scenario een kansknoop toegevoegd. In een knoop  $K_i$  met  $\pi(K_i) = S_i$  en  $\sigma(K_i) = I_i$  staat  $\{P(I_i = true|S_i = true), P(I_i = true|S_i = false)\}$ . De kansknoop geeft dus de conditionele kans weer van de bijbehorende indicator gegeven het bijbehorende scenario.
- Ib:** De knopen  $Ib_1$  tot en met  $Ib_n$  in  $\mathbf{Ib}$  zijn informatiebronnen. Indicatoren kunnen worden vastgesteld door hard bewijs, maar het kan ook zo zijn dat er geen hard bewijs is, maar dat een indicator is verkregen door bijvoorbeeld een getuigenis. In zo'n geval kan dit worden weergegeven in het HMF, door een informatiebron als kind toe te voegen aan alle kansknopen die de ouders zijn van de bijbehorende indicator.



Figuur 10: Voorbeeld van een HMF, met  $t = \text{true}$  en  $f = \text{false}$ .

Zoals eerder benoemd is een HMF geen BN. Alle knopen in een BN zijn variabelen, dit geldt niet in het HMF. De kansknopen in het HMF zijn namelijk geen variabelen en kunnen dus geen verschillende waardes aannemen. Ze hebben dus ook geen CPT en worden niet gebruikt bij berekeningen in het HMF. De kansknopen zijn door [5] aan het HMF toegevoegd, zodat het voor een domeinexpert makkelijk zou zijn om het HMF te begrijpen en op te stellen. Na automatische omzetting van het HMF, is er dan een BN geconstrueerd zonder hulp van een BN-expert.

Wel gelden er verder dezelfde rekenregels in het HMF en mogen variabelen niet d-gesepareerd van elkaar zijn als deze onafhankelijkheid niet in de echte wereld geldt.

In Figuur 10 is een voorbeeld te zien van een simpele HMF. De scenario's  $S_1$  en  $S_2$  hebben een CPT met daarin hun a priori kansen. De indicator  $I_1$  hangt af van het voorkomen van  $S_1$  en  $S_2$ . Dit is te zien doordat deze scenario's via de kansknopen  $K_1$  en  $K_2$  met de indicator verbonden zijn. In  $K_1$  is te zien dat de conditionele waarschijnlijkheid van  $I_1 = \text{true}$  gegeven  $S_1 = \text{true}$  gelijk is aan 0,86. De CPT van  $I_1$  bevat niet de conditionele waarschijnlijkheden gegeven de ouders, zoals gebruikelijk is bij een BN. Welke getallen er wel precies in de CPT's van de indicatoren staat, wordt niet geheel duidelijk uit het artikel van Van Gosliga [5]. Daarom is de CPT van  $I_1$  niet weergegeven in de Figuur 10.

Als er bewijs is gevonden voor een indicator kan deze worden geïnstantieerd. Dit wordt gedaan door in alle kansknopen die deze indicator als ouders heeft, de waarschijnlijkheid van de geïnstantieerde waarde gelijk te stellen aan 1,00. De kans op de andere waarde wordt dan gelijk gesteld aan 0,00. Zo'n instantiatie

kan ook worden gedaan als er geen bewijs voor de indicator is gevonden. Op deze manier kan worden berekend wat de invloed van het vinden van bewijs is op de waarschijnlijkheid van de scenario's.

In Figuur 10 is geen informatiebron opgenomen om de structuur duidelijk te houden. Als er een informatiebron zou worden toegevoegd zou deze  $K_1$  en  $K_2$  beide als ouder hebben.

### 4.2.3 Voorbeeld

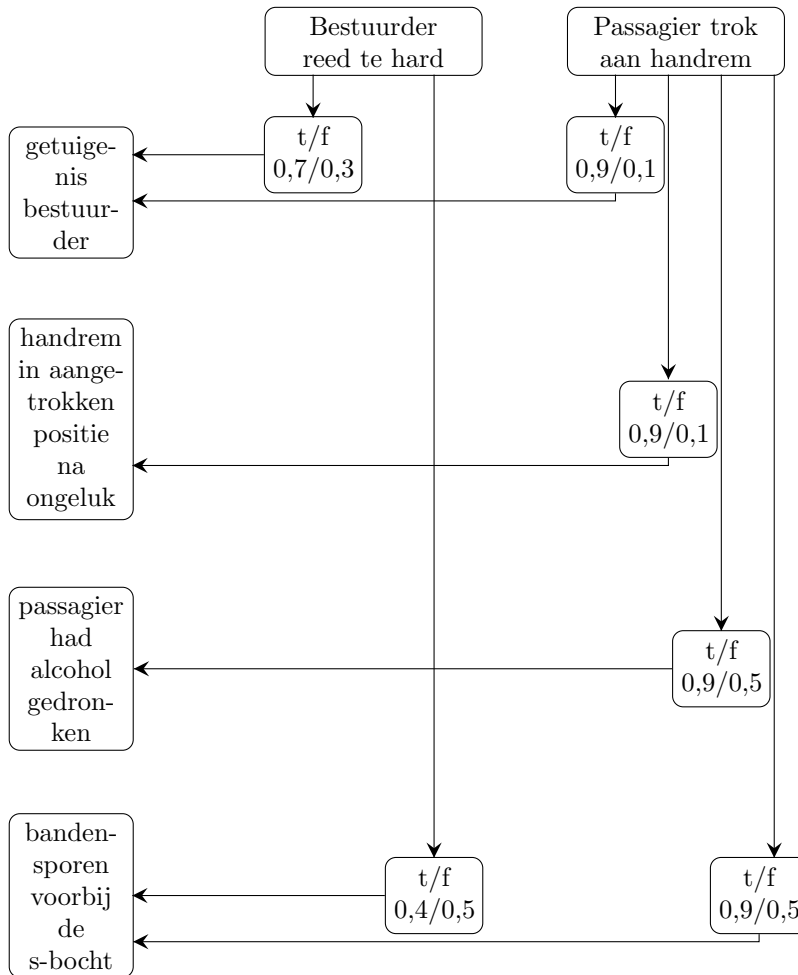
De semantiek van het HMF zal worden uitgelegd aan de hand van het voorbeeld in Figuur 11, dit voorbeeld is ook gebruikt in [5].

De zaak die in het HMF wordt weergegeven gaat over een auto-ongeluk, waarbij twee mensen betrokken waren, namelijk de bestuurder en een passagier. De auto is gecrasht net na een s-bocht en de handrem was aangetrokken. Er zijn verschillende bandensporen gevonden. Er waren geen andere obstakels in de buurt van het ongeluk. De bestuurder van de auto zegt dat het ongeluk werd veroorzaakt doordat de passagier dronken was en aan de handrem had getrokken. De passagier ontkent dit en zegt dat het ongeluk werd veroorzaakt doordat de bestuurder te snel door de s-bocht reed.

Op basis van deze feiten moet de rechter besluiten welke van de twee verklaringen het meest waarschijnlijk is.

In het HMF zijn de verklaringen van de bestuurder en de passagier omgezet naar scenario-elementen, te zien bovenaan het netwerk in Figuur 11. Alle feiten in de zaak zijn weergegeven door de indicatoren, die aan de linkerkant van het HMF te zien zijn. De scenario-elementen zijn alleen verbonden met indicatoren die het element kunnen ondersteunen of weerleggen. In de tussenliggende kansknoop is de conditionele waarschijnlijkheid van de indicator gegeven het scenario-element te lezen. Zo is af te lezen dat, gegeven dat de bestuurder te hard reed, er een waarschijnlijkheid is van 0,4 op de bandensporen voorbij de s-bocht. Gegeven dat de passagier aan de handrem trok is deze waarschijnlijkheid veel hoger, namelijk 0,9. In het HMF is te zien dat het scenario-element dat het ongeluk was veroorzaakt door te snel rijden met minder indicatoren is verbonden dan het andere scenario-element. Dit betekent niet dat dit scenario-element minder waarschijnlijk is, maar alleen dat er minder indicatoren in de zaak zijn die iets te zeggen hebben over dit scenario-element.

Voor dit HMF zijn de a priori kansen voor de twee scenario's gespecificeerd, maar deze zijn niet weergegeven in Figuur 11. Met deze kansen en het gegeven bewijs in het HMF zijn de a posteriori kansen op de scenario's uit te rekenen. Er zal verder niet worden ingegaan op hoe deze berekening precies wordt gedaan. Uit de berekening blijkt dat een grote waarschijnlijkheid is dat het ongeluk is veroorzaakt doordat de passagier aan de handrem heeft getrokken. De kans hierop is namelijk ongeveer 100% [5]. De kans dat de bestuurder te snel heeft gereden is maar 27% [5].



Figuur 11: Het voorbeeld HMF, met  $t = true$  en  $f = false$

## 5 Omzetting van mindmap naar HMF

In deze paragraaf zal er eerst worden gemotiveerd waarom een omzetting van mindmap naar HMF nodig is. Daarna zullen er een aantal eisen en wensen worden opgesteld waar de omzetting van mindmap naar HMF aan moet voldoen. Tot slot zal er stap voor stap een omzetting worden gemaakt. In hoofdstuk 6 wordt daarna onderzocht of er aan alle eisen wordt voldaan met de vertaalstappen.

## 5.1 Motivatie voor de omzetting

Aan mindmaps die voldoen aan de gegeven formalisatie zitten verschillende voor- en nadelen. Een voordeel is dat er makkelijk nieuwe informatie aan toegevoegd kan worden. Door het gebruik van XMind kan de mindmap ook makkelijk aangepast worden. Zo kan een vraag om extra informatie in de mindmap makkelijk vervangen worden als er naar aanleiding hiervan nieuw bewijs wordt gevonden. Door de formalisatie zit er een duidelijke betekenis achter elke knoop in de mindmap en is er een vaste structuur, zodat de inhoud en de bewijzen van de mindmap meteen duidelijk zijn voor criminaliteitsanalisten die niet aan de zaak hebben meegewerkt.

Een nadeel van de mindmaps volgens de formalisatie is dat er niet kan worden weergegeven hoe sterk de invloed van een bewijs op een scenario is. Als er nu een bewijs wordt gevonden is het erg lastig te zeggen hoe sterk de invloed van dat bewijs op een bepaald scenario is. Ook is het niet in te schatten wat de invloed zou zijn op een scenario als er een bewijs wordt gevonden, dat in de mindmap wordt aangegeven met een vraagteken. Het meest waarschijnlijke scenario wordt nu gekozen op basis van wat de criminaliteitsanalist het meest waarschijnlijk acht. Het hele proces van het afwegen van de verschillende scenario's vindt nu plaats in het hoofd van de analist.

Door het gebruik van het HMF zou de analist zijn keuzes beter kunnen ondersteunen en inzichtelijker kunnen maken. Het HMF is net zoals een mindmap makkelijk uitbreidbaar en is speciaal ontwikkeld zodat het voor een analist zonder kennis van BNs makkelijk te begrijpen is [5]. Als een analist op elk moment tijdens het onderzoeken van de zaak de gemaakte mindmap in een HMF zou kunnen omzetten, zou hij beter kunnen afwegen welke aspecten van de zaak beter onderzocht moeten worden, zou hij minder geneigd zijn naar tunnelvisie en kan hij achteraf zijn keuze voor het meest waarschijnlijke scenario beter ondersteunen.

## 5.2 Eisen aan de omzetting

Bij de omzetting van mindmap naar HMF wordt er uitgegaan van het standaard template in XMind waar in paragraaf 3.2.4 een formalisatie van is gegeven.

De eerste eis aan de omzetting is dat zoveel mogelijk aspecten van de mindmap in het HMF terug te vinden zijn. Er moet dus zo min mogelijk informatie verloren gaan tijdens de omzetting.

De analisten die werken aan de zaak kunnen op elk moment tijdens het onderzoek het HMF nodig hebben, bijvoorbeeld om de waarschijnlijkheden van de gevormde scenario's opnieuw te overwegen of om keuzes te maken of het nodig is om naar verder bewijs te zoeken. Een mindmap zou dus makkelijk en snel in een HMF omgezet moeten kunnen worden.

Een volgende eis aan de omzetting is dat alle onafhankelijkheden in het HMF moeten kloppen. Het kan dus niet zo zijn dat twee variabelen in het HMF na de omzetting onafhankelijk van elkaar zijn, terwijl die onafhankelijkheid niet in de echte wereld het geval is. Dit is een standaard eis van een BN, maar het is

belangrijk om hier goed naar te kijken zodat er geen fouten in het HMF kunnen sluipen waardoor de berekeningen in het netwerk niet meer kloppen.

Een minder harde eis is dat het HMF in structuur lijkt op de mindmap. Omdat analisten niet gewend zijn aan het werken met een BN is het handig als het HMF herkenbare aspecten heeft, waardoor de analisten makkelijk het framework zullen begrijpen.

Kortom, de eisen zijn:

1. Zoveel mogelijk informatiebehoud
2. Makkelijk en snel
3. Correcte onafhankelijkheden
4. Vergelijkbare structuur

### 5.3 Variabelen

Bij de formalisatie van de mindmap gegeven in 3.2.4 wordt een mindmap beschreven als een graaf. Ook de visualisatie van het HMF gebeurt met een graaf. Het lijkt een logische stap te onderzoeken of de verschillende knopen in beide grafen in elkaar omgezet kunnen worden. De knopen in het HMF, behalve de kansknopen, zijn variabelen en kunnen dus de waardes *true* en *false* aannemen. De knopen in een mindmap zijn geen variabelen. Door omzetting van de knopen in een mindmap naar knopen in een HMF, worden de knopen dus een variabele en krijgen ze daarmee een waarheidswaarde.

Alle knopen in de mindmap zullen worden afgegaan om te bekijken of ze kunnen worden omgezet in knopen in het HMF.

**Z:** De knoop Z bevat het onderwerp van de mindmap. In het HMF is er niet direct een knoop die hierop lijkt. Er zijn twee verschillende manieren om hier mee om te gaan.

Ten eerste kan er een nieuw soort knoop aan het HMF worden toegevoegd, die ook het onderwerp van de zaak bevat. Deze toegevoegde knoop moet onvruchtbaar zijn, zodat de knoop geen invloed heeft op de berekeningen in het HMF.

Een ander oplossing is om deze knoop helemaal weg te laten in het HMF. Omdat er geen feiten over de zaak in deze knoop zijn opgeslagen, heeft dit geen relevant informatieverlies tot gevolg.

Omdat het niet tot informatieverlies leidt, is ervoor gekozen om de Z-knoop uit het HMF weg te laten.

**H:** Ook voor de H-knopen in een mindmap zijn er geen knopen in het HMF die hier direct op lijken. In tegenstelling tot het weglaten van de Z-knoop in het HMF gaat er wel informatie verloren als de hypothese knopen hierin worden weggelaten. De hypothese knopen geven namelijk een duidelijke structuur aan de mindmap. Door het weglaten van deze variabelen zou



deze structuur vervallen. Eerder is de eis opgesteld dat de omgezette HMF qua structuur op de mindmap moet lijken, daarom zal er verder worden gezocht naar andere oplossingen.

Ten eerste kan er kleur worden toegevoegd bij pijlen en nodes. Zo zouden bijvoorbeeld alle scenario's voor de hypothese 'ongeluk' worden gemarkeerd in het rood en de indicatoren bij de hypothese 'zelfmoord' in het groen. Er zou dan een standaard moeten zijn welke kleur voor welke hypothese staat, zodat hier geen verwarring over kan ontstaan. In één oogopslag zou het dan duidelijk zijn welke scenario's bij welke hypothese horen. Ook worden op deze manier de onafhankelijkheden tussen verschillende relaties niet veranderd, omdat kleur verder geen betekenis heeft in het netwerk van het HMF. Een nadeel van het toevoegen van kleur is dat sommige kleuren associaties kunnen oproepen, zo kan de kleur rood bijvoorbeeld negatieve associaties oproepen. Deze associaties zijn niet gewenst, omdat het ervoor zou kunnen zorgen dat een criminaliteitsanalist minder objectief naar de verschillende hypothesen kijkt. Het toevoegen van kleuren lijkt dus geen erg geschikte manier om de structuur te behouden.

Ten tweede kan er voor elke hypothese een apart HMF worden gemaakt. Uiteindelijk zouden er dan vier HMFs komen voor elke mindmap. Hierdoor is het snel duidelijk bij welke hypothesen welke scenario's horen, maar door het gebruik van meerdere HMFs zal het overzicht waarschijnlijk snel verloren gaan. Ook zouden sommige eigenschappen van het HMF verloren gaan. Als meerdere indicatoren dezelfde informatiebron delen, kunnen ze mogelijk afhankelijk van elkaar zijn. Deze afhankelijkheid is niet weer te geven als de indicatoren en informatiebronnen niet in hetzelfde HMF staan. Dit lijkt dus ook geen goede oplossing te zijn.

Als laatste zou er een nieuw soort knoop kunnen worden toegevoegd aan het HMF. De H-knopen in de mindmap hebben geen invloed op de waarschijnlijkheden van de scenario-elementen, omdat de hypothese alleen het centrale element of een overkoepelende categorie van de bijbehorende scenario-elementen weergeeft. H-knopen zouden dus als onvruchtbare knopen aan het HMF toegevoegd kunnen worden. De variabelen in deze knopen worden dan gebruikt als een soort dummy-variabelen. Deze variabelen mogen nooit geïnstantieerd worden, omdat ze dan niet meer onvruchtbaar zijn.

De laatste oplossing lijkt de beste de zijn, omdat hierdoor de structuur in de mindmap behouden kan worden en de berekeningen in het HMF niet verstoord worden. Hoe deze knopen precies aan het HMF kunnen worden toegevoegd zal verderop worden uitgelegd.

**W:** Ook voor de W-knopen in de mindmap, die staan voor de zeven vragen die voor elke hypothese worden gesteld, is er niet meteen een soort variabelen in het HMF die hier mee overeenkomt.

Ook kunnen deze knopen niet zomaar weggelaten worden uit het HMF. Door deze vragen wordt er namelijk een duidelijke structuur aangelegd op de scenario-elementen in de mindmap, waardoor het in één oogopslag te zien is welke antwoorden op vragen nog ontbreken en bij welke vraag een scenario hoort.

Door de vragen in het HMF weg te halen, vervalt deze structuur waardoor het later veel lastiger is om bepaalde scenario's of bewijzen terug te vinden of om later de meest waarschijnlijke scenario's te accepteren. Aan de hand van de vragen worden na het onderzoek van de zaak de meest waarschijnlijke scenario's geselecteerd, als deze deelvragen niet duidelijk in het HMF zijn aangegeven is dit veel lastiger te doen. Ook is het een eerder opgestelde eis aan de omzetting dat de structuur van het HMF vergelijkbaar is als die van de mindmap.

Dezelfde oplossingen die hierboven bij de H-knopen zijn benoemd, kunnen ook op de W-knopen worden toegepast. Deze hebben ook allemaal dezelfde voor- en nadelen. Daarom wordt er bij de W-knopen ook gekozen om deze als extra variabelen in het HMF toe te voegen, waarbij de toegevoegde knopen onvruchtbaar moeten zijn. Dit betekent dus ook dat deze toegevoegde variabelen nooit geïnstantieerd mogen worden. Later zal verder worden uitgewerkt hoe deze knopen precies worden toegevoegd aan het HMF.

- S:** De knopen in de graaf van een mindmap en die van het HMF bevatten een verzameling genaamd **S**. In deze verzameling zitten allebei scenario-elementen. Bij het HMF kunnen er ook gehele scenario's in deze verzameling zitten. Het spreekt dus voor zich dat de S-knopen in de mindmap kunnen worden omgezet in de S-knopen in het HMF. Dit heeft tot gevolg dat in de S-knopen in een HMF, na omzetting van een minmap, alleen scenario-elementen kunnen bevatten en geen gehele scenario's.
- B:** De bewijsknopen in de mindmap hebben twee eigenschappen **O** en **N**. **O** is de onderbouwing van het bewijs of de manier waarop het bewijs is verkregen. Deze onderbouwing komt overeen met de informatiebronnen in het HMF, omdat het allebei iets zegt over de betrouwbaarheid van het bewijsmateriaal. Deze kunnen dus direct in elkaar omgezet worden.

Eigenschap **N** staat voor de inhoud van het bewijs, dit kan worden gebruikt om een scenario-element te ondersteunen of verwerpen. Dit is ook het geval bij indicatoren. Daarom komt de **N**-eigenschap van de bewijsknopen in de mindmap overeen met de indicatoren in het HMF.

Een bewijsknoop in de mindmap krijgt dus twee knopen in het HMF; een informatiebron voor de **O**-eigenschap en een indicator voor de **N**-eigenschap. Als de **O**-eigenschap ontbreekt, dan wordt de informatiebron weggelaten. Voor elke bewijsknoop die is omgezet in een indicator moeten er ook kansknopen aan het HMF worden toegevoegd, zodat de indicator via een kansknoop is verbonden met elk scenario-element dat het ondersteunt of weerlegt.

Daarnaast heeft een bewijsknoop een markering. Omdat deze markering belangrijke informatie bevat, moet ook de markering terug te vinden zijn in het HMF. Daarom worden de volgende regels opgesteld. Als een bewijsknoop  $B_l^{S_j^i k}$  in een mindmap is gemarkeerd met een plus voor een bepaalde S-knoop  $S_j^i k$ , moet de kans  $P(I_l = true | S_i = true)$  in het HMF groter zijn dan de kans op  $P(I_l = false | S_i = true)$ , waarbij  $I_l$  de indicator is waarin de bewijsknoop is omgezet en  $S_i$  de knoop waarin  $S_j^i k$  is omgezet.

Als een bewijsknoop  $B_l^{S_j^i k}$  is gemarkeerd met een min voor een bepaalde S-knoop  $S_j^i k$ , moet de kans  $P(I_l = false | S_i = true)$  in het HMF groter zijn dan de kans op  $P(I_l = true | S_i = true)$ , waarbij  $I_l$  de indicator is waarin de bewijsknoop is omgezet en  $S_i$  de knoop waarin  $S_j^i k$  is omgezet. Deze kans staat opgeslagen in de kansknoop die  $I_l$  en  $S_i$  met elkaar verbind.

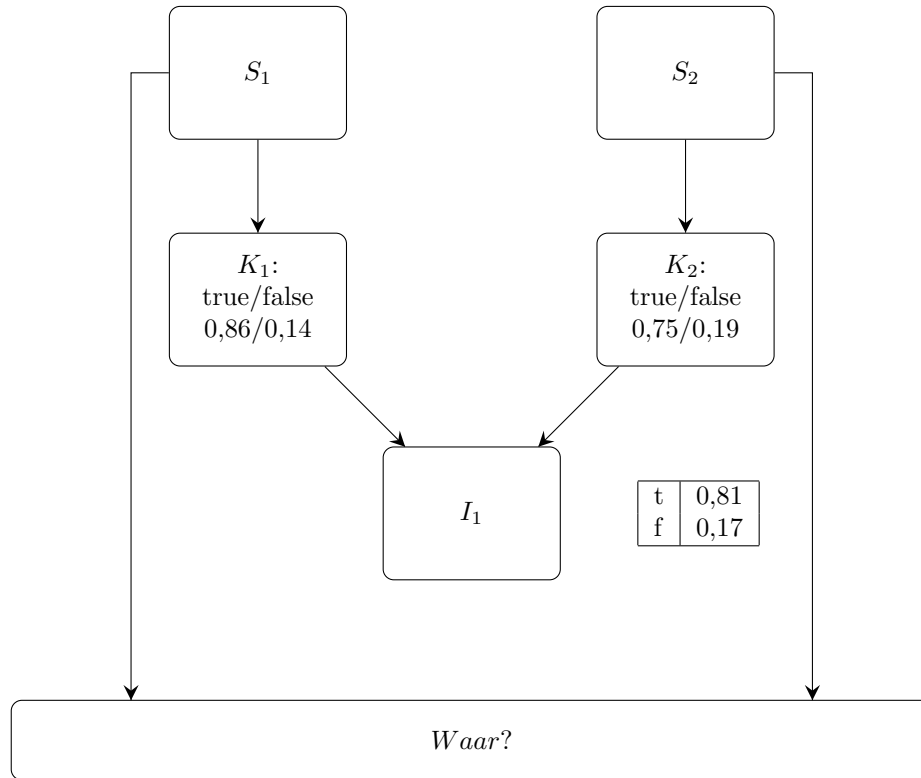
Als een bewijsknoop is gemarkeerd met een vraagteken omdat het bewijs nog gevonden moet worden, kan deze knoop niet worden weggelaten in het HMF, omdat er dan informatie verloren zou gaan. Ook de N-eigenschap van een bewijsknoop met een vraagteken wordt dus toegevoegd aan het HMF als indicator. Wel moet er dan duidelijk in het HMF worden aangegeven dat dit bewijs nog niet gevonden is om verwarring en verkeerde conclusies te voorkomen. Dit zou gedaan kunnen worden door een informatiebron toe te voegen waarin staat dat het bewijs nog ontbreekt of door alle pijlen en knopen horend bij het ontbrekende bewijs te markeren met een bepaalde kleur. De voorkeur gaat uit naar het markeren van ontbrekend bewijs, omdat dit in een oogopslag te zien is. Over een informatiebron kan namelijk snel heen gekeken worden.

Sommige knopen uit de mindmap kunnen dus makkelijk worden omgezet in knopen in het HMF, andere knopen kunnen worden weggelaten of als extra knoop aan het HMF worden toegevoegd. Door het toevoegen van nieuwe knopen is de definitie van het HMF veranderd. De nieuwe definitie is als volgt: Het HMF heeft net als een BN een onderliggende graaf  $G=(\mathbf{V}, \mathbf{E})$ . Bij een HMF geldt dat  $\mathbf{V} = \mathbf{S} \cup \mathbf{I} \cup \mathbf{K} \cup \mathbf{Ib} \cup \mathbf{H} \cup \mathbf{W}$ . De betekenis van elke knoop is gelijk gebleven aan de vorige definitie, de betekenis van de nieuwe knopen is hierboven uitgelegd. Ook zijn de relaties tussen de oude knopen gelijk gebleven. De toegevoegde knopen zijn dummy-variabelen; in de kansrekeningen binnen het HMF spelen ze geen rol. Ze zijn alleen toegevoegd om extra structuur in het HMF toe te voegen. Nu zal er in worden gegaan op de relaties tussen de nieuwe knopen.

De W-knopen hebben geen invloed op de berekeningen in het HMF, daarom moeten ze als onvruchtbare knopen worden toegevoegd. Knopen zijn onvruchtbaar als ze zelf en geen enkele van de nakomelingen bewijs bevat. Alle standaard knopen in het HMF kunnen wel bewijs bevatten en geïnstantieerd worden, daarom is het van belang dat de toegevoegde W-knopen geen van deze standaard knopen als kinderen heeft. Ook mag de toegevoegde W-knoop nooit geïnstantieerd worden, omdat de knoop daarmee niet meer onvruchtbaar is.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor welke variabelen ze als ouder kunnen hebben, namelijk de knopen in  $\mathbf{S}$ ,  $\mathbf{I}$ ,  $\mathbf{K}$  en  $\mathbf{Ib}$ . Omdat de W-knopen

in de mindmap verbonden zijn met de scenario-elementen, lijkt het logisch om deze verbinding in het HMF ook zo te houden. Zo blijft de structuur van de mindmap het meest behouden. In plaats van dat de knopen in  $\mathbf{W}$  nu ouders zijn van de knopen in  $\mathbf{S}$ , is die relatie nu omgedraaid. Het toevoegen van een  $W$ -knoop aan het voorbeeld HMF in Figuur 10 geeft de HMF te zien in Figuur 12.



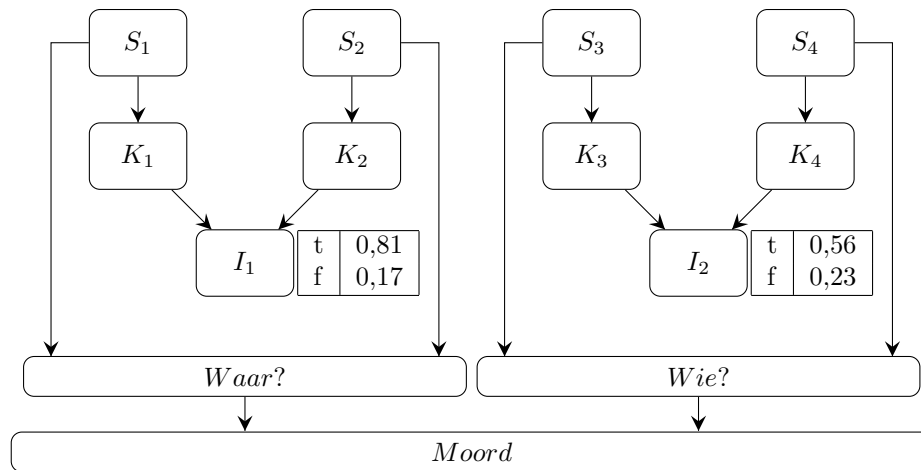
Figuur 12: Voorbeeld van een HMF waarbij een  $W$ -knoop is toegevoegd, met  $t = \text{true}$  en  $f = \text{false}$ .

Deze toevoeging kan alleen als dit geen gevolgen heeft voor de onafhankelijkheden in het HMF. De toegevoegde  $W$ -knoop heeft twee inkomende pijlen en is daarmee een  $V$ -knoop. Een eis van  $W$  is dat die niet geïnstantieerd kan worden. Hierdoor is de keten  $(S_1, S_2, W)$  altijd geblokkeerd. Door een geblokkeerde keten aan een BN toe te voegen verandert er niets aan de onafhankelijkheden in het netwerk. Twee knopen zijn namelijk alleen  $d$ -gesepareerd gegeven een verzameling geïnstantieerde variabelen als er geen actieve ketens tussen liggen. Door het toevoegen van een extra inactieve keten verandert er dus niets aan deze  $d$ -separatie relaties. Deze manier van een extra knoop toevoegen is dus toegestaan.

Ook de toegevoegde  $H$ -knopen aan het HMF moeten onvruchtbaar zijn.

Deze H-knopen zijn in de mindmap verbonden met de W-knopen, het lijkt dus logisch om deze relatie ook in het HMF toe te voegen. De H-knopen kunnen probleemloos als kind van W-knopen worden toegevoegd, omdat de W-knopen onvruchtbaar blijven door het toevoegen van een onvruchtbare knoop. Het toevoegen van H als kind van W is dus toegestaan binnen de berekeningen in het HMF. Het toevoegen van H als kind van W is geïllustreerd in Figuur 13, de waarden in de kansknopen zijn hierbij weggelaten.

Volgens dezelfde redenering als hierboven heeft het toevoegen van een H-knoop in het HMF geen invloed op de onafhankelijkheden hierin, zolang de H-knoop niet wordt geïnstantieerd.



Figuur 13: Voorbeeld van een HMF waarbij een H-knoop is toegevoegd, met t = true en f = false.

De toegevoegde W- en H-knopen in het HMF horen ook een CPT te krijgen. Zoals gezegd zijn deze knopen niet gebruikt voor de berekeningen in het HMF. Het is daarom niet van belang welke getallen er in de CPT van deze knopen staat. Hier zullen dus geen restricties op worden gegeven.

## 5.4 Voorbeeld omzetting

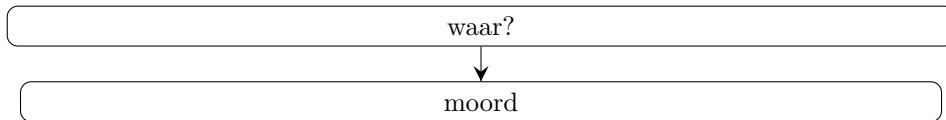
Er zal stap voor stap worden nagegaan hoe een omzetting van mindmap naar HMF zal worden gedaan. Bij de omzetting worden de beantwoorde w-vragen per hypothese één voor één af gegaan. Op deze manier kan de HMF makkelijk stap voor stap opgebouwd worden, zonder dat meteen het overzicht wordt verloren in alle verschillende soorten knopen. In sommige gevallen zou een analist alleen een deel van de mindmap willen omzetten, bijvoorbeeld om de waarschijnlijkheid van een bepaalde scenario te testen of om te zien wat het gevolg is van het vinden van bepaald bewijs op verschillende scenario's. Een eis aan het omzetten van een deel van de mindmap is dat voor alle scenario-elementen die worden omgezet ook

alle bijbehorende bewijzen worden omgezet en dat voor alle bewijzen die worden omgezet ook alle scenario-elementen, die door dit bewijs worden ondersteund of ontkracht, worden omgezet.

De gegeven manier van omzetten zorgt ervoor dat er na elke omzetting van een vraag een correct HMF ontstaat waarin alle nodige variabelen staan zonder dat er onnodig werk wordt verricht of het overzicht wordt verloren door niet-relevante variabelen. Ook is het op deze manier makkelijk om na elke deelvraag te controleren of de omzetting juist is gedaan.

Voor deze voorbeeldomzetting zal het voorbeeld gebruikt in 3.2.3 weer worden gebruikt.

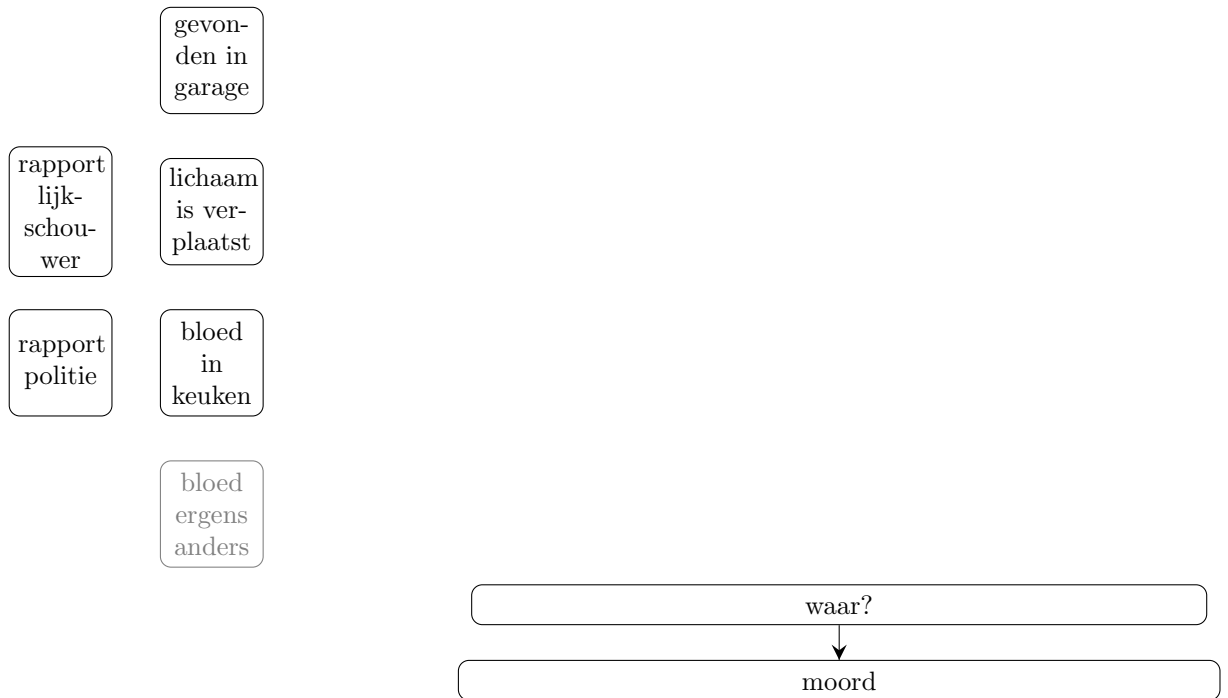
De eerste stap bij de omzetting is om de huidige vraag en hypothese op te slaan in een W- en H-knoop in het HMF. Deze worden onderaan in het netwerk neergezet, zoals te zien in Figuur 14.



Figuur 14: De eerste stap in de omzetting van de mindmap naar een HMF.

De informatie in verschillende B-knopen in een mindmap kan met elkaar overeenkomen. Zo ook in de mindmap in Figuur 5; meerdere scenario's maken namelijk gebruik van de bewijzen 'het lichaam is gevonden in de garage' en 'het lichaam is verplaatst'. Voor elk bewijs mag in het HMF maar één indicator worden gebruikt. Als er meerdere indicatoren per bewijs zouden zijn, zou er informatie in het HMF verloren gaan en zouden de onafhankelijkheidsrelaties in het HMF mogelijk niet meer juist zijn. De volgende stap bij de omzetting is om een indicator-knoop aan te maken in het HMF voor elke unieke N-eigenschap van de bewijs-knopen in de mindmap. Als een bewijsknoop ook een O-eigenschap bevat, wordt deze als informatiebron in het HMF toegevoegd.

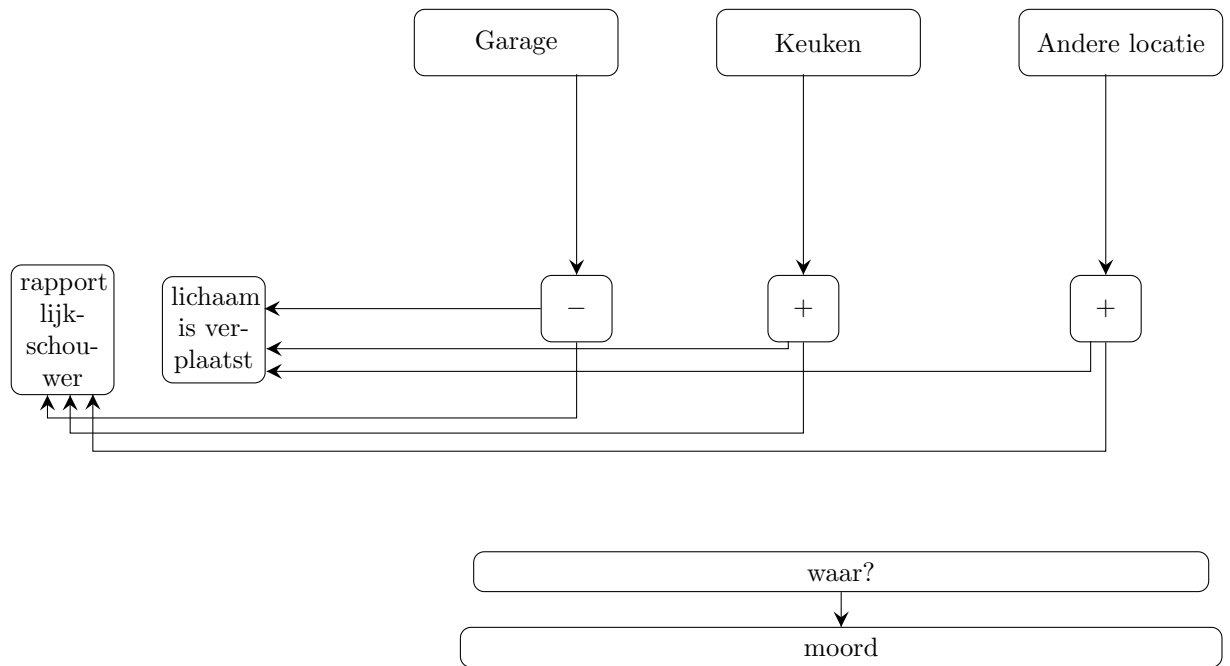
Het resultaat van deze stap is te zien in Figuur 15. De laatste indicator-knoop is grijs gekleurd omdat de bijbehorende bewijsknoop in de mindmap is gemarkeerd met een vraagteken. De indicator-knopen en bewijsknopen zijn aan de linkerkant van het netwerk neergezet om nog ruimte over te houden voor de knopen en pijlen die nog toegevoegd moeten worden.



Figuur 15: De tweede stap in de omzetting van de mindmap naar een HMF.

De volgende stap is om voor alle scenario's in de mindmap een S-knoop in het HMF aan te maken. Alle S-knopen zijn via een kansknoop verbonden met de indicatoren en informatiebronnen. Als een nieuw scenario-element aan het HMF wordt toegevoegd, moet er voor elke bijbehorende indicator een nieuwe kansknoop worden aangemaakt. De toegevoegde kansknoop wordt ook verbonden met de relevante informatiebron, als die aanwezig is. Er hoeft op dit moment nog geen daadwerkelijke kans in de kansknoop worden toegevoegd, dit gebeurt op een later moment in de omzetting. In de kansknoop wordt wel de markering van de bijbehorende bewijsknoop in de mindmap gezet, zodat er hier rekening mee gehouden kan worden bij het toevoegen van de kansen.

Deze stap is uitgewerkt voor de indicator-knoop 'bloed in keuken' in Figuur 16.



Figuur 16: Indicatoren, kansknopen en de pijlen zijn toegevoegd aan het HMF.

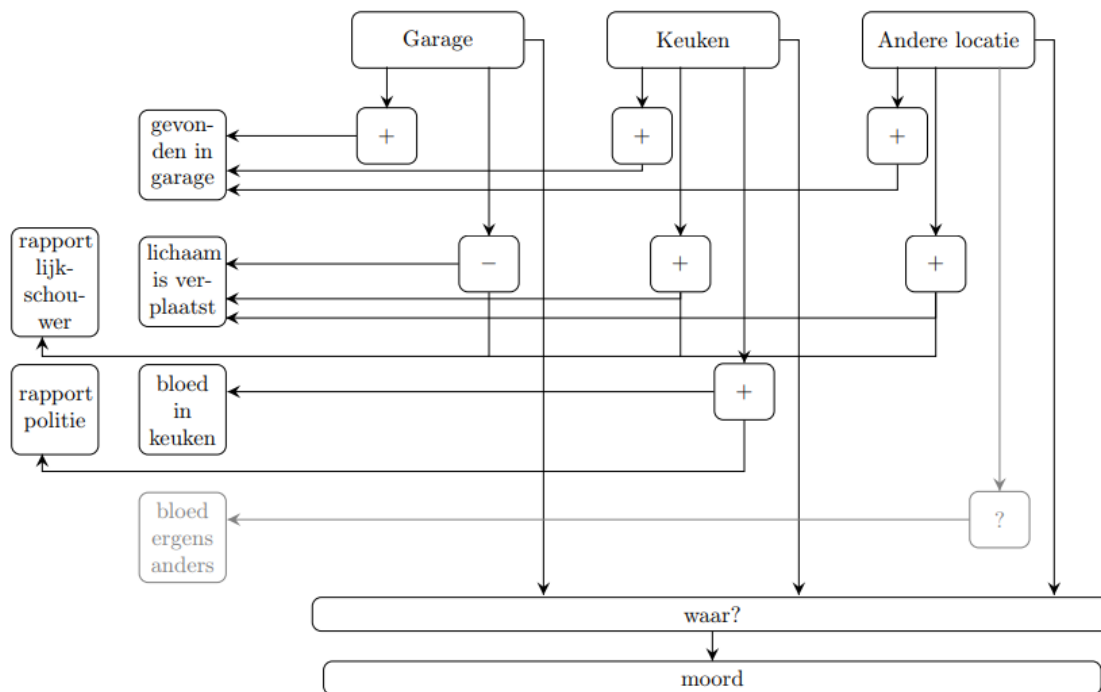
Nu alle knopen aan het netwerk zijn toegevoegd, moeten alleen nog de laatste pijlen worden toegevoegd. Dit zijn de pijlen met de scenario's als ouder en de W-knoop als kind. Het resultaat van deze omzetting is te zien in Figuur 17. Het hele netwerk is nu opgezet, de laatste stap is om waarden toe te voegen aan de CPTs en de kansknopen. Deze waarden moeten worden geschat door een domeinexpert.

De omzetting van de vraag 'waar' voor de hypothese 'moord' is nu afgerond. Hier kunnen nu berekeningen mee worden gedaan. Een gehele mindmap kan worden omgezet door de gegeven stappen voor elke vraag te herhalen.

Bij het herhalen van de stappen kan het zo zijn dat sommige bewijzen of informatiebronnen kunnen worden gebruikt bij scenario's voor meerdere vragen. Zoals eerder benoemd mag voor elk bewijs maar één indicator worden gebruikt, dus als een bewijs bij meerdere vragen wordt gebruikt mag ook maar één indicator worden aangemaakt.

Ook de informatiebronnen in het HMF moeten uniek zijn. Dus als een informatiebron bij meerdere vragen wordt gebruikt, mag er maar één informatiebron worden gebruikt.





Figuur 17: De volledige omzetting van de mindmap naar een HMF.

## 5.5 Stappenplan

Een mindmap wordt in het HMF omgezet door de onderstaande stappen te blijven volgen, net zolang totdat de hele mindmap, of de gewenste onderdelen, zijn omgezet.

1. Maak voor de huidige H-knoop in de mindmap een H-knoop aan in het HMF, als deze knoop nog niet is aangemaakt. Maak voor de w-vraag die wordt behandeld een W-knoop aan in het HMF. Voeg deze toe aan de bijbehorende H-knoop.
2. Maak voor elke unieke N-eigenschap van de bewijsknopen in de mindmap een indicator-knoop aan in het HMF. Als deze bewijsknoop ook een O-eigenschap bevat, wordt hiervoor een informatiebron in het HMF aangemaakt.
3. Maak voor elk scenario-element in de mindmap een S-knoop aan in het HMF en voeg de bijbehorende kansknopen toe. Voeg de markering van de bewijsknopen in de mindmap toe aan de kansknopen.
4. Verbind de scenario's, kansknopen en informatiebronnen met de juiste pijlen.

5. Verbind de scenarioknopen met de bijbehorende W-knoop.
6. Voeg waardes toe aan de kansknopen en de CPTs.

## 6 Conclusie

**In dit hoofdstuk zal per opgestelde eis worden nagegaan of eraan is voldaan. Vervolgens worden er implicaties van deze scriptie in het vakgebied van kunstmatige intelligentie gegeven. Tot slot zullen er meerdere voorstellen worden gedaan voor vervolgonderzoek.**

### 6.1 Antwoord op de onderzoeksvraag

Met het stappenplan gegeven in paragraaf 5.5 is er een systematische manier gegeven waarop een mindmap die voldoet aan de formalisatie gegeven in 3.2.4 in een HMF omgezet kan worden. Deze omzetting kan zonder expert op het gebied van BNs worden gedaan, omdat er gebruik wordt gemaakt van simpele stappen die geen kennis van BNs vereisen om ze uit te voeren. In paragraaf 5.2 zijn een aantal eisen opgesteld waaraan de omzetting zou moeten voldoen. Deze eisen worden hieronder geëvalueerd.

**Informatiebehoud** Deze eis houdt in dat zoveel mogelijk informatie die in een mindmap te vinden is, ook in het HMF terug te vinden moet zijn. Dit is altijd het geval als de voorgeschreven stappen in 5.5 worden gevolgd. Voor elke knoop in de mindmap is een geschikte knoop in het HMF gevonden om deze in om te zetten. Als zo'n geschikte knoop niet is gevonden zijn er hiervoor nieuwe knoopsoorten aan het HMF toegevoegd. Dit heeft tot gevolg dat er een net iets andere HMF ontstaat dan door [5] is gegeven. De toegevoegde knopen hebben als extra eis dat ze nooit geïnstantieerd mogen worden. Hierdoor hebben ze dus geen invloed op de berekeningen die in het netwerk plaatsvinden. Ook is er onderzocht dat de onafhankelijkheden tussen de andere variabelen niet worden aangepast door het toevoegen van de nieuwe knopen. Het toevoegen van nieuwe knopen heeft dus alleen invloed op de structuur van het HMF. Dit is dus een goede oplossing om voor informatiebehoud te zorgen.

Voor de Z-knoop in de mindmap is geen nieuwe knoop aangemaakt in het HMF, maar omdat dit geen verlies van relevante informatie tot gevolg heeft, is dat geen probleem.

Door de omzetting is dus aan de eis van informatiebehoud voldaan.

**Makkelijk en snel** De volgende eis is dat de omzetting makkelijk en snel gedaan kan worden. Het geleverde stappenplan levert duidelijke instructies om de omzetting te maken. Toch kan het lastig zijn om deze instructies uit te voeren als er veel verschillende bewijzen en scenario-elementen zijn. Ook kan het proces tijdrovend zijn als het om een uitgebreide mindmap gaat. Het

geleverde stappenplan is dus niet geschikt om mindmaps met veel verschillende elementen om te zetten.

Toch zal het in de praktijk wel gebruikt kunnen worden, omdat er maar in weinig situaties een gehele mindmap moet worden omgezet. Het HMF is namelijk vooral nuttig om uit te rekenen wat de invloed van een bepaald bewijs is op verschillende scenario's of om de waarschijnlijkheid van een scenario te testen. Voor deze toepassing is het niet nodig om de gehele mindmap om te zetten, het omzetten van een deel van de mindmap volstaat dan.

Aan de eis dat de omzetting makkelijk en snel gedaan kan worden, is niet voldaan als een complexe mindmap wordt omgezet. Wel kan een deel van een mindmap makkelijk omgezet worden.

**Correcte onafhankelijkheden** Bij de omzetting zijn er twee extra knoopsoorten aan het HMF toegevoegd. Dit zou er mogelijk voor kunnen zorgen dat de onafhankelijkheden tussen de andere variabelen in het HMF niet meer kloppen. In paragraaf 5.3 is er nagegaan dat bij door het toevoegen van deze knopen de onafhankelijkheden in het HMF zijn behouden. Wel is er als extra eis aan de knopen gesteld dat ze niet geïnstantieerd mogen worden.

De onafhankelijkheden die al in het HMF zaten zijn dus behouden, maar dit zegt niet dat er alleen onafhankelijkheden gelden die ook in de praktijk zo gelden. In het artikel waarin het voorstel van het HMF wordt gedaan, wordt namelijk niet gezegd of er rekening is gehouden met de onafhankelijkheden in de praktijk bij het opstellen van de structuur van het HMF.

Ook is er bij de formalisatie van de mindmap in paragraaf 3.2.4 van uitgegaan dat de w-vragen in de mindmap niet afhankelijk van elkaar beantwoord zullen worden. Hierdoor kan de vraag 'waarom?' bijvoorbeeld niet voor elke mogelijke dader worden beantwoord. Dit heeft tot gevolg dat in het HMF de scenario-elementen waarin verschillende motieven staan, onafhankelijk zijn van de scenario-elementen waarin de mogelijke daders staan. Deze onafhankelijkheid geldt waarschijnlijk niet zo in de praktijk, dus in dit opzicht zijn de onafhankelijkheden in de omgezette HMF niet geheel correct.

**Vergelijkbare structuur** Door het toevoegen van extra knopen aan het HMF is geprobeerd om de structuur van de mindmap zo veel mogelijk te behouden. Deze toevoeging heeft ervoor gezorgd dat de andere knopen in het HMF op dezelfde manier gegroepeerd staan als in de mindmap. Toch is de structuur van het HMF niet direct herkenbaar. Dit komt er vooral door de vele kansknopen in het HMF. Bij deze knopen worden er veel pijlen in het HMF toegevoegd waardoor het op het eerste gezicht erg ingewikkeld kan lijken. Hoewel de kansknopen er juist voor zouden moeten zorgen dat de kansen in het HMF voor een domeinexpert makkelijk te begrijpen zijn, kunnen ze misschien verwarrend werken in een erg complexe HMF. Om dit te verhelpen zouden er bijvoorbeeld labels aan de kansknopen toegevoegd kunnen worden, waarin staat wat de kans inhoudt, zodat het duidelijker is wat deze betekenen.

## 6.2 Implicaties

Door dit onderzoek is er een manier verkregen om mindmaps zoals de politie ze gebruikt bij lijkvinding via een simpel stappenplan om te zetten in een HMF. Hoewel deze manier niet erg geschikt lijkt om erg complexe mindmaps in om te zetten kan een criminaliteitsanalist toch zijn besluitvorming inzichtelijker maken en beter ondersteunen. Dat kan gedaan worden door delen van een mindmap om te zetten om de waarschijnlijkheid van een scenario-element te berekenen of om te berekenen wat de invloed is van het vinden van bepaald bewijs.

Op deze manier kan kunstmatige intelligentie ervoor zorgen dat de politie zijn eigen werk beter kan ondersteunen.

## 6.3 Verder onderzoek

Het voorgestelde proces van omzetting is een stappenplan dat met de hand uitgevoerd moet worden. Een goed vervolgonderzoek zou zijn hoe dit proces geautomatiseerd kan worden. Deze automatisatie zou dan zijn in de vorm van een software programma dat een HMF genereert aan de hand van een mindmap die de gebruiker kan inladen. Hierdoor zouden er ook gehele mindmaps omgezet kunnen worden en kan het vaker in gebruik genomen worden.

Bij de formalisatie van de mindmap is ervan uitgegaan dat de w-vragen onafhankelijk van elkaar beantwoord zullen worden. Het is een goed vervolgonderzoek om te bekijken hoe de formalisatie van een mindmap met w-vragen afhankelijk van elkaar eruit zou zien en hoe deze in het HMF omgezet kan worden. Hierdoor zou het gevormde HMF beter overeenkomen met de werkelijkheid en zouden de kansen binnen het HMF beter uitgerekend kunnen worden.

In het HMF dat door de omzetting is gevormd, staan geen gehele scenario's maar alleen scenario-elementen. Dit heeft tot gevolg dat de waarschijnlijkheid van bepaalde scenario-elementen gemakkelijk uit te rekenen is, maar dat dit veel lastiger is voor gehele scenario's. In deze scriptie is niet onderzocht hoe er uit de scenario-elementen in het HMF een geheel scenario opgesteld kan worden. Er zou dus nog onderzocht kunnen worden hoe dit gedaan kan worden en hoe deze scenario's in het HMF komen te staan.

Een ander punt dat onderzocht kan worden is hoe het HMF intuïtiever gemaakt kan worden voor criminaliteitsanalisten. Zoals aangegeven lijkt de structuur van het HMF nog niet erg op de structuur van de mindmap door de vele kansknopen in het HMF. Er zou een alternatieve manier kunnen worden bedacht waarop de kansen in een BN inzichtelijk gemaakt kunnen worden, zonder dat er gebruik wordt gemaakt van kansknopen. Op deze manier zou het HMF makkelijker gebruikt kunnen worden voor criminaliteitsanalisten.

## Referenties

- [1] Bayesia S.A.S.: BayesiaLab. Version: v7.0.1. <http://www.bayesia.com/trial-download/>.
- [2] Buzan, T. & Buzan, B. (1996). *The Mind Map Book: How to Use Radiant Thinking to Maximize Your Brains Untapped Potential*, New York: Plume.
- [3] Van den Braak, S.W. (2010). *Sensemaking Software for Crime Analysis*, PhD thesis, Utrecht University.
- [4] Derksen, T. (2009). *Scenariomapping en Informatiegestuurd Politiewerk*, Lectoraat Criminaliteitsbeheersing en Recherchekunde Apeldoorn: Politie-academie.
- [5] Van Gosliga, S. & Van de Voorde, I. *Hypothesis Management Framework: a flexible design pattern for belief networks in decision support systems*, In: S. Renooij, H.J.M. Tabachneck-Schijf, S.M. Mahoney (editors) *BMAW '08. Proceedings of the Sixth UAI Bayesian Modelling Applications Workshop*, Helsinki, Finland, 2008.
- [6] Jensen, F. & Nielsen, T. (2007). *Bayesian Networks and Decision Graphs*, (2nd ed.), Berlin: Springer.
- [7] Jungnickel, D. (1999), *Graphs, Networks and Algorithms*. (3rd ed). Berlin: Springer.
- [8] Russel, S & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: a Modern Approach*, (3rd ed). Prentice Hall.
- [9] Timmers, N. (2017). *The hybrid theory in practice: A case study at the dutch police force*, Masters thesis, Universiteit Utrecht.
- [10] XMind Ltd.: XMind: ZEN. Version: v3.7.0. <https://www.xmind.net/zen/>.