

De waarde van DNA-bewijs

Inleiding drieluik 'Bewijskracht van onderzoek naar biologische sporen en DNA'

Forensisch-biologisch onderzoek¹ richt zich op het vaststellen van de herkomst van biologische sporen en de handelingen die tot een sporenbeeld² kunnen hebben geleid. De laatste jaren is er vanuit de juridische praktijk een toenemende vraag naar nadere duiding van de betekenis van de resultaten van het forensisch-biologisch onderzoek. Deze vragen hebben met name betrekking op (1) de statistische onderbouwing bij complexe DNA-mengprofielen en (2) de criminalistische interpretatie van het sporenbeeld in de context van de zaak. Door recente ontwikkelingen in de forensische wetenschap zijn DNA-deskundigen nu beter toegerust dan voorheen om een gefundeerd antwoord te geven op deze vragen. Zo zijn er statistische rekenmodellen ontwikkeld die de bewijskracht van de overeenkomst tussen het DNA-profiel van een persoon en het complexe DNA-mengprofiel van een spoor kunnen berekenen. Daarnaast leveren diverse internationale wetenschappelijke studies inzichten in de kansen op het ontstaan van een bepaald sporenbeeld bij verschillende handelingen en omstandigheden en over de factoren die hierbij een rol spelen. Dit maakt het mogelijk om, in navolging van andere deskundigheidsgebieden (zoals vezel- en handschriftonderzoek), op een gefundeerde wijze een uitspraak te doen over de waarschijnlijkheid van het waargenomen biologisch sporenbeeld in het licht van verschillende scenario's.³

Dit artikel is de inleiding van het drieluik 'Bewijskracht van onderzoek naar biologische sporen en DNA'. Het is een samenvatting op hoofdpunten en bevat een verklarende woordenlijst.

Drieluik

Het drieluik 'Bewijskracht van onderzoek naar biologische sporen en DNA' beschrijft de wijze waarop de resultaten van het forensisch-biologisch onderzoek worden beschouwd en geïnterpreteerd. Het eerste deel behandelt het in de forensische wetenschap internationaal gehanteerde raamwerk waarbinnen de resultaten van forensisch-biologisch onderzoek worden beschouwd. Dit wetenschappelijke kader voorziet erin dat op een gefundeerde en transparante wijze gerichte antwoorden worden gegeven op specifieke, zaaksgebonden vragen met betrekking tot herkomst en ontstaanswijze van sporen. Het tweede deel gaat nader in op de interpretatie van de resultaten van het onderzoek naar de aard en de herkomst van het sporenmateriaal, het 'bronniveau'. Hierin komen onder meer de rekenmethoden aan de orde die worden gebruikt om de bewijskracht van de waargenomen overeenkomsten tussen DNA-profielen van personen en die van sporen te bepalen. Het derde deel gaat over de handelingen die hebben geleid tot het sporenbeeld, het 'activiteitsniveau'. Hierin wordt de interpretatie van het sporenbeeld binnen het wetenschappelijke kader en de werkwijze van de deskundige nader uiteengezet.

1. Theoretisch kader

De forensische wetenschap onderscheidt drie niveaus waarop vragen worden gesteld en conclusies worden getrokken: het bronniveau, het activiteitsniveau en het delictniveau. Deze drie niveaus kennen een hiërarchische

ordering, waarbij het bronniveau zich helemaal onderaan bevindt, daarboven het activiteitsniveau en bovenaan het delictniveau. Hoe hoger in de hiërarchie, hoe meer informatie wordt meegewogen. Het bronniveau heeft betrekking op de aard van het celmateriaal (celtype) in het spoor en van wie dit celmateriaal afkomstig kan zijn. Een uitspraak op activiteitsniveau geeft informatie over de mogelijke relatie van het spoor of sporenbeeld met een bepaalde handeling. Hoe en/of wanneer is het spoor op de aangetroffen plaats terechtgekomen? Hierbij gaat het om overdracht en persistentie (houdbaarheid) van celmateriaal op objecten of personen, en hoe dit celmateriaal wordt gedetecteerd en veiliggesteld. Tot slot, wordt op delictniveau beoordeeld of er sprake is van een delict, en zo ja, wie de dader is. Hier speelt kennis van het volledige strafdossier en toepassing van deze kennis in het juridische kader een essentiële rol. Het delictniveau is exclusief het domein van de feitenrechter.

Hypothesen

Het evalueren van onderzoeksresultaten op bron- of activiteitsniveau gebeurt aan de hand van twee elkaar uitsluitende hypothesen. Doorgaans betreft dit enerzijds de hypothese van het Openbaar Ministerie en anderzijds de hypothese van de verdediging. De hypothesen hebben betrekking op één specifiek onderdeel uit de voorliggende scenario's. Dit betreft op bronniveau de aan- of afwezigheid van celmateriaal van een bepaalde persoon (bijvoorbeeld de verdachte) in een spoor, en op activiteitsniveau de mogelijke handelingen die tot het sporenbeeld hebben geleid. De deskundige beoordeelt welke hypothese het best wordt ondersteund door de onderzoeksresultaten en in welke mate. Daarbij wordt nadrukkelijk geen uitspraak gedaan over de waarschijnlijkheid van de hy-

* Drs. A.J. Meulenbroek, dr. B. Kokshoorn en dr. L.H.J. Aarts zijn deskundigen op het gebied van forensisch onderzoek van humane biologische sporen en DNA en werkzaam bij het Nederlands Forensisch Instituut (NFI).

1. Onder forensisch-biologisch onderzoek wordt in dit artikel verstaan het onderzoek naar en van humane biologische sporen, waaronder DNA-onderzoek.
2. Onder sporenbeeld wordt hier verstaan het patroon van het totaal aan vastgestelde biologische sporen (of het ontbreken daarvan), met inbegrip van de plaatsen waar de sporen zijn gevonden, hun verspreiding en de uiterlijke verschijningsvorm van de sporen.
3. Een scenario is de woordelijke reconstructie met betrekking tot dat wat zich volgens de betrokken persoon of partij heeft afgespeeld in aanloop naar, tijdens en/of na het delict. De hieruit afgeleide hypothese heeft betrekking op één specifiek onderdeel van dit scenario, bijvoorbeeld een specifieke handeling die wordt betwist.

pothesen zelf. Dit laatste is voorbehouden aan de rechter die dit deskundigenoordeel meeweegt met alle andere bewijsmiddelen in de zaak.

2. Bronniveau

Om de herkomst, de bron, van humane biologische sporen te achterhalen wordt forensisch DNA-onderzoek ingezet. Forensisch DNA-onderzoek verloopt in drie fasen. De eerste fase betreft het technische deel van het DNA-onderzoek. In deze fase isoleren analisten het DNA uit het sporenmateriaal, waarna hiervan een DNA-profiel wordt gegenereerd. In de tweede fase interpreteert en beoordeelt de DNA-deskundige het verkregen DNA-profiel. Daarbij wordt vastgesteld of dit van voldoende kwaliteit is voor een vergelijkend DNA-onderzoek, en zo ja, van (minimaal) hoeveel personen DNA aanwezig is en of er DNA-profielen van individuele personen zijn af te leiden. Pas dan, in de derde fase, start het vergelijkend DNA-onderzoek met DNA-profielen van personen. Deze volgorde van onderzoek minimaliseert de kans op een bewuste of onbewuste sturing (bias) door de deskundige. Bij het vergelijkend DNA-onderzoek beoordeelt de deskundige of het celmateriaal wel of niet afkomstig kan zijn van de desbetreffende persoon.⁴ Wanneer is vastgesteld dat het spoor celmateriaal van deze persoon kan bevatten wordt, indien mogelijk en relevant, de bewijskracht hiervan statistisch vastgesteld.

Bewijskracht van de DNA-match

Er zijn verschillende rekenmethoden beschikbaar om de bewijskracht van de overeenkomst tussen het DNA-profiel van een persoon en dat van een spoor te bepalen. De traditionele en veelgebruikte methode is de berekening van de matchkans. De matchkans geeft weer hoe zeldzaam de vastgestelde overeenkomst is: de kans dat het DNA-profiel van *een willekeurig gekozen persoon* matcht met het DNA-(meng)profiel van het spoor. Deze methode kan worden gebruikt voor enkelvoudige DNA-profielen (van één persoon) en voor DNA-mengprofielen waarin *alle* DNA-kenmerken zijn vastgesteld van *alle* personen van wie celmateriaal in het spoor aanwezig is. Voor het vaststellen van de bewijskracht ten aanzien van *een specifieke persoon* (bijvoorbeeld een verdachte) van wie het DNA-profiel matcht met het DNA-(meng)profiel van een spoor, is de likelihood-ratio-methode de aangegeven methode. Met deze methode wordt berekend hoeveel keer waarschijnlijker het DNA-(meng)profiel van het spoor is onder hypothese I (*het spoor bevat DNA van de verdachte*), dan onder hypothese II (*het spoor bevat geen DNA van de verdachte*). Met de nieuwe generatie statistische rekenmethoden, de zogenoemde probabilistische rekenmodellen, kan op basis van de likelihood-ratio-methode nu ook de bewijskracht worden berekend voor DNA-mengprofielen waarin niet alle DNA-kenmerken van alle personen zichtbaar zijn, zoals het geval is bij

'minimale biologische sporen'. Dit zijn sporen met weinig celmateriaal en/of celmateriaal van slechte kwaliteit. Als gevolg hiervan treden bij de DNA-analyse complicerende neveneffecten op. Zo kunnen een of meer DNA-kenmerken niet zichtbaar zijn in het DNA-profiel. Daarnaast kan het voorkomen dat er pieken zichtbaar zijn in het DNA-profiel die geen DNA-kenmerken representeren van de personen van wie celmateriaal in deze bemonstering aanwezig is.⁵ Omdat de nieuwe probabilistische rekenmethoden rekening houden met deze complicerende neveneffecten kan hiermee de bewijskracht worden vastgesteld van de overeenkomsten tussen het DNA-profiel van een persoon en het onvolledige (complexe) DNA-(meng)profiel van een minimaal biologisch spoor.

Combineren van onderzoeksresultaten op bronniveau

Wanneer voorafgaand aan het DNA-onderzoek kan worden aangenomen dat *een bepaald spoor* afkomstig is van één persoon, dan kunnen de resultaten van verschillende typen DNA-onderzoek, zoals het autosomale DNA-profiel en het Y-chromosomale DNA-profiel met elkaar worden gecombineerd. De onderzoeksresultaten op bronniveau van *twee of meer verschillende sporen* kunnen evenwel niet zonder meer worden gecombineerd om zodoende tot een sterkere bewijskracht op bronniveau te komen, wanneer a priori niet kan worden aangenomen dat deze sporen van dezelfde persoon afkomstig zijn. De onderzoeksresultaten van verschillende sporen kunnen worden geëvalueerd onder hypothesen op activiteitsniveau, waarbij de handelingen die tot het sporenbeeld kunnen hebben geleid centraal staan.

DNA-profiel en celtype

Bij enkelvoudige DNA-profielen is er doorgaans een duidelijke relatie tussen het DNA (en het DNA-profiel) en het type celmateriaal (bijvoorbeeld speeksel) in de desbetreffende bemonstering.⁶ Dit in tegenstelling tot DNA-mengprofielen van sporen met verschillende celtypen. Hierbij is het veelal niet mogelijk een uitspraak te doen over de herkomst van de verschillende celtypen, omdat de koppeling tussen degenen van wie het DNA afkomstig is en de aard van het desbetreffende celmateriaal doorgaans niet is te maken. Er zijn wel uitzonderingen, bijvoorbeeld wanneer het geslachtsgebonden celtypen als sperma of vaginaal epitheel betreft en er DNA van slechts één persoon van het desbetreffende geslacht in de bemonstering aanwezig is.

3. Activiteitsniveau

Wanneer het Openbaar Ministerie en de verdediging elk een andere verklaring hebben over hoe het sporenbeeld is ontstaan (hypothesen op activiteitsniveau), maakt de rechter een inschatting in hoeverre de voorgestelde situaties zich in werkelijkheid kunnen hebben voorge-

4. Vergelijkend DNA-onderzoek resulteert in een van de volgende conclusies: (a) het celmateriaal in het spoor is niet afkomstig van de desbetreffende persoon: er zijn dermate duidelijke verschillen tussen zijn of haar DNA-profiel en dat van het spoor dat de aanwezigheid van een detecteerbare hoeveelheid celmateriaal van deze persoon in het spoor wordt uitgesloten, (b) het celmateriaal in het spoor kan afkomstig zijn van de desbetreffende persoon: alle of nagenoeg alle DNA-kenmerken van deze persoon zijn ook zichtbaar in het DNA-profiel van het spoor, en (c) er kan geen betrouwbare uitspraak worden gedaan met betrekking tot aanwezigheid of afwezigheid van celmateriaal van de desbetreffende persoon in het spoor.

5. De DNA-analyseapparatuur geeft de DNA-kenmerken van het onderzochte DNA weer in de vorm van pieken die zijn gekoppeld aan getallen. Bij minimale biologische sporen kan het zijn dat een of meer DNA-kenmerken niet zichtbaar zijn in het DNA-profiel (geen pieken), of dat pieken zo zwak aanwezig zijn dat niet duidelijk is of ze DNA-kenmerken van het spoor representeren.

6. Bij forensisch-biologisch onderzoek moet op voorhand worden bepaald of, en zo ja welk, onderzoek naar de aard van het celmateriaal noodzakelijk is. Dit onderzoek is doorgaans niet meer mogelijk na het DNA-onderzoek. Een duidelijke vraagstelling bij aanvang van het onderzoek is daarom cruciaal.

daan (de zogenoemde a-priori-kans). Wanneer de rechter of rechter-commissaris een hypothese onvoldoende geconcretiseerd vindt en/of als zeer onwaarschijnlijk beoordeelt, kan hij besluiten deze hypothese buiten beschouwing te laten. Het kan voor de rechter van belang zijn dat de deskundige een inschatting maakt van de waarschijnlijkheid van de resultaten van het forensisch onderzoek met betrekking tot de voorliggende hypothesen op activiteitsniveau.

Toetsbare hypothesen

De deskundige beoordeelt in eerste instantie of de hypothesen zodanig zijn geformuleerd dat ze toetsbaar zijn. Daartoe moeten ze duidelijk een handeling of activiteit beschrijven. Daarnaast moeten de hypothesen wederzijds uitsluitend zijn: als de ene hypothese waar is, kan de andere hypothese niet (deels) ook waar zijn. Centraal staan in de hypothesen de handelingen die volgens het Openbaar Ministerie en de verdediging hebben geleid tot het sporenbeeld, en niet een specifieke bemonstering of specifiek onderzoeksresultaat.

Contextinformatie en sporenbeeld

Tijdens de inventarisatie beoordeelt de deskundige of de noodzakelijke contextinformatie aanwezig is met betrekking tot de voorliggende hypothesen. Doorgaans betreft dit informatie over de relatie tussen betrokken personen en sporendragers, en over dat wat er met de sporendragers is gebeurd voorafgaand aan en volgend op de delictgerelateerde handelingen. Indien van belang vraagt de deskundige om aanvullende, specifieke contextinformatie die naar zijn oordeel noodzakelijk is om de evaluatie van het sporenbeeld te kunnen uitvoeren. Vervolgens inventariseert de deskundige wat de mogelijke uitkomsten van het onderzoek onder de zaaksspecifieke omstandigheden kunnen zijn en de waarschijnlijkheden hiervan. Daarbij beoordeelt hij tevens of het sporenbeeld dat is verkregen bij het reeds uitgevoerde onderzoek voldoende volledig is, of dat aanvullend onderzoek meer onderscheidende informatie zou kunnen opleveren ten aanzien van de voorliggende hypothesen.

Evaluatie en kansinschattingen

Op basis van de zaaksspecifieke contextinformatie maakt de deskundige kansinschattingen voor overdracht van celmateriaal, de persistentie van sporen onder verschillende condities, de aanwezigheid van niet-delictgerelateerd celmateriaal ('achtergrond DNA'), en over de kansrijkheid van de gebruikte detectie en bemonsteringsmethode(n). Er zijn verschillende bronnen waaruit een deskundige kan putten om tot deze kansinschattingen te komen, zoals in de wetenschappelijke vakliteratuur gepubliceerde studies of door experimenten uit te voeren onder de specifieke omstandigheden van de desbetreffende zaak. Daarnaast kunnen de kansen worden ingeschat op basis van een dossierstudie waarbij de resultaten van het forensisch onderzoek in een groot aantal vergelijkbare zaken worden geëvalueerd. Ook kunnen verschillende deskundigen op het specifieke vakgebied worden geraadpleegd om kansinschattingen te maken op basis van hun kennis en ervaring. Bij de evaluatie kan de deskundige gebruikmaken van statistische modellen, zoals 'Bayesiaanse netwerken'. Bayesiaanse netwerken maken het mogelijk om de verschillende kansen te combineren en onderlinge afhankelijkheden daarbij mee te nemen. De deskundige zal de kansverhouding van de resultaten van het forensisch-biologisch onderzoek in het licht van de hypothesen op activiteitsniveau doorgaans uitdrukken in verbale termen van waarschijnlijkheid. Uiteindelijk zal de rechter dit bewijs combineren met de overige feiten en omstandigheden in de zaak en zodoende komen tot een rechtelijke uitspraak op delictniveau.

4. Verklarende woordenlijst/terminologie

In deze lijst worden de in de hiernavolgende artikelen veelgebruikte vaktermen gedefinieerd. Deze termen kunnen in een niet-forensische context een (enigszins) andere betekenis hebben. Termen tussen teksthaken worden elders in de woordenlijst verklaard.

Activiteitsniveau	Een niveau in de [hiërarchie van hypothesen]. De hypothesen betreffen de handelingen die door specifieke personen zijn uitgevoerd.
A-posteriori-kansverhouding	Kansverhouding die ontstaat wanneer de likelihood-ratio wordt verdisconteerd in de a-priori-kansverhouding. In het strafrecht: het oordeel van de rechter over de relatieve waarschijnlijkheid van de voorliggende [hypothesen], nadat het oordeel van de deskundige (de [likelihood-ratio]) is meegewogen met de a-priori-kansverhouding (zie ook regel van Bayes).
A-priori-kansverhouding	De relatieve waarschijnlijkheid van de voorliggende [hypothesen], voordat daarin de uitkomst van het forensisch deskundigenonderzoek (de [likelihood-ratio]) is verdisconteerd (zie ook regel van Bayes).
Bewijskracht	Het gewicht van het bewijs uitgedrukt in de [likelihood-ratio].
Bronniveau	Een niveau in de [hiërarchie van hypothesen]. De hypothesen betreffen de aanwezigheid van een bepaald celtype afkomstig van een specifiek persoon.
Bronsubniveau	Het laagste niveau in de [hiërarchie van hypothesen] dat kan worden onderscheiden. De hypothesen betreffen de aanwezigheid van DNA van een specifiek persoon.

Case-assessment	Het inventariseren van de mogelijke uitkomsten van het onderzoek en de mate waarin die uitkomsten onderscheidend zijn ten aanzien van de voorliggende [hypothese(n)].
Delictniveau	Het hoogste niveau in de [hiërarchie van hypothesen]. Voor het evalueren van onderzoeksresultaten onder [hypothese(n)] op dit niveau is onder meer specifieke juridische kennis en kennis van het volledige strafdossier noodzakelijk. Deze evaluatie is daarom doorgaans het exclusieve domein van de rechter.
Hiërarchie van hypothesen	Verschillende niveaus waarop in de forensische wetenschap aan de hand van hypothesen conclusies worden getrokken. In deze hiërarchie hebben hypothesen een toenemende complexiteit en waarde voor een rechterlijk oordeel (bronsubniveau – bronniveau – activiteitniveau – delictniveau).
Hypothese	Een uit een scenario afgeleide, toetsbare stelling over (de herkomst van DNA van) specifieke personen en/of door hen uitgevoerde handelingen (zie ook [Scenario]).
Hypothesetoetsend onderzoek	Onderzoek aan de hand van vragen gericht op het toetsen van verklaringen.
Hypothesevormend onderzoek	Onderzoek aan de hand van vragen gericht op het vinden van personen, verbanden en/of verklaringen.
Kansverhouding	Een deling van twee kansen ten opzichte van elkaar. Voorbeelden van kansverhoudingen zijn de [a-posteriori-kansverhouding], de [a-priori-kansverhouding] en de [likelihood-ratio].
Likelihood-ratio	Het oordeel van de deskundige over de mate waarin de resultaten van het forensisch-technisch onderzoek waarschijnlijker zijn wanneer de ene [hypothese] waar is dan wanneer de andere hypothese waar is.
LR	De [likelihood-ratio].
Persistentie	De houdbaarheid van celmateriaal gedurende een bepaalde tijdsperiode en onder bepaalde condities. Na overdracht van celmateriaal kan DNA worden afgebroken of worden verplaatst door het hanteren, bewaren en/of verpakken van een stuk van overtuiging.
Probabilistisch rekenmodel	Statistische rekenmethode waarin bepaalde onzekerheden in het resultaat van het forensisch DNA-onderzoek worden meegewogen bij het berekenen van de [bewijskracht] van vastgestelde overeenkomsten en verschillen tussen het DNA-profiel van een persoon en dat van een spoor.
Regel van Bayes	De door dominee Thomas Bayes opgestelde formule: $[a\text{-}priori\text{-}kansverhouding] \times [likelihood\text{-}ratio] = [a\text{-}posteriori\text{-}kansverhouding]$.
Scenario	Woordelijke reconstructie van wat zich volgens de betrokken persoon of partij heeft afgespeeld in aanloop naar, tijdens en/of na het delict (zie ook [Hypothese]).

Bewijskracht van onderzoek naar biologische sporen en DNA

Deel 1. Theoretisch kader en aandachtspunten bij conclusies in het deskundigenrapport

Dit is het eerste deel van een drieluik waarin de theorie voor criminalistische interpretatie en evaluatie van forensisch onderzoek en de toepassing daarvan door DNA-deskundigen voor het voetlicht worden gebracht. Met deze bijdrage willen wij duidelijk maken hoe 'de waarde van DNA-bewijs' wordt bepaald, en hoe de bewijskracht geïnterpreteerd dient te worden volgens de huidige, internationaal geaccepteerde, forensisch-wetenschappelijke inzichten.

Voor het evalueren van bevindingen van forensisch-technisch onderzoek bestaat een wetenschappelijk kader dat het mogelijk maakt om op een robuuste en transparante wijze gerichte antwoorden te kunnen geven op specifieke, zaaksgebonden vragen met betrekking tot 'herkomst' en 'ontstaanswijze' van sporen. Dit eerste deel van een drieluik over de 'waarde van DNA-bewijs' behandelt het algemene wetenschappelijke kader waarbinnen forensisch deskundigen de onderzoeksresultaten beoordelen en waarderen. Ook worden in dit deel de vraagstelling voor een forensisch onderzoek en de rol van de DNA-deskundige bij verschillende typen vraagstellingen in het strafrechtelijk onderzoek behandeld.

1. Verschillende niveaus van vragen en conclusies

Een juwelier in een drukke winkelstraat wordt overvallen. De juwelier verzet zich en raakt hierbij gewond. De daders slaan een vitrine in, maar vluchten uiteindelijk zonder buit. Op de vluchtroute wordt kort na het delict een bivakmuts op straat aangetroffen.

Deze casus zal voor een onderzoeksteam van politie en Openbaar Ministerie aanleiding kunnen geven om forensisch deskundigenonderzoek in te zetten. Bij het opsporen van de dader(s) kan het bijvoorbeeld zinvol zijn om de bivakmuts te laten onderzoeken op de aanwezigheid van DNA-sporen van de mogelijke drager. In deze eerste fase van het onderzoek zal daarom een vraag aan de forensisch deskundige kunnen zijn: 'Is er DNA aanwezig op de bivakmuts en zo ja, van wie?'

Van celmateriaal op de bivakmuts wordt een DNA-profiel verkregen van een man. Dit DNA-profiel wordt via de Nederlandse DNA-databank voor strafzaken (DNA-data-bank) gekoppeld aan een persoon.

Het strafrechtelijk onderzoek richt zich op deze persoon, die vervolgens als verdachte wordt aangemerkt. Over de bivakmuts verklaart de verdachte: 'Die bivakmuts is niet van mij, ik heb dat ding nooit eerder gezien!' Op de vraag van de politie hoe hij kan verklaren dat zijn DNA op de bivakmuts is aangetroffen verklaart de verdachte: 'Ik kom vaak in die winkelstraat. Ik heb de gewoonte om regelmatig op straat te spugen. Misschien heeft er speeksel van mij op de plek gelegen waar de dader de bivakmuts heeft neergegooid.'

In deze zaak is een man in beeld gekomen als mogelijke dader van het delict na een match in de DNA-databank. Hoe waarschijnlijk het is dat deze man daadwerkelijk de donor is van dit spoor hangt nauw samen met de bewijskracht van de gevonden match. Hoe sterker de bewijskracht, hoe groter de kans dat het DNA daadwerkelijk van deze verdachte afkomstig is (zie deel 2 van het drieluik). Hoewel op basis van een DNA-match geen absolute herkomstuitspraak kan worden gedaan, zal de herkomst van het spoor doorgaans niet worden betwist wanneer de bewijskracht extreem sterk is. De verdachte in deze casus geeft evenwel een mogelijke verklaring voor de wijze waarop zijn DNA op de bivakmuts terecht is gekomen. De initiële onderzoeksvraag: 'Is er DNA op de bivakmuts aanwezig en zo ja, van wie?', is verschoven naar de vraag: 'Hoe is het DNA van de verdachte op de bivakmuts terechtgekomen?'

Binnen de forensische wetenschappen worden drie niveaus onderscheiden waarop vragen worden gesteld en conclusies worden getrokken. Dit zijn het bronniveau, het activiteitsniveau en het delictniveau. Deze drie niveaus kennen een hiërarchische verdeling, waarbij het bronniveau zich helemaal onderaan bevindt, daarboven bevindt zich het activiteitsniveau en helemaal bovenaan het delictniveau. Hoe hoger we in deze hiërarchie komen, hoe waardevoller een evaluatie is voor het beantwoorden van de uiteindelijke schuldvraag in een zaak (Jackson e.a. 2006).

* Dr. B. Kokshoorn, dr. L.H.J. Aarts, drs. ing. T.J.P. de Blaeij, dr. P.A. Maaskant-van Wijk en drs. B.J. Blankers zijn deskundigen op het gebied van forensisch onderzoek van humane biologische sporen en DNA en werkzaam bij het Nederlands Forensisch Instituut (NFI). Er is een groot aantal personen betrokken geweest bij de totstandkoming van dit artikel. Wij zijn allen daarvoor zeer erkentelijk. Met name willen wij prof. dr. C.E.H. Berger (Principal scientist, NFI; bijzonder hoogleraar criminalistiek, Universiteit Leiden), prof. dr. M. Sjerps (Principal scientist, NFI; bijzonder hoogleraar Forensische statistiek, Universiteit van Amsterdam) en drs. J. de Koeijer (Teamleider Interdisciplinair Forensisch Onderzoek (IDFO), NFI) zeer hartelijk danken voor de waardevolle discussies en voor hun constructieve commentaar op eerdere versies van dit manuscript. Wij bedanken ook dr. J. Warnaar voor het vervaardigen van figuur 1.

Bronniveau

Het bronniveau¹ heeft betrekking op de vraag wat de aard is van het celmateriaal in een bemonstering en van wie dit celmateriaal afkomstig is. Om vast te stellen van wie het celmateriaal afkomstig is, kan gebruik worden gemaakt van autosomaal, Y-chromosomaal en/of mitochondriaal DNA-onderzoek (zie ook deel 2 van dit drieluik). De bij dit DNA-onderzoek verkregen DNA-profielen kunnen worden vergeleken met de DNA-profielen van personen om vast te stellen van wie het DNA in het sporenmateriaal (mede) afkomstig kan zijn. Bij een gevonden overeenkomst kan de bewijskracht hiervan statistisch worden onderbouwd. Vaak is de koppeling van het in een spoor aangetroffen DNA aan een persoon al voldoende informatief. In voorkomende gevallen is echter nadere duiding nodig met betrekking tot de aard van het celmateriaal waarvan het DNA afkomstig is. Er wordt dan getracht een koppeling te maken tussen het DNA en het soort celmateriaal (bloed, speeksel, sperma, enz.) waar het DNA uit afkomstig is. Het interpreteren van resultaten op het bronniveau vereist in deze gevallen, naast kennis van DNA, DNA-technieken en DNA-statistiek ook kennis van het onderzoek naar biologische sporen. Celtypen als sperma, bloed of vaginaal epitheel hebben vaak een nauwe relatie met een delictgerelateerde activiteit. Dit is bijvoorbeeld duidelijk in een zedendelict waarin een slachtoffer aangeeft dat een man haar met zijn vingers heeft gepenetreerd. Wanneer (1) het aangetroffen DNA in een bemonstering van de vingers van een verdachte kan worden gekoppeld aan vaginale epitheelcellen van het slachtoffer, en (2) de verdachte ontkent het slachtoffer ooit te hebben gepenetreerd, dan kan de rechter de bewijskracht van de resultaten op het bronniveau vrijwel direct doorvertalen naar de bewijskracht met betrekking tot de betwiste handelingen of het delict.

Activiteitsniveau

Anders dan voor het hierboven beschreven zedendelict, kan de bewijskracht van het uitgevoerde onderzoek op bronniveau aan de bivakmuts niet een op een worden doorvertaald naar de bewijskracht op het delictniveau. Het is namelijk niet evident dat het aangetroffen DNA op de bivakmuts afkomstig is van de dader van het delict; er zijn andere verklaringen mogelijk voor het aantreffen van DNA van de verdachte op de bivakmuts. De rechter moet uiteindelijk een afweging maken omtrent de waarschijnlijkheid van de verklaringen van de verdachte ten opzichte van de verklaring in de tenlastelegging. Hierbij wil hij mogelijk weten hoe goed de resultaten van het DNA-onderzoek passen bij twee of meer voorliggende scenario's op activiteitsniveau. Daarbij kan de specialistische kennis van een deskundige van meerwaarde zijn wanneer kansen moeten worden ingeschat die betrekking hebben op overdracht, persistentie, detectie en achtergrondniveaus van celmateriaal op onderzoeksitems. Als een dergelijke vraag op het activiteitsniveau wordt voorgelegd aan een deskundige, is het voor een evenwichtige uitspraak wel noodzakelijk dat de deskundige wordt voorzien van nadere contextinformatie vanuit zowel het

perspectief van het OM als vanuit het perspectief van de verdediging (zie deel 3 van het drieluik).

Delictniveau

Het hoogste niveau waarop uitspraken kunnen worden gedaan is het delictniveau. Hier wordt beoordeeld of een delict is gepleegd, en zo ja, wie de dader(s) is (zijn). Hiervoor is kennis vereist van het volledige strafdossier en toepassing van deze kennis in het juridische kader. De deskundige zal zich daarom in het algemeen niet uitlaten over vraagstellingen op dit niveau. Het delictniveau is doorgaans het exclusieve domein van de rechter.

In de praktijk blijkt dat bepaalde sporen of handelingen sterk delictgerelateerd zijn. De rechter kan de bewijskracht van een evaluatie van bevindingen op bron- of activiteitsniveau in voorkomende gevallen vrijwel direct doorvertalen naar de bewijskracht met betrekking tot het delict.

Een voorbeeld van een evaluatie op *bronniveau* die raakt aan het delictniveau is een onderzoek naar sperma in een inwendige bemonstering van het lichaam van een minderjarige. De verdachte ontkent ten stelligste dat er seksueel contact is geweest. Een conclusie op bronniveau, waarbij sperma in de inwendige bemonstering wordt aangetroffen en waarvan het DNA-profiel matcht met de verdachte, heeft direct betrekking op de kernvraag: heeft de verdachte het slachtoffer verkracht?

Een voorbeeld van een evaluatie op *activiteitsniveau* die raakt aan het delictniveau is de volgende casus. Een persoon is na een verkeersruzie aangereden door een automobilist. De schok van de aanrijding was dermate hevig dat de airbags in het voertuig zijn geactiveerd. Het slachtoffer is overleden aan de bij de aanrijding opgelopen verwondingen. De automobilist is gevlucht waarbij het voertuig is achtergebleven op de plaats delict. Via de kentekenregistratie is de eigenaar van het voertuig als verdachte in beeld gekomen. Hij verklaart echter dat zijn auto kort geleden is gestolen. De rechtbank verzoekt de DNA-deskundige de resultaten van het DNA-onderzoek aan de airbags in het voertuig te beschouwen onder de volgende hypothesen:

- I. de verdachte heeft het voertuig ten tijde van de aanrijding bestuurd;
- II. iemand anders heeft het voertuig ten tijde van de aanrijding bestuurd en de verdachte bevond zich niet in het voertuig.

Wanneer op basis van overig bewijs vaststaat dat het voertuig betrokken was bij de dodelijke aanrijding, heeft een uitspraak op activiteitsniveau over de resultaten van het DNA-onderzoek aan de airbags (bijvoorbeeld: de resultaten zijn veel waarschijnlijker wanneer hypothese I waar is dan wanneer hypothese II waar is) ook direct betrekking op de vraag op delictniveau: heeft de verdachte het delict gepleegd?

1. In de wetenschappelijke literatuur worden onderzoeksvragen en resultaten die uitsluitend betrekking hebben op de herkomst van DNA in een spoor ook wel aangeduid met de term 'bronsubniveau'. Meer hierover in deel 2 van dit drieluik.

2. Vraagstelling gericht op het vinden van verklaringen of het toetsen daarvan

Forensisch DNA-onderzoek vindt doorgaans plaats in het kader van een strafrechtelijk onderzoek. De forensisch DNA-deskundige is dan een schakel in de strafrechtelijke keten en levert op basis van de resultaten van het onderzoek informatie aan een opdrachtgever. Hierbij doen zich twee situaties voor, te weten (1) vragen gericht op het vinden van personen, verbanden of verklaringen voor een sporenbeeld (hypothesevormend onderzoek), en (2) vragen gericht op het toetsen van verklaringen voor een sporenbeeld (hypothese-toetsend onderzoek). Het eerste type vragen is veelal gericht op opsporing en daarom breed en open geformuleerd. Bijvoorbeeld 'is er DNA aanwezig in de bemonstering, en zo ja, van wie is het?' (bronniveau), of: 'hoe is het bloed op de kleding terechtgekomen?' of 'wanneer kan het sperma zijn achtergelaten?' (activiteitsniveau). Het tweede type vragen wordt daarentegen veel explicieter geformuleerd. Op bronniveau hebben deze vragen vaak betrekking op een bij de zaak betrokken persoon: 'is sperma van de verdachte aanwezig?' of 'is het bloed van het slachtoffer?'. Op activiteitsniveau gaan de vragen veelal over een handeling die betrekking heeft op een bekende persoon of het moment waarop een activiteit is uitgevoerd: 'is het slachtoffer door de verdachte gestoken met het mes?' of 'heeft de verdachte de bivakmuts gedragen ten tijde van de overval?'.

Voordat een onderzoek wordt uitgevoerd, is van belang dat duidelijk is vanuit welk oogpunt de vraag wordt gesteld en welke rol de deskundige op dat moment heeft. Dit kan namelijk van invloed zijn op de gehanteerde onderzoeksstrategie en op de eisen die worden gesteld aan de uiteindelijke interpretatie en conclusie. Neem de casus waarin de bivakmuts wordt aangeboden voor onderzoek. Er is nog geen verdachte in beeld en het onderzoek aan de bivakmuts richt zich daarom op het verkrijgen van een DNA-profiel dat kan worden vergeleken met DNA-profielen in de DNA-databank. Een duidelijke vraag ten behoeve van opsporing. Wanneer van een bemonstering van de bivakmuts een DNA-mengprofiel wordt verkregen dat voorts nog niet geschikt is voor vergelijkend DNA-onderzoek, kan met aanvullend DNA-onderzoek worden getracht een DNA-mengprofiel te verkrijgen dat wel kan worden vergeleken met DNA-profielen van personen. Maar als dit aanvullende DNA-onderzoek naar verwachting geen DNA-mengprofiel oplevert dat geschikt zal zijn voor vergelijking met DNA-profielen in de DNA-databank, dan zal het in dit geval (dus wanneer nog geen verdachte in beeld is) niet zinvol zijn om het aanvullende DNA-onderzoek uit te voeren. Pas wanneer een verdachte bij het onderzoek betrokken wordt zal dit aanvullende onderzoek relevant zijn. Immers, door een handmatig vergelijkend DNA-onderzoek zal worden vastgesteld of de verdachte een van de celdonoren kan zijn en kan, in het geval van een 'match', de bewijskracht worden vastgesteld.

Het onderscheid tussen hypothesevormende vragen en hypothese-toetsende vragen is met name voor de deskundige van belang bij het opstellen van het onderzoeksplan. De vraagstelling dicteert de onderzoeksstrategie en

daarmee de kaders waarbinnen de DNA-deskundige bij zijn onderzoek opereert. Het is van belang zich te realiseren dat bij een veranderende vraag (van bron naar activiteit of van 'hypothesevormend' naar 'hypothese-toetsend') mogelijk aanvullend of andersoortig onderzoek noodzakelijk is om de specifieke vraag te beantwoorden.

De hierboven beschreven rol van de deskundige bij het beantwoorden van vragen op bron- of activiteitsniveau is bij voorkeur in persoon gescheiden. Bij het onderzoek op bronniveau kan een deskundige domein-irrelevante informatie tot zich nemen die (bewust of onbewust) sturend kan zijn bij een daaropvolgende evaluatie van de bevindingen op activiteitsniveau. Door het onderzoek in deze verschillende fasen door verschillende deskundigen uit te laten voeren, wordt getracht de kans op contextuele en/of confirmatiebias zo veel als mogelijk te beperken (Stoel e.a. 2014).

3. Een wetenschappelijke aanpak voor de evaluatie van forensisch bewijs

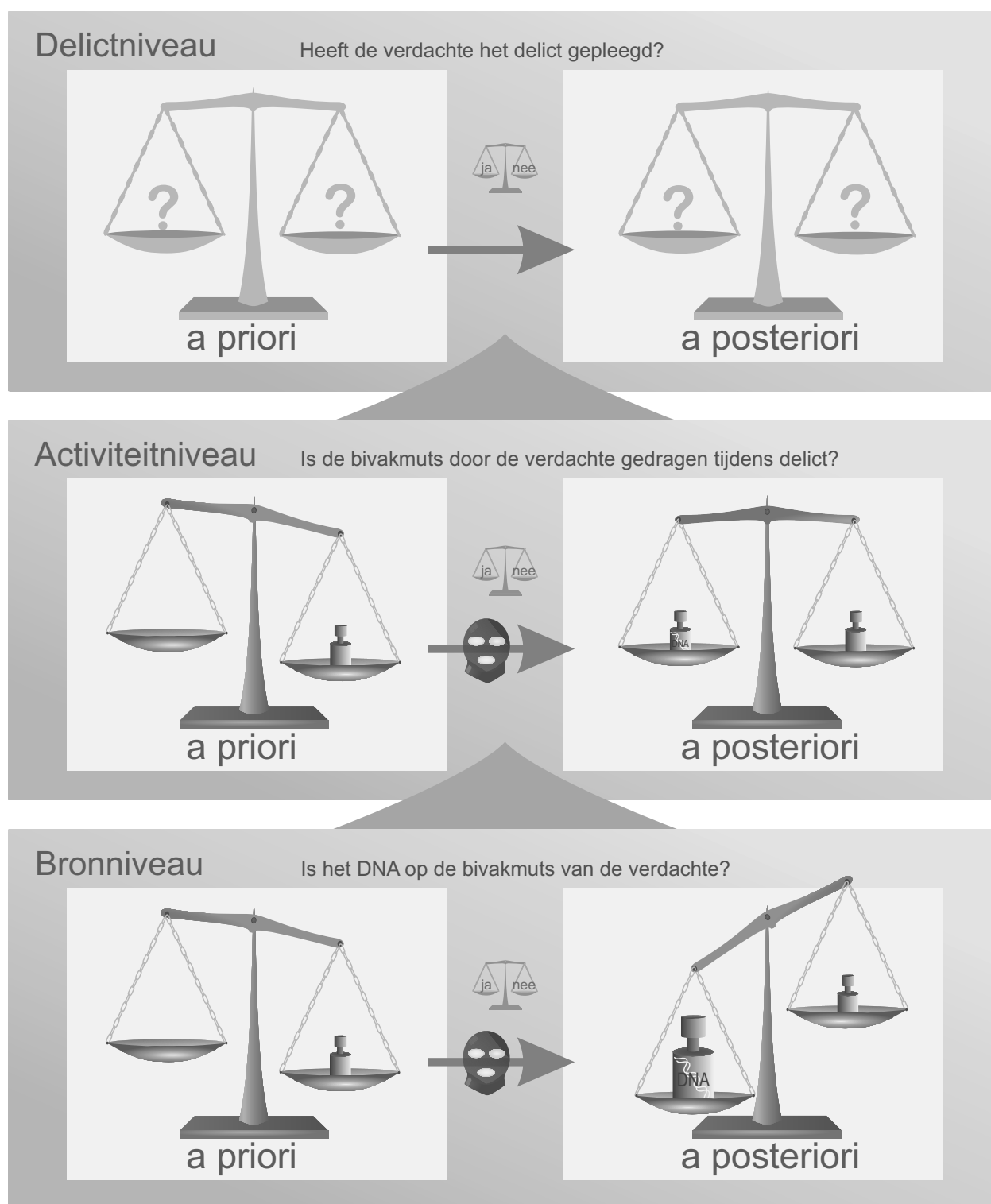
De uitkomst van een forensisch onderzoek omvat observaties van testresultaten, zoals een DNA-profiel of de uitkomst van een test naar de aanwezigheid van een lichaamsvloeistof. Soms geven deze resultaten meteen antwoord op een gestelde vraag en kunnen ze direct aan de opdrachtgever worden doorgegeven. Bijvoorbeeld het microscopisch waarnemen van spermacellen in een monster of het meten van het alcoholgehalte in bloed. Vaker sluiten de uitkomsten van het onderzoek niet direct aan op de vraag, of is het resultaat niet eenduidig. In deze situaties zal de deskundige de uitkomsten interpreteren en vertalen naar een conclusie met een bewijskracht waarin de resultaten worden gewogen onder twee of meer elkaar uitsluitende hypothesen. Hiervoor wordt in de forensische wetenschappen gebruikgemaakt van de Bayesiaanse methode.

De Bayesiaanse methode beschouwt de verhouding tussen de waarschijnlijkheid van twee hypothesen. Is deze verhouding vijf tegen één dan betekent dit dat de ene hypothese vijf keer waarschijnlijker is dan de andere hypothese. Als deze verhouding wordt beschouwd voordat een bepaalde waarneming wordt gedaan, is sprake van de a-priori-kansverhouding. Als deze verhouding wordt beschouwd nadat een bepaalde waarneming is gedaan, is sprake van de a-posteriori-kansverhouding. De mate waarin de verhouding van waarschijnlijkheden wijzigt door de waarneming wordt bepaald door de likelihood-ratio (de 'bewijskracht') (Berger & Aben 2010a, b en c).

De Bayesiaanse methode voorkomt dat de deskundige op de stoel van de rechter gaat zitten. De deskundige beperkt zich tot een uitspraak van de waarschijnlijkheid van de bevindingen gegeven de hypothesen (de bewijskracht) en doet nadrukkelijk geen uitspraak over de waarschijnlijkheid van de hypothesen. Dit laatste is voorbehouden aan de rechter die de bewijskracht meeweegt met alle andere bewijsmiddelen in de zaak.

Toepassing van de Bayesiaanse methode

De politie vermoedt dat de aangetroffen bivakmuts door een van de daders is gedragen tijdens de overval op de juwelier. Bij het tactisch onderzoek is een verdachte in



Figuur 1. De hiërarchie van hypothesen en het wegen van bewijs. Een DNA-deskundige zal de onderzoeksresultaten op zowel bronniveau als op activiteitniveau kunnen evalueren (het gewicht 'DNA' in de weegschaal). Op het delictniveau is kennis van het volledige strafdossier en specifieke juridische kennis noodzakelijk. De DNA-deskundige zal op dit niveau geen bijdrage (kunnen) leveren. De beginstand van de weegschaal ('a priori'; voorafgaand aan het DNA-onderzoek) wordt door de rechter bepaald. Deze initiële inschatting van de relatieve waarschijnlijkheid van de hypothesen wordt bijgesteld door de 'bewijskracht' die de deskundige inbrengt. Samen vormen de a-priori-kansverhouding en de bewijskracht de a-posteriori-kansverhouding (de eindstand van de weegschaal). In dit voorbeeld slaat de weegschaal a priori door ten gunste van de verdachte. Verdachte is slechts een van vele potentiële personen die DNA hebben kunnen achterlaten op de bivakmuts. Na een DNA-match (bronniveau) zal de weegschaal echter sterk doorslaan ten nadele van de verdachte. Op activiteitniveau levert de bewijskracht van het DNA-onderzoek (in dit specifieke voorbeeld) wat gewicht in de schaal ten nadele van de verdachte. Omdat de weegschaal a priori doorsloeg ten gunste van de verdachte betekent dit dat de a-posteriori-kansverhouding tussen de twee hypothesen 1:1 is. Met andere woorden, beide hypothesen zijn even waarschijnlijk.

beeld gekomen die door getuigen korte tijd voorafgaand aan het delict zou zijn gezien met een zwart stuk textiel in zijn hand. De politie wil van de DNA-deskundige weten of er DNA van de verdachte op de bivakmuts aanwezig is.

Op welke manier kan de bij de zaak betrokken forensisch DNA-deskundige deze vraag nu het beste beantwoorden? De deskundige zal de conclusies op een zodanige wijze moeten rapporteren dat deze door de rechter kunnen worden gecombineerd met de overige informatie in de zaak. De regel van Bayes biedt de mogelijkheid dit op een logisch correcte manier te doen. De toepassing ervan in de forensische wetenschappen kan worden geïllustreerd door gebruik te maken van een weegschaal (Jackson 2000; zie ook figuur 1).

Stel je een weegschaal voor met twee schaalpjes. In de ene schaal wordt alle informatie gelegd die de stelling (1) 'op de bivakmuts is DNA aanwezig van de verdachte' ondersteunt. In de andere schaal wordt de informatie gelegd die de alternatieve stelling (2) 'op de bivakmuts is *geen* DNA aanwezig van de verdachte' ondersteunt. Voorafgaand aan het DNA-onderzoek kan er al een a-priori-kans worden bepaald voor deze stellingen. In deze a-priori-kans ligt bijvoorbeeld de informatie besloten dat de verdachte in de desbetreffende stad woont en dat de verdachte op de dag van de overval is gezien op camerabeelden in de winkelstraat waar de juwelier is gevestigd. Op basis van een inschatting van de betrouwbaarheid van deze informatie en van de relatieve zeldzaamheid van de desbetreffende waarnemingen kan worden gesteld dat de ene stelling in een bepaalde mate waarschijnlijker is dan de andere stelling (voor meer informatie over het inschatten van de a-priori-kans verwijzen wij naar Berger & Aben 2010c, 'Het beredeneerd schatten van de prior odds'). Oftewel, op basis van deze informatie ligt er meer gewicht in de ene schaal van de weegschaal dan in de andere, en slaat de weegschaal door naar een van beide kanten. Deze a-priori-afweging is nadrukkelijk een taak voor de rechter. De forensisch deskundige heeft immers geen – of slechts onvolledige – kennis van het strafdossier en is niet de aangewezen persoon om informatie buiten zijn eigen deskundigheid te beoordelen.

Stel dat het DNA-onderzoek van een bemonstering van de bivakmuts een DNA-mengprofiel oplevert van minimaal twee personen. Het DNA-profiel van de verdachte matcht met het DNA-mengprofiel. Statistisch is berekend dat de bevindingen van het DNA-onderzoek 100 000 maal waarschijnlijker zijn wanneer de bemonstering celmateriaal bevat van de verdachte dan wanneer dit niet het geval is (de bewijskracht). Hieruit volgt dat het resultaat van het uitgevoerde DNA-onderzoek meer gewicht legt in de schaal van stelling (1) dan in de schaal van stelling (2).

Wanneer op basis van de a-priori-kansinschatting bijvoorbeeld is vastgesteld dat de weegschaal doorslaat ten faveure van stelling (2) (de kans is klein dat de verdachte op basis van de nu beschikbare informatie – woonplaats en camerabeelden – degene is geweest die DNA heeft achtergelaten op de bivakmuts), dan zal het grote gewicht van het DNA-onderzoek in de schaal van stelling (1) zorgen dat de weegschaal doorslaat ten faveure van

stelling (1). Dit betekent dat stelling (1) in een bepaalde mate waarschijnlijker is geworden dan stelling (2) (de 'eindstand van de weegschaal').

Stel dat uit het DNA-onderzoek blijkt dat het DNA-profiel van de verdachte niet matcht met het DNA-mengprofiel van de bivakmuts, dan legt dit juist veel gewicht in de schaal van stelling (2). De weegschaal zal met deze nieuwe informatie verder doorslaan ten faveure van stelling (2). Op basis van alle beschikbare informatie is stelling (2) dan waarschijnlijker (in een bepaalde mate), dan stelling (1).

In beide hierboven beschreven situaties levert de DNA-deskundige een bepaalde mate van gewicht voor elk van de stellingen. Dit gewicht bepaalt in combinatie met de eerdere gewichten de uiteindelijke stand van de weegschaal en hiermee de relatieve waarschijnlijkheid van de stellingen. Het is aan de rechter om het totaal aan bewijs te beschouwen en te beoordelen of alle gewichten bij elkaar doorslaggevend zijn.

4. Aandachtspunten bij het stellen van vragen en het doorgronden van conclusies

'Niet uitgesloten'

Van een bemonstering is een complex DNA-mengprofiel verkregen waarin DNA-kenmerken zichtbaar zijn van minimaal drie personen. De deskundige concludeert ten aanzien van de vergelijking met het DNA-profiel van de verdachte als volgt: 'Op basis van het vergelijkend DNA-onderzoek kan de verdachte niet worden uitgesloten als mogelijke donor van een deel van het celmateriaal in deze bemonstering.'

De lezer van deze conclusie zou kunnen veronderstellen dat er steun is voor de aanwezigheid van celmateriaal van de verdachte in de bemonstering. De bovenstaande conclusie heeft echter geen betrekking op de waarde van de gevonden overeenkomsten tussen het DNA-profiel van de verdachte en het DNA-profiel van het spoor. Pas na een statistische evaluatie zal duidelijk zijn of er steun is voor de aanwezigheid van celmateriaal van de verdachte in de bemonstering, of juist steun voor de afwezigheid van celmateriaal van de verdachte. Er zijn gevallen bekend waarbij op basis van de waargenomen overeenkomsten niet uitgesloten kan worden dat een verdachte donor van celmateriaal in de bemonstering is, waarna bij de statistische evaluatie blijkt dat de resultaten beter passen bij een bijdrage van een willekeurige persoon dan bij een bijdrage van de verdachte. Dit geldt ook voor een term als 'kan afkomstig zijn van' of 'kan donor zijn van'. Aan uitsluitend de conclusie 'niet uitgesloten', 'kan afkomstig zijn van' of 'kan donor zijn van' kan daarom geen (bewijs)waarde worden gehecht.

De 'aanwijzing voor'

Naar aanleiding van een onderzoek naar biologische sporen op een bivakmuts wordt als volgt geconcludeerd: 'De bemonstering van de bivakmuts is onderzocht op de aanwezigheid van speeksel. Hierbij is een aanwijzing verkregen voor de aanwezigheid van speeksel in de bemonstering.'

De uitkomst van het onderzoek zoals dat hier is beschreven kan een lezer doen denken dat de bemonstering speeksel bevat. Het rapport bevat echter slechts een

eenzijdige beschrijving van de testuitslagen. De conclusie geeft immers aan dat er een aanwijzing is voor de aanwezigheid van speeksel (een positieve testuitslag, geen 100% zekerheid). Er wordt in de conclusie echter geen aandacht besteed aan de interpretatie van het testresultaat in de context van het spoor (zijn er specifieke omstandigheden waardoor er voor dit spoor een vergrote kans is op een vals-positief resultaat?). Bovendien wordt in de bovenstaande conclusie niet aangegeven hoe sterk de aanwijzing op de aanwezigheid van speeksel in de bemonstering is.

Wanneer het onderzoeksresultaat wordt geëvalueerd onder de volgende hypothesen:

- I. de bemonstering bevat speeksel;
 - II. de bemonstering bevat geen speeksel;
- dan zouden de bevindingen (bijvoorbeeld) even waarschijnlijk kunnen zijn onder beide hypothesen (afhankelijk van de context van het spoor en de zaaksspecifieke omstandigheden). Met andere woorden, ondanks dat er 'een aanwijzing' is gerapporteerd op de aanwezigheid van speeksel zijn de bevindingen in voorkomende gevallen niet of onvoldoende informatief ten aanzien van de aanwezigheid van speeksel. Wanneer het vaststellen van de aard van het celmateriaal relevant is voor de beoordeling van de zaak is het raadzaam de deskundige te verzoeken om zich nader uit te spreken over de waarde van de testuitslagen. Ook wanneer deze negatief zijn.

Van wie is welk type celmateriaal: de 'associatie fallacy'

In de wetenschappelijke literatuur worden onderzoeksvragen en resultaten van DNA-onderzoek die uitsluitend betrekking hebben op de herkomst van een spoor – het DNA-onderzoek – ook wel aangeduid met de term 'bronsubniveau'. Wanneer van belang is te weten wat het specifieke celtype is dat een donor heeft bijgedragen, moet een koppeling worden gemaakt tussen het celtype en het DNA-profiel. Dit betreft een interpretatiestap van bronsubniveau naar bronniveau.

Een deskundige concludeert omtrent een onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek als volgt:

'De bemonstering is onderzocht op de aanwezigheid van bloed. Hierbij is bloed aangetroffen. Van het DNA in de bemonstering is een DNA-mengprofiel verkregen van twee personen. Het DNA-profiel van de verdachte matcht met dit DNA-mengprofiel.'

Een veelvoorkomende impliciete maar onjuiste aanname die in situaties als deze wordt gedaan, is dat de bemonstering bloed bevat van de verdachte. Dit kan echter niet zonder meer worden geconcludeerd. Het bloed in de bemonstering kan namelijk ook afkomstig zijn van de andere (onbekende) persoon. Deze denkfout wordt de 'associatie fallacy' genoemd. Het is een impliciete stap van bronsubniveau (DNA) naar bronniveau (type celmateriaal), waarbij geen gedegen evaluatie van de onderzoeksresultaten wordt uitgevoerd. Voor meer informatie over de evaluatie van bevindingen op bronniveau, zie par. 5 van deel 2 van dit drieluik ('Van bronsubniveau naar bronniveau').

Bewijskracht afgeleid uit de beschrijving van een DNA-profiel

In een deskundigenrapport wordt in voorkomende gevallen een beschrijving gegeven van de verkregen onderzoeksresultaten. Hierbij wordt terminologie gebruikt als 'onvolledig' DNA-profiel, 'DNA-mengprofiel', 'zwak aanwezige, additionele DNA-kenmerken', enz.

Het is van belang dat men zich realiseert dat deze termen geen inherente waardering van het bewijs met zich meedragen. De kracht van het 'DNA-bewijs' wordt bepaald door de statistische onderbouwing daarvan. De onderbouwing van de bewijskracht, of die nu getalsmatig is, of een verbaal oordeel van een deskundige, is het enige houvast als het gaat om het vaststellen van de bewijskracht van een gevonden overeenkomst tussen het DNA-profiel van een persoon en dat van een spoor (de conclusie op bronsubniveau). Alle overige terminologie in het deskundigenrapport bevat informatie die veelal is gericht op de beschrijving van het resultaat, en die mogelijk wel relevant is op andere niveaus. Als voorbeeld hiervan de volgende passage uit een deskundigenrapport:

'De bemonstering is onderzocht op de aanwezigheid van bloed. Hierbij is bloed aangetroffen. Van het DNA in de bemonstering is een onvolledig DNA-mengprofiel verkregen waarin DNA-kenmerken zichtbaar zijn van minimaal drie personen. Het DNA-profiel van de verdachte matcht met dit DNA-mengprofiel. Dit betekent dat de verdachte een van de donoren kan zijn van het celmateriaal in deze bemonstering. Het verkregen DNA-mengprofiel is een miljoen maal waarschijnlijker wanneer de bemonstering celmateriaal bevat van de verdachte dan wanneer dit niet het geval is.'

Op bronsubniveau kan nu worden geconcludeerd dat de resultaten van het DNA-onderzoek een miljoen maal waarschijnlijker zijn als er wel celmateriaal van de verdachte aanwezig is dan wanneer dit niet het geval is. De termen 'onvolledig' en 'DNA-mengprofiel' hebben geen invloed op de waardering van dit bewijs. De vermelding dat het een DNA-mengprofiel betreft heeft echter wel invloed op de conclusie die men zou kunnen trekken op bronniveau. De bemonstering bevat bloed. Wanneer er uit de bemonstering een DNA-profiel was verkregen van één persoon zouden het bloed en de persoon met een grote mate van zekerheid kunnen worden gekoppeld. Omdat het een DNA-mengprofiel betreft is niet zonder meer duidelijk van wie het bloed afkomstig is. De term 'mengprofiel' zal de lezer van het rapport daarmee kunnen behoeden voor de 'associatie fallacy'.

Overwaardering van bewijs van bron naar activiteit

Wanneer een match is gevonden tussen het DNA-profiel van een persoon en het DNA-profiel van een spoor zal deze, indien relevant, worden voorzien van de bewijskracht. Bijvoorbeeld: 'Het verkregen DNA-profiel (van het spoor) is meer dan een miljard maal waarschijnlijker wanneer de bemonstering celmateriaal bevat van de verdachte dan wanneer de bemonstering celmateriaal bevat van een willekeurige andere persoon.'

Deze conclusie op bronsubniveau levert zeer sterke steun voor donorschap van de verdachte.

Dit betekent echter niet dat deze zeer sterke bewijskracht op dit niveau zonder meer vertaald kan worden naar sterk incriminerend bewijs op hogere niveaus voor interpretatie.

Een eenvoudig voorbeeld illustreert dit.

Bij forensisch-technisch onderzoek naar aanleiding van een inbraak in een woning wordt in de voortuin van de woning een peuk aangetroffen. Van de peuk wordt een DNA-profiel vastgesteld dat matcht met het DNA-profiel van een persoon in de DNA-databank. Het verkregen DNA-profiel van de peuk is meer dan een miljard maal waarschijnlijker wanneer de bemonstering celmateriaal bevat van de verdachte dan wanneer de bemonstering celmateriaal bevat van een willekeurige andere persoon. De verdachte verklaart desgevraagd dat hij niets te maken heeft met de inbraak, maar dat hij de desbetreffende peuk die dag bij het voorbijgaan in de tuin heeft gegooid.

Onder de hypothesen op activiteitsniveau:

- I. de verdachte heeft de peuk achtergelaten bij het inbreken;
- II. de verdachte heeft de peuk achtergelaten in het voorbijgaan en heeft niets te maken met de inbraak; is het DNA-resultaat even waarschijnlijk. Met andere woorden, hoewel er een hoge bewijskracht is gekoppeld aan de DNA-match, is deze match niet onderscheidend ten aanzien van deze hypothesen. In dit specifieke voorbeeld is evident dat een evaluatie van de bevindingen door een DNA-deskundige niet relevant is. Wanneer andere alternatieve verklaringen worden aangedragen voor het ontstaan van het sporenbeeld, en dus factoren als persistentie van celmateriaal een rol gaan spelen (bijvoorbeeld, als de verdachte verklaart de peuk in plaats van diezelfde dag, een maand eerder te hebben achtergelaten), kan het wel relevant zijn om de forensisch deskundige te verzoeken de bevindingen te evalueren op een hoger niveau.

Wederzijds uitsluitend maar niet allesomvattend

Wanneer twee hypothesen worden beschouwd dienen deze wederzijds uitsluitend te zijn. Met andere woorden, wanneer hypothese I waar is dan kan hypothese II dit niet zijn, en vice versa.

Dit betekent doorgaans echter niet dat hiermee andere mogelijke verklaringen voor een sporenbeeld zijn uitgesloten. Er kan nog een derde (of vierde enz.) verklaring zijn voor het aangetroffen sporenbeeld.

Het volgende hypothesepaar is wederzijds uitsluitend en allesomvattend:

Hypothese I: de verdachte heeft de bivakmuts gedragen.
Hypothese II: de verdachte heeft de bivakmuts nooit gedragen.

Er zijn immers maar twee toestanden denkbaar met betrekking tot het dragen van een bivakmuts. Een dergelijk hypothesepaar is doorgaans echter niet geschikt om de resultaten van een onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek te evalueren. De hypothesen zijn namelijk onvoldoende specifiek om de kansen op het aantreffen van DNA van de verdachte te bepalen. Hierbij spelen verscheidene factoren een rol. Met betrekking tot hypothese I bijvoorbeeld: wanneer, hoe vaak en hoelang

zou de verdachte de bivakmuts hebben gedragen? En met betrekking tot hypothese II: hoe zou het DNA van de verdachte op de bivakmuts terecht zijn gekomen wanneer hij deze nooit heeft gedragen? Er zijn veel verklaringen denkbaar voor het aantreffen van DNA van een persoon op een voorwerp. Dit kan gebeuren door direct contact (vasthouden, aanraken, aangeven) of door indirect contact (overdracht via een andere persoon of voorwerp). In een strafzaak zullen doorgaans echter slechts een of enkele van deze mogelijke verklaringen daadwerkelijk relevant zijn. Op voorhand wordt door de rechter op basis van de a-priori-kans een selectie gemaakt (impliciet of expliciet) uit alle denkbare mogelijkheden. Deze geselecteerde verklaringen zullen in de vorm van twee of meer hypothesen aan de deskundige worden voorgelegd om de bevindingen van het onderzoek te evalueren. Het is daarom van belang dat men zich realiseert dat, wanneer de bevindingen van een onderzoek naar biologische sporen en/of DNA-onderzoek zijn geëvalueerd onder deze hypothesen, daarmee niet alle andere mogelijke verklaringen zijn meegewogen. Dit geldt ook voor de evaluatie van bewijs op bronniveau, waarbij de resultaten van het vergelijkend DNA-onderzoek doorgaans slechts onder twee hypothesen worden geëvalueerd. Meer hierover in deel 2 van dit drieluik.

5. Literatuurlijst

Berger & Aben 2010a

C.E.H. Berger & D.J.C. Aben, 'Bewijs en overtuiging: Rationeel redeneren sinds Aristoteles', *EeR* 2010, afl. 2, p. 52-56.

Berger & Aben 2010b

C.E.H. Berger & D.J.C. Aben, 'Bewijs en overtuiging: Redeneren in de rechtszaal', *EeR* 2010, afl. 3, p. 86-90.

Berger & Aben 2010c

C.E.H. Berger & D.J.C. Aben, 'Bewijs en overtuiging: Een helder zicht op valkuilen', *EeR* 2010, afl. 5/6, p. 159-165.

Jackson 2000

G. Jackson, 'The scientist and the scales of justice', *Science & Justice* 2000, 40, p. 81-85.

Jackson e.a. 2006

G. Jackson e.a., 'The nature of forensic science opinion – a possible framework to guide thinking and practice in investigations and in court proceedings', *Science & Justice* 2006, 46, p. 33-44.

Sjerps & Kloosterman 2008

M. Sjerps & A.D. Kloosterman, 'Sturingsinformatie mag wél gebruikt worden als bewijs', *NJB* 2008, afl. 15, p. 889-891.

Stoel e.a. 2014

R.D. Stoel e.a., 'Minimizing contextual bias in forensic casework', in: K. Strom & M. Hickman (red.), *Forensic Science and the Administration of Justice: Critical Issues and Directions*, SAGE Publishing 2014.

Bewijskracht van onderzoek naar biologische sporen en DNA

Deel 2. Bronniveau

Dit is het tweede deel van een drieluik waarin de theorie voor criminalistische interpretatie en evaluatie van forensisch onderzoek en de toepassing daarvan door DNA-deskundigen voor het voetlicht worden gebracht. Met deze bijdragen willen wij duidelijk maken hoe 'de waarde van DNA-bewijs' wordt toegekend, en hoe de bewijskracht geïnterpreteerd wordt volgens de huidige, internationaal geaccepteerde, forensisch-wetenschappelijke inzichten. Dit tweede deel behandelt de bewijskracht van DNA-resultaten op het zogenoemde 'bronniveau'. Daarbij wordt uitgelegd wat de waarde is van een gevonden overeenkomst tussen het DNA-profiel van een persoon en het DNA-profiel van een spoor voor de vraag van wie het spoor afkomstig is. Ook de samenhang tussen het onderzoek naar biologische sporen en het DNA-onderzoek komt in dit deel aan bod.

1. Onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek

Onderzoek naar biologische sporen

Om meer informatie te krijgen over personen die mogelijk bij een delict zijn betrokken en/of over de handelingen die door betrokken personen bij een delict zijn verricht, kunnen door de politie sporen(dragers) naar een forensisch laboratorium worden gestuurd voor een onderzoek naar biologische sporen. Deze sporendragers worden vervolgens onderzocht op de aanwezigheid van biologische sporen zoals bloed, speeksel of sperma. Omdat het onderzoek naar de aard van het celmateriaal na de DNA-analyse doorgaans niet meer mogelijk is, moet op voorhand worden bepaald of, en zo ja welk onderzoek naar de aard van het celmateriaal noodzakelijk is om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Daarom is een duidelijke vraagstelling bij aanvang van het onderzoek cruciaal. In voorkomende gevallen is daarnaast meer contextinformatie noodzakelijk om gericht onderzoek te kunnen doen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer plaatsen moeten worden bemonsterd waar zich onzichtbare sporen (zoals minimale huidsporen) kunnen bevinden van iemand die contact heeft gemaakt met een persoon of voorwerp.

Stapsgewijs DNA-onderzoek

Het forensisch DNA-onderzoek doorloopt een aantal stappen waarin verschillende fasen worden onderscheiden. De eerste fase betreft het technische deel van het DNA-onderzoek. In deze fase wordt DNA geïsoleerd uit sporenmateriaal en wordt van dit DNA een DNA-profiel gegenereerd. Dit gebeurt door analisten van een laboratorium volgens geaccrediteerde onderzoeksmethoden met behulp van specialistische software.

In de tweede fase wordt het verkregen DNA-profiel beoordeeld en geïnterpreteerd door een DNA-deskundige. Daarbij wordt vastgesteld van hoeveel donoren het celmateriaal (minimaal) afkomstig is, of er DNA-profielen kunnen worden afgeleid van individuele donoren en of het verkregen DNA-profiel van voldoende kwaliteit is voor een vergelijkend DNA-onderzoek. Wanneer het verkregen DNA-profiel onvoldoende informatief is, kan de deskundige besluiten om aanvullend DNA-onderzoek uit te voeren. Afhankelijk van het eerste resultaat van het DNA-onderzoek kan (i) de DNA-analyse meerdere malen worden herhaald om de reproduceerbaarheid van de resultaten te onderzoeken, (ii) een meer gevoelige DNA-analysetechniek zoals Low Copy Number (LCN) worden toegepast of (iii) een DNA-profiel worden gegenereerd met een ander DNA-analysesysteem. Uiteindelijk beslist de DNA-deskundige of een DNA-profiel voldoende informatief is voor een betrouwbaar vergelijkend DNA-onderzoek met de DNA-profielen van personen. Daarbij wordt met name gekeken naar het minimumaantal celdonoren, de hoogte van de pieken¹ en de mate van reproduceerbaarheid van de pieken in het DNA-profiel. Omdat er vanuit de wetenschappelijke literatuur geen criteria beschikbaar zijn om te bepalen wanneer een DNA-profiel geschikt is voor een vergelijkend DNA-onderzoek, kan dit oordeel tussen verschillende laboratoria en tussen DNA-deskundigen onderling verschillen. Dit verschil van inzicht wordt met name zichtbaar wanneer het gaat om LCN DNA-profielen van minimale sporen (sporen waarin zeer weinig celmateriaal aanwezig is), en bij complexe DNA-mengprofielen van drie of meer celdonoren. Pas als fase twee is afgerond, en een DNA-profiel geschikt is bevonden voor een vergelijkend DNA-onderzoek, zal de DNA-deskundige beginnen met het vergelijkend DNA-onderzoek (fase drie). Het is van belang dat deze verge-

* Dr. B. Kokshoorn, dr. L.H.J. Aarts, dr. J.H.A. Nagel en drs. J. Koopman zijn deskundigen op het gebied van forensisch onderzoek van humane biologische sporen en DNA en werkzaam bij het Nederlands Forensisch Instituut (NFI). Er is een groot aantal personen betrokken geweest bij de totstandkoming van dit artikel. Wij zijn allen daarvoor zeer erkentelijk. Met name willen wij prof. dr. C.E.H. Berger (Principal scientist, NFI; bijzonder hoogleraar criminalistiek, Universiteit Leiden), prof. dr. M. Sjerps (Principal scientist, NFI; bijzonder hoogleraar Forensische statistiek, Universiteit van Amsterdam) en drs. J. de Koeijer (Teamleider Interdisciplinair Forensisch Onderzoek (IDFO), NFI) zeer hartelijk danken voor de waardevolle discussies en voor hun constructieve commentaar op eerdere versies van dit manuscript. Wij bedanken ook dr. J. Warnaar voor het vervaardigen van figuur 1.

1. Een DNA-profiel bestaat uit een serie pieken. Deze pieken representeren doorgaans de DNA-kenmerken van het DNA in de desbetreffende bemonstering. In voorkomende gevallen, met name bij DNA-profielen van zeer kleine hoeveelheden DNA, kunnen artefacten ontstaan in het DNA-profiel. Deze artefacten worden zichtbaar als pieken in het DNA-profiel. Deze pieken betreffen in dat geval dus geen DNA-kenmerk. Derhalve wordt een onderscheid gemaakt tussen 'DNA-kenmerken' en 'pieken' (DNA-kenmerken en artefacten).

lijking pas plaatsvindt nadat het DNA-profiel van het spoor geschikt is bevonden, om zo de kans op een bewuste of onbewuste sturing van de DNA-deskundige te minimaliseren (Krane e.a. 2008; Dror & Hampikian 2011; Meulenbroek e.a. 2009).

In fase drie vergelijkt de DNA-deskundige de DNA-profielen van sporen met DNA-profielen van personen om te bepalen van wie het celmateriaal in de bemonstering afkomstig kan zijn. Op basis van het vergelijkend DNA-onderzoek kan worden geconcludeerd dat (i) een persoon geen donor is van het celmateriaal in een bemonstering; er zijn op technische gronden onverklaarbare verschillen tussen het DNA-profiel van de persoon en dat van het spoor, (ii) een persoon donor kan zijn van het celmateriaal in een bemonstering; alle of nagenoeg alle (verschillen zijn op technische gronden verklaarbaar) DNA-kenmerken van deze persoon zijn zichtbaar in het DNA-profiel van het spoor; of (iii) naar de mening van de DNA-deskundige geen betrouwbare uitspraak kan worden gedaan over aan- of afwezigheid van celmateriaal van een persoon in een bemonstering ('onbeslist').

Wanneer op basis van het vergelijkend DNA-onderzoek is vastgesteld dat een spoor celmateriaal kan bevatten van een persoon, zal deze vaststelling indien mogelijk en indien relevant vergezeld gaan van een uitspraak over de bewijskracht van de gevonden overeenkomsten en verschillen.

2. Het bepalen van de bewijskracht van de resultaten van het DNA-onderzoek

Matchkans

Er bestaan verschillende statistische rekenmethoden om de waarde van de gevonden overeenkomsten tussen het DNA-profiel van een persoon en dat van een spoor te berekenen. Een veelgebruikte methode is de matchkansberekening. Met deze methode wordt de kans berekend dat het DNA-profiel van een willekeurig gekozen persoon matcht² met het DNA-(meng)profiel van een spoor.

De matchkans kan worden berekend voor enkelvoudige DNA-profielen.³ Dit zijn DNA-profielen die afkomstig zijn van celmateriaal van één persoon. Wanneer een bemonstering celmateriaal bevat van meer dan één persoon zal een DNA-mengprofiel worden verkregen. Enkelvoudige DNA-profielen kunnen ook worden verkregen, wanneer een bemonstering een relatief grote hoeveelheid celmateriaal bevat van één persoon en er een DNA-profiel van deze 'hoofddonor' uit een DNA-mengprofiel kan worden afgeleid (een zogenoemd 'DNA-hoofdprofiel').

De matchkans kan ook worden berekend voor DNA-mengprofielen. Voor berekeningen aan DNA-mengprofielen is ook de term 'inclusiekans' in gebruik.

Een belangrijke aanname bij het berekenen van de inclusiekans is dat *alle DNA-kenmerken van de donor(en) zijn vastgesteld in het DNA-mengprofiel*. In het algemeen⁴ komt het erop neer dat de matchkansberekeningen alleen kunnen worden toegepast bij DNA-(meng)profielen ver-

gaten uit sporen met voldoende DNA van goede kwaliteit. De matchkans is een eigenschap van het DNA-profiel van een spoor. De berekende kans is met name afhankelijk van de relatieve zeldzaamheid van de DNA-kenmerken in het desbetreffende DNA-profiel. Dit betekent dat de matchkans kan worden berekend zonder de beschikking te hebben over het DNA-profiel van een persoon.

Wanneer bijvoorbeeld de DNA-profielen van twee personen matchen met een DNA-mengprofiel, zal voor beiden de matchkans gelijk zijn.

Met de matchkans wordt 'slechts' een algemene kans op een 'match door puur toeval' berekend. Voor het vaststellen van de bewijskracht ten aanzien van een specifieke persoon, (bijvoorbeeld een verdachte) van wie het DNA-profiel matcht met een DNA-(meng)profiel, is de likelihood-ratio-methode de aangewezen methode.

De likelihood-ratio-methode

Met de likelihood-ratio-methode wordt de kans op het aantreffen van een bepaald DNA-profiel onder de ene hypothese (bijvoorbeeld: 'het celmateriaal in de bemonstering is van het slachtoffer en van de verdachte') afgezet tegen de kans op dit DNA-profiel onder een alternatieve hypothese (bijvoorbeeld: 'het celmateriaal in de bemonstering is van het slachtoffer en van een onbekende persoon').

Het voordeel van deze methode boven de 'matchkans' methode is dat kenmerkende informatie in het DNA-profiel van de betrokken personen wordt meegewogen in de bewijskracht. Zo zal een match tussen het DNA-profiel van een verdachte met zeer zeldzame DNA-kenmerken in zijn of haar DNA-profiel en het DNA-mengprofiel van een spoor een grotere bewijskracht opleveren dan wanneer deze verdachte veelvoorkomende DNA-kenmerken in zijn DNA-profiel heeft.

Hoe verhoudt de conclusie van een likelihood-ratio-berekening zich nu tot een matchkansberekening? Stel dat het DNA-profiel van de verdachte matcht met een enkelvoudig, volledig DNA-profiel van een spoor. De matchkans kan dan als volgt worden gerapporteerd: 'De kans dat het DNA-profiel van een willekeurig gekozen persoon matcht met het DNA-profiel van het spoor is één op één miljard.' Wanneer we de bewijskracht uitdrukken in de vorm van een likelihood-ratio, dan kiezen we de volgende hypothesen:

- I. het DNA in de bemonstering is van de verdachte;
- II. het DNA in de bemonstering is van een willekeurig gekozen, andere persoon.

De berekening die dan wordt uitgevoerd verloopt als volgt:

De kans dat het DNA-profiel van de verdachte matcht als hypothese I waar is – het DNA in de bemonstering is daadwerkelijk van de verdachte – is 1 op 1 (100%, aangenomen dat er geen verwisseling of contaminatie is opgetreden in het onderzoeksproces).

De kans dat het DNA-profiel van de verdachte matcht als hypothese II waar is – het DNA in de bemonstering

2. We spreken van een match als alle DNA-kenmerken van een enkelvoudig DNA-profiel (van bijvoorbeeld een referentiemonster van een persoon) voorkomen in ('passen in') een DNA-(meng)profiel van een spoor.

3. Voor de matchkans van enkelvoudige DNA-profielen is in het verleden ook de term 'berekende frequentie' gebruikt.

4. Er zijn matchkans-rekenmodellen ontwikkeld die met een beperkte mate van ontbreken van DNA-kenmerken ('drop-out') rekening kunnen houden. Zie bijvoorbeeld F. van Nieuwerburgh e.a., *Bioinformatics* 2009, 25 (2), p. 225-229. Deze modellen worden in de forensische praktijk echter niet of nauwelijks toegepast omdat likelihood-ratio-modellen de voorkeur verdienen (zie 'De likelihood-ratio-methode').

is afkomstig van een willekeurig gekozen, andere persoon – is gelijk aan de matchkans, oftewel (in het hierboven gegeven voorbeeld) één op één miljard. De likelihood-ratio wordt in dit geval dus 1 gedeeld door één miljard, oftewel één miljardste. Met andere woorden: de bevindingen van het vergelijkend DNA-onderzoek zijn een miljard maal waarschijnlijker wanneer hypothese I waar is, dan wanneer hypothese II waar is.

Wanneer er dus sprake is van een enkelvoudig DNA-profiel, zal het uitvoeren van een likelihood-ratio-berekening niets toevoegen aan de reeds gerapporteerde matchkansberekening. De beide waarden kunnen eenvoudig worden omgerekend. De likelihood-ratio is immers 1 gedeeld door de matchkans.

Door de likelihood-ratio te berekenen wordt de bewijskracht bepaald die toegespitst is op de DNA-profielen van de betrokken personen. Dit is met name van belang bij een match met een DNA-mengprofiel. Wanneer de DNA-profielen van twee verdachten matchen met een DNA-mengprofiel kan de bewijskracht voor de ene verdachte namelijk (sterk) verschillen van die voor de andere verdachte. Omdat de likelihood-ratio-methode een op een specifieke persoon toegespitste bewijskracht levert, wordt deze methode bij matches met DNA-mengprofielen aanbevolen door de internationale organisatie van forensisch genetici (ISFG) (Gill e.a. 2006; Gill e.a. 2012).

De bewijskracht van de resultaten van het DNA-onderzoek heeft alleen betrekking op de onderzochte hypothesen. Dit betekent dat bij het beschouwen van andere hypothesen de bewijskracht ten aanzien van een betrokken persoon anders kan zijn. Ter illustratie hiervan zou een rapport bijvoorbeeld kunnen vermelden: 'De resultaten van het DNA-onderzoek zijn meer dan een miljard maal waarschijnlijker wanneer het DNA in de bemonstering afkomstig is van de verdachte, dan wanneer het DNA in de bemonstering afkomstig is van een willekeurig gekozen, onbekende persoon (niet verwant aan de verdachte).' De raadsman van de verdachte zou hierop kunnen aanvoeren: 'Mijn cliënt is niet de donor van het spoor. Het onderzochte alternatief dat de onbekende donor niet verwant is aan mijn cliënt is niet realistisch. Uit het strafdossier blijkt dat mijn cliënt een eeneiige tweelingbroer heeft die eerder voor een dergelijk delict is veroordeeld. Ik stel daarom dat het DNA in de bemonstering afkomstig is van de tweelingbroer van mijn cliënt.'

Zoals bekend hebben eeneiige tweelingen (nagenoeg) hetzelfde DNA, en daarmee hetzelfde DNA-profiel. Als de nieuwe alternatieve hypothese wordt getoetst zal de conclusie in het deskundigenrapport luiden: 'De resultaten van het DNA-onderzoek zijn even waarschijnlijk wanneer het DNA in de bemonstering afkomstig is van de verdachte, als wanneer het DNA in de bemonstering afkomstig is van een eeneiige tweelingbroer van de verdachte.'

In dit voorbeeld legt het DNA-bewijs dus geen gewicht in de weegschaal met betrekking tot de vraag of het DNA afkomstig is van de verdachte of van zijn tweelingbroer. Het hier gekozen voorbeeld betreft natuurlijk een uitzonderlijke situatie. Echter ook bij een aanname over een andere mate van verwantschap (zoals bijvoorbeeld

ouder/kind of broer/broer) zal het DNA-bewijs een ander gewicht krijgen.

De likelihood-ratio-methode en DNA-profielen van minimale sporen

Wanneer sprake is van minimale sporen met weinig DNA en/of DNA van slechte kwaliteit, neemt de meetonzekerheid bij het DNA-onderzoek toe. In voorkomende gevallen worden een of meer DNA-kenmerken niet zichtbaar gemaakt in het DNA-profiel. We spreken dan over 'allele drop-out' of 'locus drop-out'. Er kan in dergelijke gevallen niet worden vastgesteld of, en zo ja welke DNA-kenmerken ontbreken. Daarnaast kan het voorkomen dat er pieken zichtbaar zijn in de DNA-piekenprofielen die geen DNA-kenmerken betreffen, maar zogenoemde 'allele drop-ins' of 'verhoogde stutters' (zie voor meer informatie over de hier besproken 'technische artefacten' Kloosterman & Meulenbroek 2008). Deze effecten maken de interpretatie van de verkregen DNA-profielen complex. Het herhalen van het DNA-onderzoek, dat wil zeggen, een aantal maal een nieuw DNA-profiel maken van dezelfde bemonstering, is dan essentieel om inzicht te krijgen in het aantal donoren van het celmateriaal in de desbetreffende bemonstering en over de kans dat bovengenoemde effecten zijn opgetreden. Op grond van de hierbij verkregen informatie wordt vastgesteld of het DNA-profiel geschikt is voor een vergelijkend DNA-onderzoek en of het mogelijk is om de bewijskracht van een eventueel gevonden overeenkomst met het DNA-profiel van een persoon betrouwbaar te bepalen.

Voor het vaststellen van de bewijskracht van gevonden overeenkomsten tussen het DNA-profiel van een persoon en een onvolledig (complex) DNA-(meng)profiel van een spoor, kan geen gebruik worden gemaakt van de 'standaard' matchkans-rekenmethoden. Er kan namelijk niet worden aangenomen dat alle DNA-kenmerken van alle celdonoren zijn vastgesteld. Voorheen werd in dergelijke gevallen gerapporteerd dat een persoon op grond van het vergelijkend DNA-onderzoek donor kon zijn van (een deel van) het celmateriaal in een onderzochte bemonstering. Deze vaststelling kon vervolgens niet met een matchkansberekening of likelihood-ratio worden onderbouwd. Recent zijn er belangrijke ontwikkelingen geweest op het gebied van de forensische DNA-statistiek. Er zijn rekenmodellen ontwikkeld die rekening houden met het mogelijke ontbreken van DNA-kenmerken in het vastgestelde onvolledige DNA-(meng)profiel: zogenoemde 'probabilistische rekenmodellen'. Door gebruik te maken van software met deze rekenmodellen is het mogelijk om de bewijskracht te bepalen van matches met complexe DNA-profielen van minimale sporen ten aanzien van twee of meer hypothesen.

Probabilistische rekenmodellen

Er zijn grofweg twee typen rekenmodellen beschikbaar binnen de forensische DNA-statistiek. Dit betreffen (1) modellen die de hoogten van de vastgestelde pieken in een DNA-profiel meenemen bij het bepalen van de bewijskracht van een vastgestelde match en (2) modellen die de piekhoogten niet meewegen. De hoogten van de pieken in een DNA-profiel kunnen informatie geven over de relatieve hoeveelheid celmateriaal die donoren aan

een bemonstering hebben bijgedragen. Het eerste type modellen maakt dan ook gebruik van meer van de beschikbare informatie in het DNA-profiel. Modellen die hier geen gebruik van maken nemen alleen de aan- of afwezigheid van pieken in beschouwing.

De verschillende rekenmodellen (Balding 2013; Cowell e.a. 2013; Haned e.a. 2012; Perlin e.a. 2011; Puch-Solis & Clayton 2014; Taylor e.a. 2013) zullen, omdat ze allemaal verschillende onderliggende gegevens gebruiken, ook andere uitkomsten geven. Vergelijkingsstudies wijzen uit dat er aanzienlijke verschillen kunnen zijn in de bewijskracht berekend met verschillende modellen (Coble e.a. 2013). In het algemeen kan gesteld worden dat een model dat meer informatie meeweegt in de berekening, de bewijskracht nauwkeuriger kan bepalen. Dit betekent dat modellen die de hoogte van de pieken in het DNA-profiel meewegen gemiddeld een grotere bewijskracht hebben voor personen die ook daadwerkelijk donor zijn, dan modellen die geen piekhoogten beschouwen. Bovendien zullen personen die in werkelijkheid geen donor zijn bij modellen die de hoogte van de pieken in het DNA-profiel meewegen over het algemeen sterker worden uitgesloten als mogelijke donor.

Desondanks zijn modellen die geen piekhoogten meewegen goed toepasbaar in gevallen waar de bewijskracht al dermate groot is dat een meer verfijnde aanpak niet nodig is, of bij DNA-profielen waar de piekhoogte weinig of niet informatief is. In het laatste geval kan worden gedacht aan gelijke mengverhoudingen (alle celdonoren hebben ongeveer evenveel celmateriaal bijgedragen), of Low Copy Number (LCN) DNA-profielen waar de hoogte van de pieken zodanig sterk varieert – als gevolg van de gebruikte techniek – dat deze niet of weinig informatief is.

De verschillende modellen die momenteel beschikbaar zijn in forensisch DNA-onderzoek hebben allemaal voor- en nadelen. Deze worden steeds beter in kaart gebracht. Het ligt buiten het bestek van deze bijdrage om uitvoerig in te gaan op de technische details van de diverse modellen. Bovendien is de verwachting dat de ontwikkelingen in de komende jaren zullen doorzetten waardoor beperkingen worden overkomen en/of nieuwe rekenmodellen beschikbaar komen.

Bewijskracht in getallen of als deskundigenoordeel

Wanneer van een spoor een robuust DNA-(meng)profiel is verkregen, is het mogelijk om de kracht van het bewijs uit te drukken in een enkel getal. Dit kan dan worden geformuleerd in de vorm van een matchkans (bijvoorbeeld: de kans dat het DNA-profiel van een willekeurig persoon matcht met het DNA-(meng)profiel van het spoor is één op honderdduizend) of in de vorm van een likelihood-ratio-berekening (bijvoorbeeld: de resultaten van het DNA-onderzoek zijn honderdduizend maal waarschijnlijker wanneer het DNA afkomstig is van de verdachte, dan wanneer dit afkomstig is van een onbekende persoon die niet verwant is aan de verdachte).

Wanneer er sprake is van een minimaal spoor is het, als gevolg van meetonzekerheden, niet mogelijk een bewijskracht te geven in de vorm van een enkel getal. Dit komt doordat niet exact kan worden vastgesteld of, en zo ja hoeveel en welke DNA-kenmerken ontbreken in het DNA-profiel. Daarnaast zal het niet altijd mogelijk zijn om het aantal celdonoren in het mengsel met zekerheid vast te stellen. Er kan door de DNA-deskundige wel een berekende inschatting worden gemaakt van het aantal celdonoren en van de kans op het ontbreken van DNA-kenmerken in het DNA-profiel. Deze laatste kans is niet exact vast te stellen maar heeft een bepaalde bandbreedte. Bij het berekenen van de bewijskracht met de hierboven beschreven rekenmodellen, zal de uitkomst daarvan eveneens een bepaalde bandbreedte hebben. Laboratoria of deskundigen kunnen ervoor kiezen om ofwel een bandbreedte in getallen te rapporteren waarbinnen de bewijskracht valt (of de ondergrens hiervan te rapporteren – 'het resultaat is ten minste duizend maal waarschijnlijker ...'), ofwel de schatting van de ordegrrootte van de bewijskracht mee te wegen in een deskundigenoordeel. Dit laatste vertaalt zich dan naar een verbale formulering van de bewijskracht.

Internationaal worden door forensische instituten verschillende termen gehanteerd voor een verbaal oordeel. In Nederland wordt door het NFI gebruikgemaakt van een schaalverdeling met zes stappen die zijn gekoppeld aan een numeriek interval.⁵

Een dergelijk deskundigenoordeel wordt ook gegeven bij matches in het mitochondriaal en Y-chromosomaal DNA-onderzoek.

Bewijskracht van Y-chromosomaal en mitochondriaal (mtDNA) DNA-onderzoek

Y-chromosomaal DNA-onderzoek is op dezelfde techniek gebaseerd als het autosomaal DNA-onderzoek, met het belangrijke verschil dat alleen wordt gekeken naar DNA-kenmerken op het Y-chromosoom. Omdat alleen mannen een Y-chromosoom hebben, kan alleen van mannelijk celmateriaal een Y-chromosomaal DNA-profiel worden verkregen. Het Y-chromosoom wordt nagenoeg onveranderd overgedragen van vader op zoon. Dit betekent dat alle mannen in een mannelijke familielijn nagenoeg hetzelfde Y-chromosomale DNA-profiel bezitten. Voor het mitochondriaal DNA-onderzoek wordt een andere DNA-techniek toegepast om een DNA-profiel te verkrijgen (zie NFI-vakbijlage 2014). Deze techniek maakt overeenkomsten en verschillen zichtbaar op specifieke plaatsen in het mtDNA ten opzichte van een internationaal gebruikte referentie. Deze overeenkomsten en verschillen vormen samen het mtDNA-profiel. Net als bij het Y-chromosomale DNA erft het mtDNA nagenoeg onveranderd over. Echter niet van vader op zoon maar van moeder op haar vrouwelijke en mannelijke kinderen. Dit betekent dat iedereen in een bepaalde moederlijke lijn nagenoeg hetzelfde mtDNA-profiel heeft.

5. De DNA-deskundige van het NFI maakt bijvoorbeeld gebruik van de volgende reeks van waarschijnlijkheidstermen, met bijbehorend likelihood-ratio-interval: De bevindingen van het onderzoek zijn: – ongeveer even waarschijnlijk (1-2); – iets waarschijnlijker (2-10); – waarschijnlijker (10-100); – veel waarschijnlijker (100-10 000); – zeer veel waarschijnlijker (10 000-1 000 000); – extreem veel waarschijnlijker (> 1 000 000); wanneer hypothese I (of II) juist is, dan wanneer hypothese II (of I) juist is. Zie voor meer informatie over de door het NFI gebruikte reeks waarschijnlijkheidstermen de NFI-vakbijlage 'De reeks waarschijnlijkheidstermen van het NFI en het Bayesiaanse model voor interpretatie van bewijs' (www.forensischinstituut.nl/kenniscentrum/publicaties/vakbijlagen/).

Om de bewijskracht te bepalen van een vergelijkend Y-chromosomaal DNA-onderzoek of een vergelijkend mtDNA-onderzoek wordt eveneens de likelihood-ratiomethode gebruikt. Hiertoe stelt de DNA-deskundige in het geval van een Y-chromosomale match bijvoorbeeld de volgende hypothesen op:⁶

Hypothese I: de mannelijke component van het celmateriaal in de bemonstering is afkomstig van de verdachte.
Hypothese II: de mannelijke component van het celmateriaal in de bemonstering is afkomstig van een willekeurig gekozen, niet aan de verdachte verwante man.

En voor het vergelijkend mitochondriale DNA-onderzoek kunnen de volgende hypothesen worden gehanteerd:

Hypothese I: het celmateriaal in de bemonstering is afkomstig van de verdachte.

Hypothese II: het celmateriaal in de bemonstering is afkomstig van een willekeurig gekozen, niet in de moederlijke lijn aan de verdachte verwante persoon.

Op basis van een vergelijking van het verkregen Y-chromosomale of mitochondriale DNA-profiel met de DNA-profielen in verschillende anonieme databanken, waaronder de internationale YHRD-databank (www.yhrd.org) voor het Y-chromosomale DNA-onderzoek en de EMPOP-databank (www.empop.org) voor het mitochondriale DNA-onderzoek, wordt de relatieve zeldzaamheid van het Y-chromosomale of mitochondriale DNA-profiel bepaald. Met deze informatie wordt vervolgens de bewijskracht van de gevonden match bepaald. De vergelijking met de YHRD- en EMPOP-databanken kan alleen met enkelvoudige (onvolledige) Y-chromosomale of mitochondriale DNA-profielen. Vooralsnog bestaat er nog geen internationaal geaccepteerde methode voor het vaststellen van de bewijskracht van matches met Y-chromosomale of mitochondriale DNA-mengprofielen.

3. Probabilistische modellen en de DNA-databank

Het forensisch DNA-onderzoek richt zich bij opsporing met name op het vinden van mogelijke donoren van het celmateriaal in dit spoor. Het belangrijkste hulpmiddel hierbij is de Nederlandse DNA-databank voor strafzaken, en in het verlengde daarvan, de internationale vergelijking van DNA-profielen. Traditioneel worden alleen robuuste DNA-profielen die afkomstig zijn van één of twee personen opgenomen en vergeleken in de Nederlandse DNA-databank voor strafzaken. De reden hiervoor is dat de kans op toevallige matches bij zoekingen in een DNA-databank sterk toeneemt wanneer wordt gezocht met complexe DNA-mengprofielen. Daarnaast bestaat er een gerede kans dat donoren van celmateriaal in het mengsel worden gemist bij een zoekactie met complexere DNA-mengprofielen (waarbij een kans bestaat dat niet alle DNA-kenmerken van alle donoren zichtbaar zijn). Met probabilistische rekenmodellen is het in theorie mogelijk om complexe DNA-mengprofielen van sporen te vergelijken met de DNA-profielen van alle personen in een DNA-databank. Daarbij kan voor elke persoon afzonderlijk de bewijskracht van de resultaten van het vergelijkend DNA-onderzoek worden gegeven. Door deze

'bewijskracht' te rangschikken van hoog naar laag (boven een vooraf afgesproken grenswaarde) wordt aangegeven bij welke personen het DNA-profiel van het spoor 'het beste past'. Deze zoekstrategie is vergelijkbaar met de methodiek die wordt toegepast bij het zogenoemde 'familial searching' in de DNA-databank. Deze vorm van actief verwantschapsonderzoek is eerder beschreven in Meulenbroek e.a. 2013. Door middel van aanvullend DNA-onderzoek zal nog een groot aantal personen kunnen worden uitgesloten als mogelijke donor. Uiteindelijk zal de DNA-deskundige geen, een of enkele personen overhouden die niet kunnen worden uitgesloten als mogelijke donor(en). De persoonsgegevens kunnen dan aan de opdrachtgever worden gegeven met de bijbehorende 'bewijskracht' voor deze personen. Deze informatie kan mogelijk richtinggevend zijn voor het door de politie uitgevoerd tactisch en forensisch onderzoek. Op dit moment is de hier beschreven zoektechniek met probabilistische modellen nog in ontwikkeling. De verwachting is dat binnen enkele jaren deze theoretische mogelijkheid in Nederland toepasbaar wordt.

4. Het combineren van onderzoeksresultaten

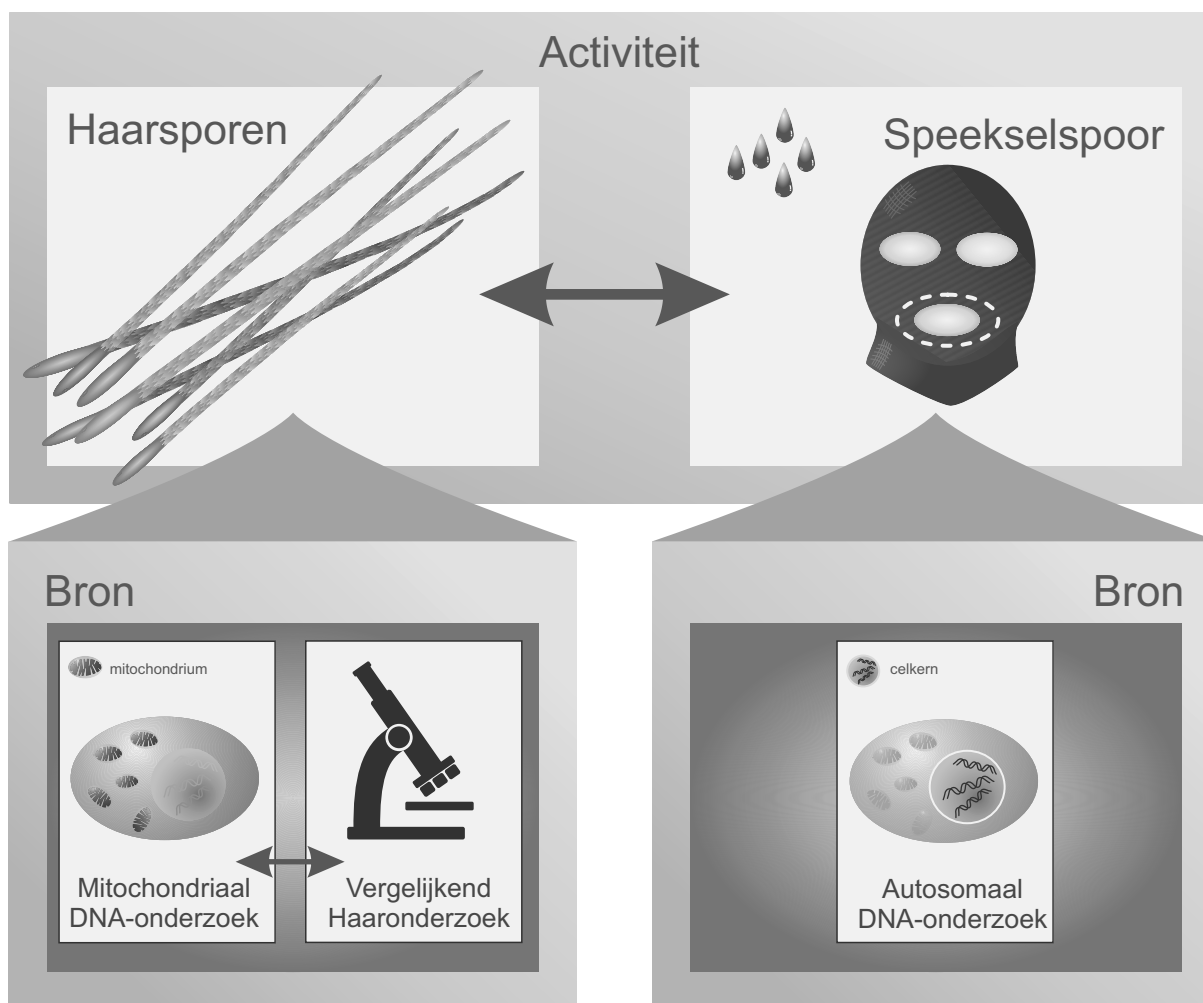
Voor een juiste waardering van de resultaten van een onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek worden deze resultaten in samenhang beschouwd. De hiernavolgende voorbeelden laten zien op welke wijze bevindingen van het forensisch onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek kunnen worden gecombineerd (zie ook figuur 1).

Combineren van onderzoeken aan één spoor

In een bivakmuts wordt een hoofdhaar aangetroffen. De vraag is of deze haar afkomstig is van een verdachte. Om op deze vraag een antwoord te kunnen geven wordt van de verdachte een referentiemonster hoofdharen afgenomen. De uiterlijke kenmerken van het haarspoor worden door de haardeskundige vergeleken met de uiterlijke kenmerken van de hoofdharen van de verdachte. Wanneer er geen autosomaal DNA-profiel kan worden bepaald van een haarspoor omdat er geen haarwortel aanwezig is, kan van het haarspoor wel een mitochondriaal DNA-profiel (mtDNA-profiel) worden bepaald dat door de DNA-deskundige wordt vergeleken met het mtDNA-profiel van de verdachte. Beide onderzoeken hebben betrekking op dezelfde vraag, namelijk: van wie is de haar afkomstig? Omdat het mtDNA met een grote mate van zekerheid afkomstig is van de haar, kunnen onder deze aanname (haar en mtDNA zijn afkomstig van dezelfde persoon) de onderzoeksresultaten worden gecombineerd door de resultaten van beide onderzoeken onder het volgende hypothesepaar te evalueren:
Hypothese I: de haar is afkomstig van de verdachte.
Hypothese II: de haar is afkomstig van een willekeurige andere persoon.

De haardeskundige en de DNA-deskundige zullen de resultaten van de beide onderzoeken combineren en in gezamenlijkheid rapporteren dat, bijvoorbeeld, de resultaten van het vergelijkend haaronderzoek en van het

6. Anders dan op het activiteitsniveau (zie deel 3 van dit drieluik), zal het op bronniveau doorgaans de deskundige zijn die in eerste instantie de hypothesen formuleert. Dit gebeurt op basis van de resultaten van het DNA-onderzoek en van gevonden 'matches' met DNA-profielen van betrokkenen. Vanzelfsprekend kunnen op verzoek andere hypothesen worden overwogen wanneer dit in de context van de zaak relevant is.



Figuur 1. Combineren van bewijsmiddelen op bron- of activiteitsniveau. Wanneer kan worden aangenomen dat twee sporen dezelfde bron hebben (voorafgaand aan, en niet op basis van het onderzoek!), dan kunnen de resultaten van het onderzoek aan de sporen op het niveau van de bron worden gecombineerd. In dit voorbeeld bijvoorbeeld wanneer sprake is van vergelijkend haaronderzoek en mitochondriaal DNA-onderzoek aan dezelfde haar (van wie is de haar afkomstig?). Wanneer er een mate van onzekerheid is over de bron (dezelfde of niet), dan kunnen de resultaten van een onderzoek uitsluitend op het niveau van de handeling (activiteitsniveau) worden gecombineerd. In het voorbeeld een haarspoor uit een bivakmuts en een bemonstering van speeksel rond de mondopening van de bivakmuts. Op dit niveau kunnen deze resultaten worden gecombineerd onder de vraag 'wie heeft de bivakmuts gedragen?'.

vergelijkend mtDNA-onderzoek samen 'veel waarschijnlijker' zijn wanneer hypothese I juist is, dan wanneer hypothese II juist is.

Het combineren van de onderzoeksresultaten van één spoor, waarvan kan worden aangenomen dat dit afkomstig is van dezelfde persoon, gebeurt dus op bronniveau. Op dezelfde wijze en met vergelijkbare aannamen kunnen bijvoorbeeld de bevindingen van een vergelijkend vingerspooronderzoek en een vergelijkend DNA-onderzoek worden gecombineerd wanneer het DNA-profiel is verkregen van een bemonstering van het vingerspoor, of wanneer van een bloedspoor zowel een autosomaal DNA-profiel als een Y-chromosomaal DNA-profiel is verkregen (De Zoete e.a. 2014).

Combineren van onderzoeken aan verschillende sporen

Stel dat op een bivakmuts speeksel wordt aangetroffen waarvan het DNA-profiel matcht met het DNA-profiel van een verdachte. In dezelfde bivakmuts is tevens een

haarspoor aangetroffen waarvan (zoals in het voorbeeld hierboven) is vastgesteld dat dit met een bepaalde bewijskracht kan worden gerelateerd aan de verdachte. De resultaten van de onderzoeken aan beide sporen kunnen niet zonder meer worden gecombineerd om tot een sterkere bewijskracht op bronniveau te komen. Het is (voorafgaand aan het DNA-onderzoek) allerm minst zeker dat het speekselspoor en de haar van dezelfde persoon afkomstig zijn. Wanneer a priori niet kan worden aangenomen dat twee (of meer) sporen van dezelfde donor afkomstig zijn, kunnen de resultaten van het onderzoek aan deze sporen wel worden gecombineerd op het activiteitsniveau. Daarbij kunnen de onderzoeksresultaten van de verschillende sporen worden geëvalueerd onder een hypothesepaar dat betrekking heeft op *handelingen* die tot een sporenbeeld hebben geleid.

Relatie tussen een persoon en een voorwerp

Wanneer de onderzoeksvraag uitsluitend betrekking heeft op het vaststellen van een relatie tussen een persoon en een voorwerp (is er DNA van deze persoon op

de bivakmuts aanwezig?) zal de DNA-deskundige, wanneer van de bivakmuts verschillende bemonsteringen zijn genomen, doorgaans voor slechts een van deze sporen (het meest informatieve spoor) de bewijskracht bepalen en rapporteren. Het vaststellen van de bewijskracht voor de andere aangetroffen sporen heeft meestal geen meerwaarde voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag. De waarde van het aantreffen van meer dan een spoor op het voorwerp kan pas worden vastgesteld wanneer de onderzoeksresultaten worden beschouwd op activiteitsniveau.

Vraagstellingen op bronniveau hebben betrekking op de aan- of afwezigheid van celmateriaal van een persoon op een voorwerp of op een andere persoon. Meer matches tussen het DNA-profiel van de verdachte en de DNA-profielen van hetzelfde voorwerp of dezelfde persoon maken het bewijs op bronniveau (van wie is het DNA?) niet vanzelfsprekend sterker. Dit kan worden ervaren als tegenintuïtief, daarom volgt hier een voorbeeld.

Een vrouw doet aangifte van een overval. Bij deze overval moest zij haar tas afgeven aan de dader. Deze man heeft haar tas doorzocht en haar portemonnee en telefoon meegenomen. De tas heeft hij vervolgens bij haar achtergelaten.

De tas wordt ingestuurd voor een DNA-onderzoek. Hierbij worden drie bemonsteringen van de tas genomen, namelijk van de schouderband, de handvatten en de rits. Van deze bemonsteringen worden DNA-mengprofielen verkregen van twee of drie personen. Het DNA-profiel van het slachtoffer matcht. Omdat het haar tas is, wordt aangenomen dat een deel van het DNA in de bemonsteringen afkomstig is van het slachtoffer zelf.

Intussen wordt een verdachte aangehouden. Zijn DNA wordt afgenomen en naar het forensisch laboratorium gestuurd met het verzoek om een DNA-profiel op te stellen en dit te vergelijken met de DNA-profielen van de tas.

De DNA-deskundige vergelijkt het DNA-profiel van de verdachte met de DNA-profielen van de tas. De deskundige stelt vast dat de verdachte niet kan worden uitgesloten als mogelijke donor van celmateriaal in de drie bemonsteringen. Hierop selecteert de DNA-deskundige het meest informatieve DNA-mengprofiel en bepaalt hiervoor de bewijskracht ten aanzien van de desbetreffende verdachte. Voor de twee andere sporen rekent de deskundige vooralsnog geen bewijskracht uit. De vraag is immers of er DNA van de verdachte op de tas aanwezig is. Daarom wordt alleen voor het meest informatieve DNA-profiel de bewijskracht gegeven.

Het berekenen van de bewijskracht voor de andere twee sporen heeft mogelijk wel waarde wanneer het sporenbeeld in samenhang wordt beschouwd. Dit gebeurt wanneer er verklaringen moeten worden getoetst over de wijze waarop celmateriaal op de tas terecht is gekomen. Scenario's over de wijze waarop celmateriaal ergens terecht is gekomen hebben echter betrekking op het 'activiteitsniveau' (zie deel 3 van dit drieluik).

5. Van bronsubniveau naar bronniveau

In de wetenschappelijke literatuur worden onderzoeksvragen en resultaten van DNA-onderzoek die uitsluitend betrekking hebben op de herkomst van een spoor – de

'DNA-match' – ook wel aangeduid met de term 'bronsubniveau'. Vragen op dit niveau worden beantwoord met het hierboven beschreven vergelijkend DNA-onderzoek. In voorkomende gevallen is echter nadere duiding nodig met betrekking tot de aard van het celmateriaal waaruit het DNA afkomstig is. Er wordt dan getracht een koppeling te maken tussen het DNA en het soort celmateriaal (bloed, speeksel, sperma, enz.) waar het DNA uit afkomstig is.

Een juwelierszaak in een drukke winkelstraat wordt overvallen. De juwelier verzet zich en raakt hierbij gewond. De daders slaan een vitrine in, maar vluchten uiteindelijk zonder buit. Op de vluchtroute wordt kort na het delict een bivakmuts op straat aangetroffen. De opdrachtgever verzoekt de DNA-deskundige de bivakmuts te onderzoeken op de aanwezigheid van humaan celmateriaal, om de aard van het celmateriaal vast te stellen en om te onderzoeken van wie het celmateriaal afkomstig is.

De bivakmuts wordt onderzocht op de aanwezigheid van speeksel. Hierbij wordt een aanwijzing verkregen voor de aanwezigheid van speeksel. Deze plaats op de bivakmuts wordt bemonsterd.

De bemonstering wordt onderworpen aan een DNA-onderzoek. De deskundige concludeert omtrent het DNA-onderzoek als volgt:

'Van het celmateriaal in de bemonstering is een DNA-profiel verkregen van een man. Dit DNA-profiel matcht met het DNA-profiel van de verdachte. De kans dat het DNA-profiel van een willekeurig gekozen man matcht met dit DNA-profiel is kleiner dan één op één miljard.'

De vraag is nu of het aan de verdachte gekoppelde celmateriaal in de bemonstering van de bivakmuts speeksel betreft (wanneer wordt aangenomen dat de bemonstering speeksel bevat). In dit voorbeeld is de koppeling tussen de donor van het DNA en van het speeksel met een hoge mate van zekerheid te maken. De kans dat van een spoor waarin speeksel is gedetecteerd geen DNA-profiel wordt verkregen is klein. Bovendien zijn er geen aanwijzingen verkregen voor de aanwezigheid van DNA van meer dan één persoon.

In andere gevallen ligt de associatie niet of minder voor de hand en kan deze soms niet (of slechts met een zeer lage mate van waarschijnlijkheid) worden gemaakt. Dit doet zich bijvoorbeeld voor in het geval van (complexe) mengsels van DNA en de mogelijke aanwezigheid van verschillende celtypen in de bemonstering. We nemen als voorbeeld weer de bivakmuts. De bivakmuts is aan de binnenzijde bemonsterd rondom de mondopening. In de bemonstering is speeksel aangetroffen. Van het DNA in de bemonstering is een DNA-mengprofiel verkregen waarin DNA-kenmerken zichtbaar zijn van ten minste drie personen. Het DNA-profiel van de verdachte matcht met het DNA-mengprofiel. Van wie is nu het speeksel? Is het speeksel van de verdachte (aangenomen dat vaststaat dat het daadwerkelijk DNA van de verdachte is) of van een van de andere personen? Of hebben alle drie de celdonoren speeksel bijgedragen? Bij dit soort resultaten kan de DNA-deskundige slechts in uitzonderlijke gevallen

een categorische uitspraak doen over de herkomst van een specifiek type celmateriaal (de associatie van het DNA met het celtipe). Een dergelijke situatie doet zich bijvoorbeeld voor wanneer het geslachtsgebonden celtypen als sperma of vaginaal epitheel betreft en slechts van één donor van het desbetreffende geslacht DNA in de bemonstering aanwezig is.

Vaak wordt niet expliciet onderscheid gemaakt tussen het bronsubniveau en het bronniveau, maar worden beide onder de laatstgenoemde term geplaatst. Het verschil in niveau wordt duidelijk door het gebruik van termen als 'het DNA kan afkomstig zijn van ...' of 'het celmateriaal kan afkomstig zijn van ...' in een conclusie op bronsubniveau, in tegenstelling tot het specifiek noemen van het soort celmateriaal, zoals 'het bloed kan afkomstig zijn van ...' bij een conclusie op bronniveau. In veel zaken heeft de aard van het celmateriaal echter geen of slechts beperkte toegevoegde waarde ten opzichte van een DNA-match tussen een persoon en een spoor. Het feit dat celmateriaal van een persoon is aangetroffen is veelal voldoende informatief voor het vaststellen van de relatie tussen een persoon en een voorwerp.

6. Literatuurlijst

Balding 2013

D.J. Balding, 'Evaluation of mixed-source, low-template DNA profiles in forensic science', *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 2013, 110, p. 12241-12246.

Balding & Buckleton 2009

D.J. Balding & J. Buckleton, 'Interpreting low template DNA profiles', *Forensic Science International: Genetics* 2009, 4, p. 1-10.

Ballantyne e.a. 2012

K.N. Ballantyne e.a., 'A new future of forensic Y-chromosome analysis: rapidly mutating Y-STRs for differentiating male relatives and paternal lineages', *Forensic Science International: Genetics* 2012, 6, p. 208-218.

Coble & Butler 2013

M.D. Coble & J.M. Butler, 'An investigation of software programs using "drop-out" and "continuous" methods for complex mixture interpretation'. Presented at the meeting of the International Society for Forensic Genetics in Melbourne, Australia.

Cowell e.a. 2013

R.G. Cowell e.a., 'Analysis of forensic DNA mixtures with artefacts', *arXiv preprint arXiv:1302.4404* 2013.

Dror & Hampikian 2011

I.E. Dror & G. Hampikian, 'Subjectivity and bias in forensic DNA mixture interpretation', *Science & Justice* 2011, 51, p. 204-208.

Gill e.a. 2006

P. Gill e.a., 'DNA commission of the International Society of Forensic Genetics: Recommendations on the interpretation of mixtures', *Forensic Science International* 2006, 160, p. 90-101.

Gill e.a. 2012

P. Gill e.a., 'DNA commission of the International Society of Forensic Genetics: Recommendations on the evaluation of STR typing results that may include drop-out and/or drop-in using probabilistic methods', *Forensic Science International: Genetics* 2012, 6, p. 679-688.

Haned, Slooten & Gill 2012

H. Haned, K. Slooten & P. Gill, 'Exploratory data analysis for the interpretation of low template DNA mixtures', *Forensic Science International: Genetics* 2012, 6, p. 762-774.

Kloosterman & Meulenbroek 2008

A.D. Kloosterman & A.J. Meulenbroek, 'DNA-onderzoek van minimale biologische sporen; "gevoelige problematiek"', *EeR* 2008, afl. 4, p. 108-120.

Krane e.a. 2008

D. Krane e.a., 'Sequential unmasking: A means of minimizing observer effects in forensic DNA interpretation', *Journal of Forensic Sciences* 2008, 53, p. 1006-1007.

Meulenbroek 2009

A.J. Meulenbroek, *De essenties van forensisch biologisch onderzoek; humane biologische sporen en DNA*, Zutphen: Uitgeverij Paris 2009.

Meulenbroek, Kloosterman & De Blaeij 2009

A.J. Meulenbroek, A.D. Kloosterman & T.J.P. de Blaeij, 'Richtlijnen borgen onbevooroordeeld DNA-onderzoek; Stapsgewijze benadering voorkomt "post hoc target shifting"', *EeR* 2009, afl. 5/6, p. 119-129.

Meulenbroek e.a. 2012

A.J. Meulenbroek e.a., 'DNA-verwantschapsonderzoek in de strafrechtpraktijk', *EeR* 2012, afl. 2, p. 55-82.

Mitchell 2012

A.A. Mitchell e.a., 'Validation of a DNA mixture statistics tool incorporating allelic drop-out and drop-in', *Forensic Science International: Genetics* 2012, 6, p. 749-761.

NFI-vakbijlage 2014

NFI-vakbijlage 'Humaan mitochondriaal DNA-onderzoek', versie 1.0, mei 2014 (www.forensischinstituut.nl/kenniscentrum/publicaties/vakbijlagen/).

Perlin e.a. 2011

M.W. Perlin e.a., 'Validating TrueAllele® DNA Mixture Interpretation', *Journal of Forensic Sciences* 2011, 56, p. 1430-1447.

Puch-Solis & Clayton 2014

R. Puch-Solis & T. Clayton, 'Evidential evaluation of DNA profiles using a discrete statistical model implemented in the DNA LiRa software', *Forensic Science International: Genetics* 2014, 11, p. 220-228.

Taylor, Bright & Buckleton 2013

D. Taylor, J.-A. Bright & J. Buckleton, 'The interpretation of single source and mixed DNA profiles', *Forensic Science International: Genetics* 2013, 7, p. 516-528.

De Zoete e.a. 2014

J. de Zoete e.a., 'The combined evidential value of autosomal and Y-chromosomal DNA profiles obtained from the same sample', *International Journal of Legal Medicine* 2014, 128, p. 897-904.

Bewijskracht van onderzoek naar biologische sporen en DNA

Deel 3. Activiteitsniveau

Dit is het derde deel van een drieluik waarin de theorie voor criminalistische interpretatie en evaluatie van forensisch onderzoek en de toepassing daarvan door DNA-deskundigen voor het voetlicht worden gebracht. Met deze bijdragen willen wij duidelijk maken hoe 'de waarde van DNA-bewijs' wordt toegekend, en hoe de bewijskracht geïnterpreteerd wordt volgens de huidige, internationaal geaccepteerde, forensisch-wetenschappelijke inzichten. In dit derde deel wordt de interpretatie van DNA-resultaten behandeld in de context van een strafzaak om zo antwoord te krijgen op de vraag of het verkregen sporenbeeld informatie kan leveren over de handelingen die tot het sporenbeeld hebben geleid. Deze interpretatie op het activiteitsniveau kan een cruciale stap zijn in een zaak om tot een juiste waardering van de resultaten van een forensisch DNA-onderzoek te komen. In dit deel worden de gehanteerde werkwijze (zoals beschreven in deel 1) en de rol van de DNA-deskundige daarin nader uitgewerkt.

1. Het evalueren van de resultaten van een onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek op activiteitsniveau: benodigde informatie

Een juwelierszaak in een drukke winkelstraat wordt overvallen. De juwelier verzet zich en raakt hierbij gewond. De daders slaan een vitrine in, maar vluchten uiteindelijk zonder buit. Op de vluchtroute wordt kort na het delict een bivakmuts op straat aangetroffen. Van celmateriaal in de bivakmuts wordt een DNA-profiel verkregen van een man. Dit DNA-profiel wordt middels de DNA-databank gekoppeld aan een persoon.

Het strafrechtelijk onderzoek richt zich op deze persoon, die vervolgens als verdachte wordt aangemerkt. Over de bivakmuts verklaart de verdachte: 'Die bivakmuts is niet van mij, ik heb dat ding nooit eerder gezien!' Op de vraag van de politie hoe hij kan verklaren dat zijn DNA in de bivakmuts is aangetroffen verklaart de verdachte: 'Ik kom vaak in die winkelstraat. Ik heb de gewoonte om regelmatig op straat te spugen. Misschien heeft er speeksel van mij op de plek gelegen waar de dader de bivakmuts heeft neergegooid.'

Wanneer binnen een zaak wordt betwist wat er is gebeurd, kan een evaluatie van de resultaten van het forensisch (DNA-)onderzoek in de context van de zaak van meerwaarde zijn om te beoordelen welk voorliggend scenario het meest aannemelijk is. Beide partijen, het Openbaar Ministerie (OM) en de verdediging, hebben een verklaring voor het aangetroffen sporenbeeld. Hoewel beide verklaringen a priori mogelijk zijn, zullen de resultaten van het forensisch DNA-onderzoek mogelijk niet in beide gevallen even waarschijnlijk zijn. De vraag die in deze fase van het strafrechtelijk onderzoek voorligt is daarom: hoe waarschijnlijk zijn de resultaten van het onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek in het licht van de voorliggende verklaringen? Daarbij

is het van belang dat deze onderzoeksresultaten op de juiste manier worden gewaardeerd. Dit vergt doorgaans specialistische kennis over onder meer de kans op overdracht, persistentie en achtergrondniveaus van celmateriaal. Daarom wordt een dergelijke evaluatie bij voorkeur uitgevoerd door vakinhoudelijke deskundigen. De benodigde expertise is niet noodzakelijkerwijs onderdeel van de kennisbasis van een DNA-deskundige. Ook het Nederlands Register Gerechtelijk Deskundigen (NRGD) maakt duidelijk dat een onderscheid wordt gemaakt. Vooralsnog zijn de DNA-deskundigen in dit register uitsluitend ingeschreven onder het deskundigheidsgebied '001.1 DNA-analyse en -interpretatie – bronniveau'. Voor interpretatie en evaluatie van de resultaten van een forensisch DNA-onderzoek op activiteitsniveau is (naast kennis van het forensisch onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek) onder meer specifieke expertise vereist op het gebied van criminalistiek en Bayesiaanse statistiek – en van de toepassing daarvan – in het vakgebied.

De onderzoeksvraag

Voor een zinvolle evaluatie van het sporenbeeld is een duidelijke vraagstelling noodzakelijk. Vragen geformuleerd als 'kunt u uitsluiten dat ...?' of 'wat is de kans dat ...?' zijn door de deskundige te beantwoorden, maar leveren geen bijdrage aan een evenwichtige waardering van het bewijs. Er zijn vaak vele verklaringen denkbaar voor een aangetroffen sporenbeeld, die geen van alle categorisch kunnen worden uitgesloten. Dit betekent echter niet dat de resultaten van het onderzoek even waarschijnlijk zijn onder alle denkbare scenario's, of dat deze scenario's a priori even waarschijnlijk zijn (zie ter illustratie ook De Groot 2010). In de bijdrage van de deskundige moet de nadruk liggen op de waarschijnlijkheid van de waarnemingen gegeven het scenario. De deskundige zal daarom bij dergelijke vraagstellingen

* Dr. B. Kokshoorn, dr. L.H.J. Aarts, drs. ing. T.J.P. de Blaeij, dr. P.A. Maaskant-van Wijk en drs. B.J. Blankers zijn deskundigen op het gebied van forensisch onderzoek van humane biologische sporen en DNA en werkzaam bij het Nederlands Forensisch Instituut (NFI). Er is een groot aantal personen betrokken geweest bij de totstandkoming van dit artikel. Wij zijn allen daarvoor zeer erkentelijk. Met name willen wij prof. dr. C.E.H. Berger (Principal scientist, NFI; bijzonder hoogleraar criminalistiek, Universiteit Leiden), prof. dr. M. Sjerps (Principal scientist, NFI; bijzonder hoogleraar Forensische statistiek, Universiteit van Amsterdam) en drs. J. de Koeijer (Teamleider Interdisciplinair Forensisch Onderzoek (IDFO), NFI) zeer hartelijk danken voor de waardevolle discussies en voor hun constructieve commentaar op eerdere versies van dit manuscript.

met de opdrachtgever contact opnemen om tot een vraagstelling te komen die past binnen het wetenschappelijke kader voor evaluatie van forensisch bewijs (zoals beschreven in deel 1 van dit drieluik).

Uit de voorliggende scenario's dient de kernvraag te worden geformuleerd. Deze kernvraag heeft specifiek betrekking op een of meer handelingen die onder de twee scenario's (doorgaans van enerzijds het OM en anderzijds de verdediging) worden betwist. De bevindingen van het forensisch DNA-onderzoek kunnen worden getoetst wanneer de kernvraag in de vorm van hypothesen aan de deskundige wordt voorgelegd. Wanneer de kernvraag in de zaak duidelijk is, wordt door de deskundige in eerste instantie beoordeeld of (a) de voorgelegde hypothesen zodanig zijn geformuleerd dat deze toetsbaar zijn. Wanneer aan deze voorwaarde is voldaan wordt (b) aanvullende, specifieke contextinformatie opgevraagd die naar het oordeel van de deskundige noodzakelijk is om de evaluatie van het sporenbeeld te kunnen uitvoeren.

Wanneer de benodigde contextinformatie is ontvangen wordt een inventarisatie gemaakt, waarbij wordt beoordeeld (c) wat de mogelijke uitkomsten van het onderzoek kunnen zijn, (d) wat de waarschijnlijkheden zijn die horen bij de mogelijke uitkomsten van het onderzoek onder de zaaksspecifieke omstandigheden en de mate waarin het onderzoek onderscheid kan maken tussen de voorliggende hypothesen, en (e) of het reeds uitgevoerde onderzoek voldoende informatie levert voor een robuuste evaluatie op activiteitsniveau. Wanneer dit laatste niet het geval is wordt in overleg met de opdrachtgever bepaald of, en zo ja welk, aanvullend onderzoek wenselijk is.

Uit bovenstaande volgt dat er drie elementen zijn die door de opdrachtgever in samenspraak met de deskundige dienen te worden overwogen: (a) het opstellen van de hypothesen volgend uit de voorliggende scenario's, (b) het ter beschikking stellen van benodigde contextinformatie, en (e) bepalen of (en zo ja, welk) aanvullend onderzoek gewenst is. Deze drie stappen in het 'case-assessment' zijn dus nadrukkelijk een samenspel tussen de opdrachtgever en de deskundige. In de praktijk blijkt het doorgaans praktisch om met name punt (a) en (b) in een gezamenlijk overleg te behandelen. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van een forensisch consult of, meer formeel, in een zitting bij de (onderzoeks)rechter. De elementen (a) tot en met (e) worden hieronder aan de hand van de casus met de bivakmuts behandeld.

a. Het opstellen van hypothesen

Om een goede evaluatie te kunnen uitvoeren dient de deskundige de beschikking te hebben over minimaal één paar, *elkaaruitsluitende* hypothesen waarin de betwiste *handeling(en)* zijn beschreven. In de praktijk zullen rechters zich direct een beeld vormen over de plausibiliteit van de hypothesen. Ingeval een hypothese, op grond van feiten uit het strafdossier of op grond van 'feiten van algemene bekendheid', door de rechter als zeer onwaarschijnlijk wordt gekwalificeerd, kan deze op basis hiervan buiten beschouwing worden gelaten. Een nadere evaluatie van het sporenbeeld door de forensisch deskundige onder een dergelijke hypothese is dan

doorgaans niet zinvol. Maar ook wanneer beide hypothesen als plausibel worden beoordeeld, zal de rechter (op grond van de overige informatie in de zaak) een inschatting moeten maken van de waarschijnlijkheid van de voorliggende hypothesen (de a-priori-kansverhouding) op grond van zijn kennis van het strafdossier, zijn ervaring en zijn gezond verstand (Berger & Aben 2010). De DNA-deskundige geeft in zijn evaluatie aan bij welke hypothese de onderzoeksresultaten het beste passen. De deskundige rapporteert de kracht van het bewijs in de vorm van de LR; de kans op het aangetroffen sporenbeeld wanneer de ene hypothese (bijvoorbeeld die van het OM) waar is, gedeeld door de kans op het sporenbeeld wanneer de andere hypothese (bijvoorbeeld die van de verdediging) waar is. Aan de hand van de LR kan de rechter zijn oorspronkelijke inschatting van de waarschijnlijkheden (de a-priori-kansverhouding) van de hypothesen bijstellen (en komen tot een a-posteriori-kansverhouding).

De hypothesen die bij de evaluatie op activiteitsniveau worden gebruikt moeten aan een aantal voorwaarden voldoen. Ten eerste moeten de hypothesen wederzijds uitsluitend zijn. Dat wil zeggen dat als hypothese I waar is, hypothese II niet ook waar kan zijn, en vice versa. Dit is van belang omdat een forensisch sporenonderzoek anders geen onderscheid zal kunnen maken tussen de twee hypothesen. Ten tweede verwijzen de hypothesen op activiteitsniveau bij voorkeur niet naar specifieke bemonsteringen of onderzoeksresultaten, maar beschrijven elk een duidelijke (set) handeling(en) met betrekking tot dat wat er volgens de beide partijen is gebeurd. Op dit niveau staat immers niet de herkomst van het spoor zelf centraal (zoals op bronniveau), maar draait de evaluatie om de handeling(en) die tot het sporenbeeld heeft (hebben) geleid.

Het belang van deze voorwaardelijkheid wordt geïllustreerd aan de hand van de casus met de bivakmuts. Op basis van het geschetste scenario zouden het OM en de verdediging kunnen uitkomen op de volgende twee hypothesen:

Hypothese I: het celmateriaal van de verdachte is op de bivakmuts terechtgekomen doordat hij de bivakmuts heeft gedragen.

Hypothese II: het celmateriaal van de verdachte is op de bivakmuts terechtgekomen doordat er vers speeksel van de verdachte op straat lag, waarna de bivakmuts daarop terecht is gekomen.

De hypothesen beperken zich hier tot het celmateriaal van de verdachte in één specifieke bemonstering van de bivakmuts. De rechter zal zich a priori een beeld vormen van de waarschijnlijkheid van de hypothesen. Stel dat hij op voorhand de kans dat hypothese II waar is beduidend lager inschat dan dat hypothese I waar is. De deskundige beoordeelt de resultaten van het onderzoek onder de beide hypothesen wanneer deze hypothesen waar zouden zijn en wel op de volgende wijze. Als hypothese I waar is, dan is de kans op het aantreffen van celmateriaal van de verdachte op de bivakmuts zeer groot; als hypothese II waar is (er *ligt* vers speeksel op straat en de bivakmuts *is* daarop terechtgekomen), dan is de kans op het aantreffen van celmateriaal van de verdachte op de bivakmuts (zeer) groot. De evaluatie

door de deskundige levert in dit geval geen of slechts een gering onderscheid op tussen de beide hypothesen. De rechter zal zijn vooraf bepaalde (a-priori-)inschatting van de kansverhouding niet of nauwelijks behoeven bij te stellen. De uiteindelijke (a-posteriori-)kansverhouding wordt derhalve grotendeels bepaald door de kans dat de bivakmuts precies daar terecht komt waar vers speeksel van de verdachte lag. Deze kans is door de rechter op voorhand ingeschat als bijzonder klein en blijft ook na de evaluatie door de DNA-deskundige bijzonder klein. De kernvraag in casu is of de bivakmuts ten tijde van het delict door de verdachte is gedragen of niet. De geformuleerde hypothesen zijn dan ook te nauw omschreven omdat deze zich beperken tot het reeds aangetroffen celmateriaal. De mogelijkheden tot het verrichten van aanvullend onderzoek worden hiermee onnodig beperkt. Daar komt bij dat de voorgelegde hypothesen niet wederzijds uitsluitend zijn. De verdachte kan immers de bivakmuts hebben gedragen en vervolgens op straat hebben gegooid waar tevens speeksel van hem lag. Beide hypothesen zijn gelijktijdig mogelijk en daarom niet zinvol om te evalueren.

Het is daarnaast zaak de hypothesen zodanig te formuleren dat zij zich richten op de kernvraag. Een betere en meer evenwichtige evaluatie wordt daarom mogelijk gemaakt wanneer de hypothesen als volgt worden geformuleerd:

Hypothese Ib: de verdachte droeg de bivakmuts ten tijde van de overval.

Hypothese IIb: iemand anders droeg de bivakmuts ten tijde van de overval en heeft deze op straat gegooid waar deze in speeksel van de verdachte terecht kwam. De verdachte heeft de muts nooit aangeraakt.

Deze hypothesen zijn (1) wederzijds uitsluitend (indien wordt aangenomen dat, ook wanneer er meer daders bij het delict betrokken waren, slechts één persoon tijdens de overval de bivakmuts heeft gedragen), en (2) bevatten een duidelijke handeling met betrekking tot het delict (het dragen van de bivakmuts tijdens het delict) en beperken zich niet tot een bepaalde (locatie van een) bemonstering of celtype.

Het kan natuurlijk voorkomen dat een verdachte geen verklaring heeft voor het aantreffen van zijn DNA, of stellig ontkent iets met het delict van doen te hebben. In beide gevallen kan, wanneer een evaluatie van bevindingen toch gewenst is, voor eenzelfde alternatieve hypothese worden gekozen: 'de verdachte heeft geen betrokkenheid bij de handeling' (Evetts e.a. 2000). In dergelijke gevallen zal met name de relatie tussen de verdachte en het voorwerp of de locatie van belang zijn voor het inschatten van de kans op de aanwezigheid van zijn celmateriaal als 'achtergrond DNA'. Die informatie is doorgaans wel voorhanden. Ook de kans op contaminatie van het spoor bij het onderzoek op de plaats-delict of in het laboratorium speelt hierbij een belangrijke rol.

Aannamen

Bij de evaluatie van de onderzoeksresultaten moeten naast het formuleren van hypothesen ook aannamen worden gedaan. Een van de aannamen die in het bovenstaande voorbeeld worden gedaan is dat de bivakmuts

daadwerkelijk door de dader bij de overval is gedragen. Een andere aanname die doorgaans ten behoeve van de evaluatie wordt gemaakt, is dat het celmateriaal op de bivakmuts (waarvan het DNA-profiel *matcht* met dat van de verdachte) daadwerkelijk afkomstig is van de verdachte. Alle aannamen die ten behoeve van de evaluatie worden gedaan zijn van invloed op de uitkomst van de evaluatie en dienen daarom in de rapportage te worden vermeld. Voor een evaluatie van het sporenbeeld is evenwel meer informatie nodig, met name over datgene wat er met de bivakmuts is gebeurd en over de (indirecte) relatie van de verdachte met de bivakmuts. De deskundige zal de opdrachtgever daarom ook verzoeken om meer contextinformatie.

b. Het ter beschikking stellen van benodigde contextinformatie

Het tweede punt dat de deskundige zal beschouwen tijdens een inventarisatie is of er voldoende contextinformatie aanwezig is met betrekking tot de voorliggende hypothesen en het (de) onderzoeksitem(s). Het is daarbij niet wenselijk dat de deskundige die de evaluatie uitvoert inzage krijgt in grote delen van het strafdossier en/of volledige schriftelijke verklaringen van betrokken personen. Vanuit het strafdossier kan de deskundige namelijk informatie verkrijgen die hem (onbewust) kan sturen bij de evaluatie. Deze zogenaamde contextbias is een reëel gevaar, reden waarom er maatregelen dienen te worden getroffen om de kans hierop te beperken (Stoel e.a. 2014). Een van deze maatregelen betreft het zo veel als mogelijk vermijden van communicatie tussen de opdrachtgever en de deskundige die de evaluatie uitvoert. Het zal in de praktijk daarom kunnen voorkomen dat de correspondentie met de opdrachtgever omtrent het opstellen van hypothesen en het verzamelen van benodigde contextinformatie door deskundige A wordt gevoerd, terwijl de evaluatie en rapportage door deskundige B worden uitgevoerd. Op basis van de tot stand gekomen hypothesen zal de deskundige beoordelen welke specifieke informatie noodzakelijk is. Doorgaans betreft dit informatie over de relaties tussen betrokken personen, relaties tussen betrokken personen en de onderzochte (of nog te onderzoeken) sporen(dragers) en over dat wat er met de sporen(dragers) is gebeurd voorafgaand aan en volgend op de delictgerelateerde handelingen. Op grond van deze informatie maakt de deskundige een inschatting van de kansen op achtergrondniveaus van celmateriaal, op overdracht van celmateriaal, op persistentie van sporen en op detectie van sporen bij de verschillende (betwiste en onbetwiste) handelingen.

In de hierboven beschreven casus is het onder meer van belang dat de deskundige die de evaluatie uitvoert informatie krijgt over de minimale duur van het dragen van de bivakmuts bij de overval (hetgeen van invloed is op de kans dat celmateriaal van de drager is overgedragen op de bivakmuts bij het dragen tijdens het delict), de verstreken tijd tussen de overval en het aantreffen van de bivakmuts en de omstandigheden waarin de bivakmuts werd aangetroffen (slechte omstandigheden zoals regen kunnen de kans op het aantreffen van sporen sterk verminderen), maar ook de laatste keer dat de verdachte in de winkelstraat was in de tijd voorafgaand aan het

delict (hoe groot is de kans dat het speeksel dat op straat lag nog vloeibaar was?).

Pas na ontvangst van de benodigde informatie kan de deskundige in overleg met de opdrachtgever de overige voorwaarden toetsen; is het reeds bekende sporenbeeld voldoende informatief, of kan aanvullend forensisch onderzoek leiden tot een uitgebreider sporenbeeld dat meer onderscheidend is ten aanzien van het voorliggende hypothesepaar?

c en d. Het bepalen van de mogelijke uitkomsten van forensisch onderzoek

De deskundige bepaalt zijn verwachtingen met betrekking tot het sporenbeeld als hypothese 1b waar is: welke sporen verwacht ik aan te treffen en met (ongeveer) welke kans wanneer de verdachte de bivakmuts ten tijde van de overval heeft gedragen? Dit wordt ook gedaan onder de aanname dat hypothese 1b waar is. Bij de beschouwing is het nadrukkelijk ook van belang om de waarde van de *afwezigheid* van specifieke sporen mee te wegen. Door deze punten met elkaar te vergelijken wordt duidelijk welke sporen meerwaarde hebben voor de evaluatie in het geval dat deze al dan niet zouden worden aangetroffen. Bij deze inventarisatie kijkt de deskundige ook over de grenzen van zijn eigen vakgebied heen. Andere deskundigheidsgebieden kunnen worden geconsulteerd om duidelijkheid te krijgen over de eventuele toegevoegde waarde van bijvoorbeeld bloedspoorpatroononderzoek, of onderzoek naar haren, vezels of glas op de bivakmuts.

In het eerder in dit artikel aangehaalde uitgevoerde (opsporings)onderzoek naar de dader van de mislukte overval op de juwelier is de bivakmuts aan de binnenzijde bemonsterd. De bemonstering had tot doel om het DNA van diegene(n) die de bivakmuts heeft (hebben) gedragen te verzamelen. Hierbij is de bemonstering niet op voorhand onderzocht op de aanwezigheid van een specifiek celtype, omdat de onderzoeksvraag beperkt bleef tot de vraag: 'Is er DNA aanwezig van een mogelijke drager van de bivakmuts en zo ja, van wie is het?' Nader onderzoek aan de bivakmuts zou wellicht meer informatie kunnen opleveren die onderscheidend is ten aanzien van de hypothesen op activiteitsniveau. Zo zou bijvoorbeeld het aantreffen van haren van de verdachte in de bivakmuts een onderscheid kunnen maken tussen de beide hypothesen. Bovendien kan nader onderzoek naar de plaats van de speekselsporen (al of niet rondom de mondopening) en de aanwezigheid van meer speekselsporen en/of biologische contactsporen op overige plaatsen aan binnen- en buitenzijde additionele, onderscheidende informatie opleveren. De mogelijkheid bestaat ook dat speeksel, haren of biologische contactsporen van (een) andere perso(n)en worden aangetroffen op de bivakmuts. De deskundige concludeert daarom dat het sporenbeeld (nog) niet volledig genoeg is om een robuuste en evenwichtige evaluatie op activiteitsniveau uit te kunnen voeren. Ook wordt beschouwd of het onderzoek met betrekking tot het scenario van de verdediging voldoende volledig is. In bovenstaand voorbeeld bestaat de (theoretische) mogelijkheid de desbetreffende straat nader te onderzoeken op de aanwezigheid van speeksel van de verdachte. De aanwezigheid van speeksel op de plaats van aantreffen van de bivakmuts zou de

verklaring van de verdachte immers kunnen ondersteunen. De kans dat er nog speeksel op de straat wordt aangetroffen is doorgaans echter (vanwege de verstreken tijd en omgevingscondities) nihil en bovendien betekent de afwezigheid van speeksel niet dat dit er niet lag ten tijde van het delict. Nader onderzoek is daarom in dit geval niet zinvol. De deskundige zal in de rapportage van de inventarisatie aangeven dat nader onderzoek aan alleen de bivakmuts wordt aanbevolen.

e. Het beslissen of (en zo ja, welk) aanvullend onderzoek noodzakelijk is

In stap (e) worden de uitkomsten van de inventarisatie gerapporteerd aan de opdrachtgever. De deskundige meldt in zijn rapport dat zowel aanvullend onderzoek naar de aanwezigheid van speeksel als vergelijkend haaronderzoek naar verwachting informatief kunnen zijn. Hij adviseert ook om in de eerste plaats het vergelijkend haaronderzoek uit te voeren. Wanneer bij dit onderzoek aan eventueel aangetroffen haren een *match* wordt gevonden met de verdachte zijn de resultaten sterk onderscheidend. Wanneer geen *match* wordt gevonden kan in tweede instantie het onderzoek naar de aanwezigheid van speeksel (rond het mondgat en op de buitenzijde van de bivakmuts) worden uitgevoerd. Op basis van het advies van de deskundige kan de opdrachtgever vervolgens besluiten of, en zo ja welk, onderzoek moet worden uitgevoerd.

2. Case-assessment en evaluatie

Een cruciaal element in zowel het case-assessment als in de uiteindelijke evaluatie zijn de gegevens waarop de deskundige zijn oordeel baseert. De bronnen waaruit de deskundige kan putten en de wijze waarop deze informatie wordt gebruikt bij de evaluatie worden hieronder besproken.

2.1. Kansinschattingen

Op basis van de specifieke context van de zaak zullen kansinschattingen worden gemaakt van overdracht van celmateriaal bij de betwiste handeling, de aanwezigheid van niet-delictgerelateerd celmateriaal ('achtergrond DNA'), de persistentie van sporen onder verschillende condities en van de kansrijkheid van de gebruikte bemonsteringsmethoden.

Er zijn verschillende bronnen waaruit een deskundige informatie kan putten om tot deze kansinschattingen te komen. De kansen kunnen worden ingeschat op basis van experimentele studies die zijn gepubliceerd in de wetenschappelijke vakliteratuur of die worden uitgevoerd binnen de context van de zaak (zaaksgebonden experimenten). Daarnaast kunnen de kansen worden ingeschat op basis van een dossierstudie waarin de resultaten van het uitgevoerde forensisch onderzoek in een groot aantal vergelijkbare zaken worden beschouwd. Een derde bron betreft de aanwezige kennis bij een aantal deskundigen op het specifieke vakgebied. Bij zogenoemde 'kenniselicatie' (Sjerps & Kloosterman 2010) worden interviews uitgevoerd met deskundigen om op een gestructureerde manier de kennis van deskundigen over relevante kansen te verzamelen. Elk van de bovengenoemde methoden levert inzicht op in de ordegrootte en de variatie bij het inschatten van de relevante kansen. Welke methoden

worden gekozen zal afhangen van beschikbaarheid en de context van een specifieke zaak.

De mate van onzekerheid die de verschillende methoden met zich meebrengen verschilt. Zo zal de onzekerheid bij experimenteel bepaalde kansen doorgaans kleiner zijn dan bij inschattingen door deskundigen op basis van hun kennis en ervaring. Omdat niet alle kansen die een rol spelen bij de processen rond het ontstaan van een sporenbeeld een even grote invloed hebben op de uiteindelijke kansverhouding (de LR), is het niet noodzakelijk om voor alle kansinschattingen een experimentele studie uit te voeren. In veel gevallen zullen slechts één of twee kansinschattingen bepalend zijn voor de uitkomst van de evaluatie. Het kan dan wenselijk zijn om de onzekerheidsmarge rond de uitkomsten van de evaluatie te verkleinen door (zaaksgebonden) experimenten uit te voeren voor het nauwkeuriger bepalen van deze specifieke kansen.

2.2. De evaluatie

De deskundige zal op grond van zijn kennis en ervaring met biologisch sporenonderzoek en DNA-onderzoek de kans inschatten op het aantreffen van speeksel, biologische contactsporen en/of haren in/op de bivakmuts indien deze over het hoofd is gedragen. Voor elke mogelijke combinatie van de uitkomsten van het (aanvullend) onderzoek bepaalt de deskundige vervolgens de daarbij behorende waarschijnlijkheid. Oftewel: hoe waarschijnlijk is de combinatie van bevindingen onder de beide hypothesen? Bij het bepalen van deze waarschijnlijkheden kan de deskundige gebruikmaken van statistische modellen, waaronder 'Bayesiaanse netwerken'. Bayesiaanse netwerken maken het mogelijk om de verschillende kansen te combineren en onderlinge afhankelijkheden daarbij mee te nemen. De deskundige zal een inschatting maken van de kans op het aantreffen van speeksel, haren en biologische contactsporen op de bivakmuts wanneer deze bivakmuts is gedragen tijdens het delict. Deze kansen zijn afhankelijk van elkaar en kunnen niet zomaar met elkaar worden vermenigvuldigd. Immers, als er speeksel van een drager van een bivakmuts wordt aangetroffen aan de binnenzijde van deze muts, wordt de kans groter dat er ook biologische contactsporen en haren (indien aanwezig bij deze persoon) van deze persoon worden aangetroffen. Een Bayesiaans netwerk kan de deskundige hierbij helpen om zijn argumenten te structureren en om de samenhang daartussen inzichtelijk te maken (zie ook Sjerps & Kloosterman 2010).

Indien het door de deskundige voorgestelde aanvullend onderzoek door de opdrachtgever noodzakelijk wordt geacht, zal de deskundige dit aanvullend onderzoek uitvoeren. De resultaten van het onderzoek worden door de deskundige beoordeeld en geëvalueerd. De deskundige zal vervolgens een rapport opstellen waarin het aanvullend onderzoek wordt beschreven, wat de uitkomst daarvan is, en wat de geschatte ordegrootte van de kansverhouding is van de verkregen resultaten in het licht van de hypothesen. Deze kansverhouding zal de

deskundige gewoonlijk uitdrukken in een verbaal oordeel.¹ Hieruit kan de opdrachtgever afleiden wat de bewijskracht van het onderzoeksresultaat is, en in welke schaal van de weegschaal het geplaats moet worden (zie deel 1 van dit drieluik). In het desbetreffende voorbeeld zal (aangenomen dat de a-priori-kansen op beide hypothesen gelijk waren) het aantreffen van speeksel van de verdachte rondom de mondopening, het aantreffen van haren en biologische contactsporen van de verdachte, in combinatie met het ontbreken van biologische sporen van een andere persoon, de weegschaal doen doorslaan in de richting van de hypothese van het OM. Wanneer er biologische sporen van een andere persoon worden gevonden kan dit ondersteunend zijn voor de hypothese van de verdediging.

3. De meerwaarde van het deskundigenoordeel

In de dagelijkse praktijk blijkt dat er bij leken – maar ook bij in de materie ingevoerde juristen – misvattingen bestaan over de bewijskracht van de resultaten van een forensisch onderzoek naar biologische sporen. Bovendien kunnen ten onrechte conclusies worden getrokken uit de onderzoeksresultaten op basis van aannamen of verwachtingen waarvan men denkt dat die gebaseerd zijn op feiten van algemene bekendheid.

Dat dit een risico met zich meebrengt kan worden geïllustreerd aan de hand van twee zaaksvoorbeelden.

De afwezigheid van sporen onterecht uitgelegd als steun voor afwezigheid van de verdachte

Een slachtoffer wordt met een groot aantal steekverwondingen dood aangetroffen in haar woning. Zij ligt in de hoek van een kamer en onder en rond haar lichaam ligt een grote plas bloed. Naar aanleiding van tactisch onderzoek komt dezelfde dag nog een verdachte in beeld. Hij wordt aangehouden en zijn kleding wordt in beslag genomen. De kleding wordt onderzocht op de aanwezigheid van bloed. Hierbij wordt echter geen bloed aangetroffen. De raadsman van de verdachte stelt, aan de hand van het NFI-rapport, dat de afwezigheid van bloed op de kleding van zijn cliënt ontlastend is. Immers, zo beweert hij, bij zo een groot aantal steekverwondingen en de flinke plas bloed moet de dader veel bloed op zijn kleding hebben. Het feit dat op de kleding van mijn cliënt geen bloed is aangetroffen betekent dus dat hij de dader niet is.

Desgevraagd geeft de bloedspoorpatroondeskundige aan dat ook op de muren naast het lichaam van het slachtoffer geen bloed is aangetroffen. De deskundige stelt daarom dat het niet waarschijnlijk is dat er bij het steken bloed heeft gespat. Als dit wel het geval was geweest zou dit naar alle waarschijnlijkheid ook op de muur zijn waargenomen. Het ontbreken van bloedsporen op de kleding van de verdachte is daarom niet zonder meer ontlastend.

Om meer inzicht te verkrijgen in de bewijskracht van de bevindingen (het ontbreken van bloedsporen op de kleding van de verdachte), is een evaluatie van deze bevin-

1. De DNA-deskundige van het NFI maakt bijvoorbeeld gebruik van de volgende reeks van waarschijnlijkheidstermen, met bijbehorend likelihood-ratio-interval: De bevindingen van het onderzoek zijn: – ongeveer even waarschijnlijk (1-2); – iets waarschijnlijker (2-10); – waarschijnlijker (10-100); – veel waarschijnlijker (100-10 000); – zeer veel waarschijnlijker (10 000-1 000 000); – extreem veel waarschijnlijker (> 1 000 000); wanneer hypothese I (of II) juist is, dan wanneer hypothese II (of I) juist is.

dingen door een bloedspoorpatroondeskundige mogelijk van meerwaarde.

De aanwezigheid van een spoor potentieel onterecht belastend voor de verdachte

Een ander voorbeeld is de casus van de overval met de bivakmuts. De verwachting is dat bij het onderzoek naar biologische sporen en DNA-onderzoek celmateriaal wordt aangetroffen van degene die de bivakmuts als laatste (tijdens de overval) heeft gedragen.

Uitgaande van die verwachting zou iemand bij een *match* kunnen concluderen dat de verdachte de bivakmuts (recent) heeft gedragen. Dit hoeft echter niet het geval te zijn. Buiten het feit dat andere verklaringen denkbaar zijn voor het aantreffen van het celmateriaal van de verdachte (zoals eerder in deze bijdrage behandeld), is de overdracht en persistentie van celmateriaal van veel factoren afhankelijk. De bivakmuts kan door meer dan één persoon zijn gedragen over een bepaalde periode. Het aangetroffen sporenbeeld is dan onder meer afhankelijk van de duur en frequentie van dragen. Dit heeft invloed op de kans op overdracht van celmateriaal van de personen op de bivakmuts, maar ook op de persistentie van celmateriaal van de eerste drager na het dragen door de tweede persoon. Bij deze kansen speelt ook de aard van het materiaal waarvan de bivakmuts is gemaakt een belangrijke rol (Van Oorschot e.a. 2014). Ook de kans op het bemonsteren van het celmateriaal (wat is de kans dat het spoor daadwerkelijk is bemonsterd wanneer het aanwezig is?) en de kans op het bepalen van een DNA-profiel daaruit (efficiëntie van de DNA-analyse) spelen een rol. Kennis van de beperkingen van de onderzoekstechnieken is dus zeer relevant. Stel dat de bivakmuts bijvoorbeeld door persoon A gedurende een lange periode is gebruikt en vervolgens zeer kort (gedurende een overval) door persoon B. In dergelijke situaties kan het zijn dat, door de grote hoeveelheid celmateriaal van persoon A die in de bivakmuts is geaccumuleerd, de geringe hoeveelheid celmateriaal die door persoon B is overgedragen niet zichtbaar is in het DNA-profiel. Hieruit zou, op basis van het hierboven genoemde verwachtingspatroon, onterecht kunnen worden aangenomen dat persoon A de bivakmuts moet hebben gedragen tijdens de overval, omdat van niemand anders celmateriaal is aangetroffen (het 'Verborgene Dader Effect'; Gill 2014). Het is daarom van belang om de kennis van de deskundige te betrekken bij een evaluatie van een aangetroffen sporenbeeld. De kansen op overdracht en persistentie van celmateriaal en op achtergrondniveaus van DNA en de mogelijkheden en beperkingen van de gebruikte onderzoekstechnieken zijn nadrukkelijk geen feiten van algemene bekendheid. Zijn vakinhoudelijke kennis stelt de deskundige beter in staat om de relevante factoren in een specifieke zaak in kaart te brengen en de waarde van de aan- of afwezigheid van sporen te evalueren in de context van de zaak.

4. Wanneer kan de deskundige een zinvolle bijdrage leveren bij het evalueren van onderzoeksresultaten?

Of een DNA-onderzoek in een specifieke zaak meerwaarde heeft, wordt bepaald door de resultaten van het DNA-onderzoek (de bewijskracht of LR) én door de a-priori-

kans op de bij de evaluatie gebruikte hypothesen (zie ook deel 1 van dit drieluik, 'Toepassing van de Bayesiaanse methode'). Het belang van het samenspel tussen deze twee elementen blijkt duidelijk uit de casus met de bivakmuts die in dit drieluik herhaaldelijk is gebruikt. Het aantreffen van speeksel op de bivakmuts is onder beide aangeleverde hypothesen (de verdachte heeft de bivakmuts gedragen versus iemand anders heeft de bivakmuts gedragen) even waarschijnlijk gegeven de contextinformatie dat de bivakmuts (onder het scenario van de verdachte) is geland in van hem afkomstig vers speeksel dat daar op straat lag. De bewijskracht van dit onderzoeksresultaat (het aantreffen van speeksel op de bivakmuts) is dus neutraal. De a-posteriori-kansverhouding van de hypothesen wordt in dit geval dus bepaald door de a-priori-kansverhouding van de hypothesen. Het antwoord op de vraag 'hoe waarschijnlijk is het dat er precies op de plaats waar de dader de bivakmuts heeft neergegooit vloeibaar speeksel van de verdachte lag?' is daarmee bepalend voor de waarde van het DNA-bewijs. Deze kans hangt onder meer af van de frequentie waarmee de verdachte op de desbetreffende locatie kwam, de laatste maal dat hij daar was en hoe vaak hij op straat spuugt. Het is nadrukkelijk de taak van de rechter om op basis van verklaringen (van getuigen en/of verdachte) en feiten van algemene bekendheid een inschatting te maken van deze a-priori-kans. Doorgaans zal de kans bijzonder klein zijn dat de bivakmuts precies daar landt waar een hoeveelheid, nog vloeibaar speeksel van de verdachte ligt. De kans op het aantreffen van speeksel op een bivakmuts na het dragen van de bivakmuts is beduidend groter. Daarmee wordt de hypothese 'de verdachte droeg de bivakmuts ten tijde van de overval', zelfs nu het onderzoeksresultaat niet informatief is (de bewijskracht is neutraal), (vele malen) waarschijnlijker dan de hypothese 'iemand anders droeg de bivakmuts ten tijde van de overval (...)' (de a-posteriori-kansverhouding van de hypothesen). De rechter kan dus a priori een afweging maken van de relatieve waarschijnlijkheid van de hypothesen.

In de praktijk blijkt vaak dat de verdachte pas een verklaring aflegt nadat het dossier van het onderzoek compleet is. Door deze proceshouding bestaat de mogelijkheid dat een verdachte zijn verklaring zodanig formuleert dat daarmee de onderzoeksresultaten goed kunnen worden verklaard onder de door de verdachte geschetste handelingen. Daarmee zal de bewijskracht die kan worden toegekend aan het onderzoeksresultaat op activiteitsniveau in veel gevallen klein of neutraal zijn. Zoals in de casus van de bivakmuts zal de a-posteriori-kansverhouding van de hypothesen daarom met name worden bepaald door de keuze van de hypothesen en de a-priori-waarschijnlijkheid daarvan. De toegevoegde waarde van het oordeel van de deskundige over de bewijskracht van de onderzoeksresultaten zal in deze gevallen beperkt zijn wanneer er geen aanvullende onderzoeksmogelijkheden openstaan.

5. Literatuurlijst

Berger & Aben 2010b

C.E.H. Berger & D.J.C. Aben, 'Bewijs en overtuiging: Redeneren in de rechtszaal', *EeR* 2010, afl. 3, p. 86-90.

Evetts e.a. 2000

I.W. Evett, G. Jackson & J.A. Lambert, 'More on the hierarchy of propositions: exploring the distinction between explanations and propositions', *Science and Justice* 2000, 40, p. 3-10.

Gill 2014

P. Gill, *Misleading DNA Evidence; Reasons for Miscarriages of Justice*, London: Academic Press 2014.

De Groot 2010

H.W.J. de Groot, 'Schoten aan de Bezuidenhoutseweg in Den Haag', *EeR* 2010, afl. 3, p. 91-97.

Van Oorschot e.a. 2014

R.A.H. van Oorschot e.a., 'DNA transfer: The role of temperature and drying time', *Legal Medicine* 2014, 16, p. 161-163.

Sjerps & Kloosterman 2010

M. Sjerps & A.D. Kloosterman, 'Het gebruik van Bayesiaanse netwerken in de forensische (DNA-)statistiek', *Ars Aequi* 2010, afl. 7/8, p. 502-508.

Stoel e.a. 2014

R.D. Stoel e.a., 'Minimizing contextual bias in forensic casework', in: K. Strom & M. Hickman (red.), *Forensic Science and the Administration of Justice: Critical Issues and Directions*, SAGE Publishing 2014.