

# Het gebruik van DNA in het opsporingsproces

*Christianne de Poot\**

Jaarlijks stellen forensisch rechercheurs van de politie ongeveer 27.000 biologische sporen veilig die ze doorsturen naar het Nederlands Forensisch Instituut (NFI) voor DNA-onderzoek (Kruize & Gruter 2018). Deze onderzoeken worden aangevraagd vanuit de verwachting dat dit DNA-onderzoek kan bijdragen aan de opsporing en bewijsvoering van strafzaken. In dit artikel zal ik eerst beschrijven wat DNA-onderzoek zo interessant maakt voor de opsporing en bewijsvoering van strafzaken. Voorts zal ik ingaan op de knelpunten die zich momenteel voordoen in het forensisch DNA-onderzoek, en die maken dat forensisch DNA-onderzoek nog niet de rol speelt in het opsporingsproces die er gezien de technische mogelijkheden van kan worden verwacht. Voorts richt ik me op de mogelijkheden om deze knelpunten in de nabije toekomst met nieuwe wetenschappelijke inzichten en met nieuwe technieken op te lossen.

Ik concentreer me in dit artikel op vier aspecten van het forensische opsporingsproces, namelijk (1) het vinden van biologische sporen, (2) het bepalen van de relevantie en de succeskans van de aangetroffen biologische sporen, (3) het leerproces van rechercheurs, en (4) het belang van de integratie van processen die nu door verschillende professionals op verschillende plaatsen worden verricht, en de bevorderende werking van snelle analysemogelijkheden in deze ontwikkeling.

Voor informatie over het gebruik van (genealogische) databanken in de opsporing verwijs ik naar het artikel van Meulenbroek en Aben elders in dit nummer; voor informatie over ontwikkelingen ten aanzien van personeigenschappen die uit DNA kunnen worden afgeleid, zie Kayser (2015), Matheson (2016) en Xavier e.a. (2020).

\* Prof. dr. C.J. de Poot is als bijzonder hoogleraar Criminalistiek verbonden aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Daarnaast is zij lector Forensisch Onderzoek aan de Hogeschool van Amsterdam. Tot voor kort was zij tevens werkzaam als senior onderzoeker bij het WODC in Den Haag.

## Waarom is DNA zo interessant voor de opsporing en bewijsvoering van strafzaken?

Om duidelijk te kunnen maken waarom DNA-analyses zo interessant zijn voor het proces van opsporing en bewijsvoering zal ik eerst kort uitleggen wat DNA is. Mensen, planten en dieren zijn opgebouwd uit cellen en in elke cel ligt een celkern met chromosomen. Chromosomen zijn de dragers van de erfelijke eigenschappen van deze organismen.<sup>1</sup> Mensen hebben in hun celkern 23 chromosoomparen, 22 autosomen en 1 geslachtschromosoom. Bij het ontstaan van voortplantingscellen (zaad- en eicellen) worden deze chromosoomparen gesplitst. Voortplantingscellen hebben dus elk 23 enkelvoudige chromosomen. Een voortplantingscel kan van ieder chromosoompaar waaruit zij is ontstaan één exemplaar kiezen. Dat betekent dat er voor iedere zaadcel en iedere eicel van de mens 223 (ongeveer 8,3 miljoen) verschillende keuzemogelijkheden zijn. Bij de bevruchting komen één specifieke zaadcel en één specifieke eicel samen. Eén man en één vrouw kunnen dus in theorie samen bijna 70 biljoen (8,3 miljoen x 8,3 miljoen) kinderen op de wereld brengen, die in hun chromosoomstructuren allemaal van elkaar verschillen (zie Hoekstra 2004). Ieder mens is dus in genetisch opzicht uniek, tenzij hij of zij deel uitmaakt van een eeneiige meerling. Dit is een belangrijk gegeven voor de opsporing en bewijsvoering van strafzaken.

Ieder mens erft in genetisch opzicht evenveel kenmerken van de vader als van de moeder. Chromosomen zijn opgebouwd uit DNA, een lang molecuul dat bestaat uit stukjes met kenmerkende structuren die op vaste plaatsen op het molecuul liggen.<sup>2</sup> Van sommige stukjes DNA, de *genen*, weten we dat ze onze erfelijke eigenschappen bepalen.<sup>3</sup> Van

- 1 Zie voor verdere biologische details De Poot & Kruisbergen 2006, hoofdstuk 2. Deze paragraaf van het artikel is als 'zelfcitatie' deels overgenomen uit dit hoofdstuk. Zie hierover ook Meulenbroek 2018.
- 2 DNA (desoxyribonucleïnezuur) is een lange keten van nucleotiden, die zijn opgebouwd uit een fosfaatgroep, een suikergroep en een base (adenine, cytosine, guanine of thymine). De genetische informatie ligt besloten in de volgorde van de basen. Twee moleculen DNA liggen in een dubbele spiraal (een dubbele helix) om elkaar heen gedraaid, waarbij complementaire basen tegenover elkaar liggen en met waterstofbruggen aan elkaar verbonden zijn. Zo ligt adenine steeds tegenover thymine, en cytosine tegenover guanine. Op die dubbele spiraal kunnen vele reeksen van enkele honderden tot duizenden basenparen worden afgebakend.
- 3 In een stukje DNA dat een gen wordt genoemd, vormt de volgorde van de basenparen een soort instructie op basis waarvan lichaamscellen de eiwitten kunnen produceren waaruit ons lichaam is opgebouwd.

andere DNA-fragmenten, de *markers*, kennen we de functie nog niet. Genen en markers liggen op vaste plaatsen in het DNA, die *DNA-loci* worden genoemd.

Ongeveer 3% van het menselijk DNA (het *coderende* DNA) is direct betrokken bij de productie van eiwitten. Over de functie van de rest van het DNA is nog veel onbekend.<sup>4</sup> Dit *niet-coderende* deel van het DNA bevat bepaalde 'hypervariabele' loci, die veel sterker verschillen van persoon tot persoon dan de genen.<sup>5</sup> Op deze loci wordt eenzelfde stukje DNA steeds herhaald. Het aantal herhalingen verschilt sterk van persoon tot persoon. Door de totale lengte van deze zich herhalende stukjes te bepalen ontstaat een DNA-profiel. Een DNA-profiel is op dit moment vervaardigd uit 23 autosomale loci, en laat voor elke locus zien hoe lang het kenmerk is dat van de ene ouder is geërfd en hoe lang het kenmerk is dat van de andere ouder is geërfd.<sup>6</sup> Daarnaast wordt bepaald of het DNA-materiaal afkomstig is van een man of van een vrouw, en worden bij mannelijk DNA nog de kenmerken bepaald op drie loci op het Y-chromosoom. Door steeds dezelfde gebieden te typeren kunnen profielen eenvoudig met elkaar worden vergeleken. Naast het autosomale DNA, dat zich in de celkern bevindt, wordt in de opsporing ook gebruik gemaakt van het Y-chromosomale DNA, dat alleen aanwezig is in mannelijke cellen en dat onveranderd overerft van een vader op al zijn zonen, en van mitochondriaal DNA, dat zich niet in de celkern bevindt, maar in de mitochondriën van de cel, en dat van een moeder op al haar kinderen overerft.

Voor de opsporing is een aantal zaken erg interessant:

1. Het DNA in al onze cellen is gelijk. Huidcellen, bloedcellen, speeksel en sperma kunnen dus probleemloos met elkaar worden vergeleken. Als deze cellen door dezelfde donor zijn achtergelaten, hebben ze exact hetzelfde DNA-profiel.<sup>7</sup>

4 Naarmate de wetenschap voortschrijdt, zal er steeds meer inzicht ontstaan in de functie van dit niet-coderende DNA.

5 Dit verschil in variatie is te verklaren. Een kleine verandering in het DNA van een gen kan resulteren in de productie van eiwitten met een abnormale structuur en dat kan leiden tot erfelijke aandoeningen. Veranderingen in het niet-coderende gedeelte vormen vermoedelijk minder vaak een bedreiging voor de levensvatbaarheid of het vermogen tot voortplanting van het organisme (Kloosterman 2001).

6 In de loop der jaren is het aantal loci dat gebruikt wordt om een DNA-profiel te bepalen gegroeid van 10 naar 15 naar 23 loci, zodat ook met groeiende databanken en steeds meer internationale vergelijkingen de kans op een toevallige match uitermate klein blijft.

7 Uitzonderingen zijn mensen die een beenmergtransplantatie hebben ondergaan en mensen met chimerisme die (vermoedelijk als gevolg van de versmelting van twee embryo's) zijn opgebouwd uit twee soorten DNA.

2. Het DNA in ons lichaam verandert niet. Het blijft ongewijzigd vanaf de bevruchting totdat het lichaam ontbindt.
3. Mensen laten gemakkelijk biologisch celmateriaal, zoals huidcellen of speeksel, achter op plaatsen waar zij handelingen verrichten.
4. Autosomale DNA-profielen hebben een zeer groot persoonsonderscheidend vermogen.
5. Als het autosomale DNA-profiel van een verdachte op één enkel allel<sup>8</sup> niet overeenkomt met het profiel van een aangetroffen spoor, kan de verdachte worden uitgesloten als donor van dit spoor.
6. Een overeenkomst tussen het DNA-profiel van een persoon en een aangetroffen spoor betekent niet automatisch dat deze persoon ook de donor is van het spoor. De waarde die je aan een overeenkomst mag hechten, kan statistisch worden berekend, en is onder andere afhankelijk van de zeldzaamheid van het opgestelde profiel (het aantal DNA-gebieden dat is getypeerd en de zeldzaamheid van de typering die voor deze gebieden is verkregen). De kans dat een willekeurige persoon die geen familie is van de donor van het spoor hetzelfde DNA-profiel heeft als het aangetroffen spoor is bij een volledig profiel van 23 autosomale loci altijd kleiner dan 1 op 1 miljard.
7. Familieleden hebben een grotere kans op een overeenkomstig DNA-profiel, daarom worden momenteel 23 loci geanalyseerd.
8. De DNA-gebieden die gebruikt worden om een DNA-profiel te bepalen vertonen veel variatie tussen personen, maar per generatie is de kans op een mutatie klein. Daarom kan aan de hand van deze gebieden ook onderzoek worden gedaan naar biologische verwantschap.
9. Naast autosomaal DNA kunnen ook mitochondriaal DNA en Y-chromosomaal DNA worden gebruikt om verwantschappen aan te tonen.
10. Als lichaamsmateriaal geen celkern bevat, is het mogelijk om het minder zeldzame en minder stabiele mitochondriale DNA te analyseren. Hiermee kunnen haren zonder haarwortel, gedegra-

8 Een allel is een bepaalde variant van een gen. Een gen codeert een bepaalde erfelijke eigenschap, waarbij verschillende versies van een gen min of meer verschillende gevolgen kunnen hebben voor die eigenschap van een organisme. Elke uitvoering van een gen wordt een allel of mendeliaanse erfactor genoemd.

deerde beenderen en tanden worden geanalyseerd. Y-chromosomaal DNA kan van belang zijn om uit mengprofielen bij bijvoorbeeld zedenzaken het mannelijke DNA-materiaal te destilleren.

### **Het gebruik van DNA in de opsporing**

Op grond van bovengenoemde eigenschappen wordt DNA veelvuldig gebruikt in de opsporingspraktijk, bijvoorbeeld om van sporen op een plaats delict te bepalen welke sporen afkomstig zijn van eenzelfde donor, en daarmee sporenbeelden te kunnen duiden, om sporen te koppelen aan referentiemonsters van slachtoffers, verdachten en getuigen, om mensen met zekerheid uit te kunnen sluiten als donor van een spoor, en om in een databank te zoeken naar de donor of naar een mogelijke bloedverwant van de donor van een spoor. Ook wordt DNA-onderzoek soms gebruikt om in een bepaalde geselecteerde kring van personen te zoeken naar een verdachte. Dit kan als er in een zaak een duidelijk daderspoor is aangetroffen en als het duidelijk is in welke kring van personen de verdachte moet worden gezocht. Het feit dat alle mensen van wie het DNA niet overeenkomt met het DNA van het spoor in dat geval definitief kunnen worden uitgesloten als verdachte maakt DNA-onderzoek een interessant en krachtig opsporingsmiddel.

Anders dan bijvoorbeeld een vingerspoot, kan DNA niet enkel een verdachte in- of uitsluiten als mogelijke donor van een spoor door het spoor te vergelijken met een referentiemonster van de verdachte. DNA bevat daarnaast ook informatie die gebruikt kan worden om kenmerken van de donor te achterhalen en daarmee richting te geven aan een opsporingsonderzoek. Zo kan aan de hand van een DNA-analyse worden bepaald of een spoor afkomstig is van een man of van een vrouw, en kan met een bepaalde mate van zekerheid de geografische herkomst van de donor van het spoor worden bepaald, en ook uiterlijke kenmerken zoals haarkleur, haarvorm, kaalheid, oogkleur, gezichtsvorm, huidskleur en lengte (Kayser 2015; Matheson 2016). Sinds 2003 is het wettelijk mogelijk om in een opsporingsonderzoek gebruik te maken van uiterlijk waarneembare kenmerken die uit DNA kunnen worden afgeleid. Overigens mogen niet alle donorkenmerken die met DNA-analyse kunnen worden vastgesteld, worden gebruikt in de opsporing. Zo is het bijvoorbeeld niet toegestaan om bepaalde ziek-

tes waarvan de donor mogelijk niet op de hoogte is te gebruiken, of om gebruik te maken van gedragskenmerken die zich in het DNA manifesteren. Vooralsnog mag uitsluitend gebruik worden gemaakt van kenmerken die expliciet in een wet of een algemene maatregel van bestuur worden genoemd (De Poot & Kruisbergen 2006, hoofdstuk 4). Dat zijn momenteel enkel haarkleur, oogkleur, huidskleur en geografische herkomst. Tot slot is het sinds 2012 toegestaan om in de opsporing gebruik te maken van de verwantschapsinformatie die DNA-materiaal in zich draagt. Zo kan bijvoorbeeld actief worden gezocht naar mogelijke bloedverwanten van de donor van een spoor, bijvoorbeeld in de DNA-databank of tijdens een grootschalig DNA-onderzoek, om via een mogelijke bloedverwant bij de dader te kunnen komen. Verwantschapsonderzoek kan ook worden gebruikt om bijvoorbeeld de ouders van een te vondeling gelegde baby te kunnen identificeren.

### **Het vinden van onbekende daders**

Hoewel DNA-onderzoek steeds meer mogelijkheden biedt voor het identificeren van nog onbekende verdachten, blijkt het tot nog toe vooral een belangrijke rol te spelen als bewijsmiddel in strafzaken. Dit in tegenstelling tot het beeld dat de Raad van Hoofdcommissarissen (2004) hier zeventien jaar geleden over schetste in het boek *Spelverdeler in de opsporing*. Bij de meeste delicten worden verdachten niet geïdentificeerd dankzij DNA. Afhankelijk van de aard van het misdrijf, blijkt DNA bij zo'n 0,3 tot 3% van de misdrijven bij te dragen aan het vinden van een onbekende verdachte, bijvoorbeeld via een match in de DNA-databank. Dit is niet alleen in Nederland het geval, maar ook in Engeland en Wales, waar de DNA-databank veel omvangrijker is (Mapes e.a. 2014; Williams & Johnson 2008; Home Affairs Committee 2010). DNA-onderzoek speelt een geringere rol aan de voorkant van het opsporingsproces dan gezien de technische ontwikkelingen werd verwacht.

Deels is dat een gevolg van het feit dat niet iedereen in de DNA-databank zit, en dat niet alle sporen die evident afkomstig zijn van een dader leiden tot een match met een referentiemonster van een

bekende persoon.<sup>9</sup> Voor een deel ligt dit ook aan het feit dat DNA-onderzoek nog steeds veel tijd in beslag neemt, waardoor andere opsporingsinformatie zoals verklaringen van getuigen, camerabeelden of digitale sporen veel sneller tot een verdachte kunnen leiden. Een match in de DNA-databank komt daardoor soms als mosterd na de maaltijd (zie ook Mapes e.a. 2014). Ook worden lang niet bij elk misdrijf sporen gevonden die evident afkomstig zijn van de dader, en is het vaak moeilijk om tot een gerichte kring van personen te komen waarin de dader zou moeten worden gezocht (zie De Poot & Kruisbergen 2006). Daarom kan bij slechts een beperkt aantal zaken gebruik worden gemaakt van de unieke DNA-kenmerken om bij een verdachte te komen, bijvoorbeeld door de inzet van een grootschalig DNA-onderzoek of DNA-verwantschapsonderzoek, of aan de hand van de uiterlijke kenmerken die uit het DNA kunnen worden afgeleid. Tot slot leiden lang niet alle veiliggestelde sporen tot een bruikbaar DNA-profiel.

### **Het vinden, analyseren en interpreteren van minimale sporen**

Of DNA nou gebruikt wordt om onbekende verdachten op te sporen, of om te bewijzen dat een geïdentificeerde verdachte een bepaald misdrijf heeft gepleegd, in alle gevallen moeten de biologische sporen eerst worden gevonden, en moet een DNA-profiel uit het spoor worden afgeleid. Bij goed zichtbare biologische sporen zoals bloed kan dat al ingewikkeld zijn (De Gruijter e.a. 2016), maar bij minimale sporen die bij fysiek contact kunnen achterblijven, is dat nog veel moeilijker. Sinds het begin van deze eeuw is het mogelijk om uit zeer geringe hoeveelheden sporen materiaal goede DNA-profielen af te leiden. Er kunnen zelfs goede DNA-profielen worden gemaakt uit aanraaksporen waarbij slechts enkele huidcellen zijn achtergebleven. Daardoor kan DNA-onderzoek vaak leiden tot belangrijk bewijs. Het zoeken en vinden van de juiste sporen is in dat geval echter een ingewikkelde opgave. Omdat deze kleine hoeveelheden biologisch sporen materiaal vaak niet met het blote oog zichtbaar zijn, moeten rechercheurs de plekken waar ze deze sporen verwachten aan te treffen 'blind' bemonsteren. Rechercheurs blijken echter geen goed beeld te hebben van de

9 Zie hierover ook Meulenbroek en Aben in dit nummer. Zie over de voordelen van een beperkte DNA-databank ook De Poot 2013.

kans dat ze op bepaalde sporendragers biologische sporen zullen aantreffen (Mapes 2015, 2017; Mapes e.a. 2016). De combinatie van blind moeten bemonsteren en gebrek aan inzicht in de plekken waar dadersporen kunnen worden verwacht, leidt ertoe dat bijna de helft van de sporen die de politie voor DNA-onderzoek aanlevert bij een forensisch instituut geen bruikbaar DNA-profiel oplevert, en dat er veel kansrijke sporen achterblijven op de plaats delict (Mapes 2017). Tot slot blijkt ook de bemonstering en opwerking van biologisch celmateriaal niet optimaal te verlopen; tijdens dit proces gaat veel kostbaar sporenmateriaal verloren (Bruijns 2019).

Een tweede probleem is dat het niet eenvoudig is om bij minimale sporen de relatie tussen het spoor en het misdrijf vast te stellen. Op delictplaatsen en sporendragers zijn vaak allerlei sporen aanwezig van mensen die niets met het misdrijf te maken hebben. Het gaat in het forensisch onderzoek niet alleen om het achterhalen van de bron van een spoor. Er moet ook worden vastgesteld op welke wijze, dus via welke handelingen een spoor ergens terecht kan zijn gekomen. Hoe kleiner het spoor, hoe moeilijker het is om te bepalen hoe een spoor ergens terecht kan zijn gekomen, en dus of er een relatie is tussen het spoor en het misdrijf en wat de aanwezigheid van het spoor precies bewijst.

### *Het selecteren van sporen*

Bij de beslissing om een spoor te laten analyseren overwegen politie en Openbaar Ministerie (OM) naast de relevantie van het spoor en de kans dat het spoor een bruikbaar profiel oplevert, ook de ernst van het misdrijf, de andere sporen die zijn gevonden in de zaak, en de beschikbare capaciteit. Zowel bij de politie als bij het NFI, dat de DNA-analyses uitvoert, is er beperkte personele capaciteit. Dit betekent dat er keuzes moeten worden gemaakt. In de praktijk wordt niet elke plaats delict bezocht door de forensische recherche, en kunnen rechercheurs slechts een beperkt aantal sporen per zaak laten analyseren. De politie, het OM en het NFI maken jaarlijks afspraken over het aantal sporen dat kan worden ingestuurd voor analyse. Deze worden vastgelegd in een *service level agreement* (SLA). De SLA wordt tweemaandelijks gemonitord en kan tussentijds eventueel worden bijgesteld. De beschikbare capaciteit voor DNA-onderzoek wordt verdeeld over de politie-eenheden, die elk maandelijks een bepaalde hoeveel-



heid onderzoekscapaciteit mogen benutten. Naast de capaciteit bij het NFI kan de politie ook gebruik maken van andere (particuliere) aanbieders van forensische producten, maar ook daarvoor is slechts een beperkt budget beschikbaar (Kruize & Gruter 2018). Omdat er niet ongelimiteerd DNA-onderzoek kan worden aangevraagd, worden er al op de plaats delict keuzes gemaakt. Niet alle sporen die mogelijk relevant zouden kunnen zijn, worden meegenomen. Daarnaast worden er veel meer sporen veiliggesteld en meegenomen van de plaats delict dan er uiteindelijk kunnen worden geanalyseerd (Kruize & Gruter 2018). Recent werd in de proeftuin 'Anders op de plaats delict' onderzocht of het loslaten van deze capaciteitsbeperking bij woninginbraken de opsporingskans zou vergroten. Dit bleek niet het geval te zijn. Het loslaten van deze capaciteitsbeperking en het laten analyseren van meer biologische sporen leidden bij woninginbraken niet tot meer matches op personen of op sporen in de DNA-databank. Wel leidde het tot de opname van meer sporen in de DNA-databank, hetgeen mogelijk in de toekomst nog tot matches zou kunnen leiden (Van Zoest e.a. 2020).<sup>10</sup> Het is dan ook aannemelijk dat er meer winst kan worden behaald door het ontwikkelen van kennis over de plekken waar relevante sporen kunnen worden gevonden, en over de successansen en de potentiële bewijswaarde van aangetroffen sporen, dan puur door het uitbreiden van de capaciteit. Er gaat op dit moment namelijk erg veel onderzoekscapaciteit verloren aan het analyseren van 'lege sporen' die te weinig of geen DNA-materiaal bevatten.

### *Compartmentering van proces en tijdsverloop tussen spoor en profiel*

DNA-onderzoek kan een lange tijd in beslag nemen. Bij standaardzaken gaan er minstens drie weken overheen voordat de resultaten van sporen die naar het NFI zijn gezonden voor DNA-onderzoek weer terugkomen bij het politieteam. Gemiddeld duurt het proces van plaats delict tot DNA-resultaat meer dan vier weken.<sup>11</sup> Door die lange

10 Het is echter niet goed te bepalen of dit dadersporen betrof. In de proeftuin is in een aantal zaken referentiemateriaal van slachtoffers afgenomen en geanalyseerd. In 59% van de zaken waarbij dat gebeurde, bleken de veiliggestelde sporen afkomstig te zijn van het slachtoffer. Meer opname van sporen in de databank kan dus ook voor vervuiling van de databank zorgen als niet tevens wordt uitgesloten dat het gaat om slachtoffersporen (Van Zoest e.a. 2020).

11 De proeftuin 'Anders op de plaats delict' liet zien dat de reguliere doorlooptijd van plaats delict tot DNA-resultaat bij woninginbraak gemiddeld 36 dagen was, 18,5 dagen van veiligstellen tot analyseaanvraag en 17 dagen van aanvraag tot uitslag.

doorlooptijd hebben rechercheurs die betrokken zijn bij het sporen verzamelen op de plaats delict en het selecteren van sporen voor nader onderzoek geen beeld van de resultaten van de onderzoeken die ze aanvragen. Zij krijgen de resultaten hiervan alleen te horen of te zien bij ernstige misdrijven waarbij spoedprocedures worden ingezet. In andere gevallen komen die resultaten veel te laat of niet terug bij deze rechercheurs, waardoor ze feitelijk geen feedback krijgen, en niet leren in welke mate sporendragers en bemonsteringsmethoden al of niet tot een bruikbaar DNA-profiel leiden. Een ander nadeel van deze lange doorlooptijd is dat rechercheurs de analyseresultaten niet kunnen gebruiken bij hun onderzoek op de plaats delict. Snellere sporenanalyses kunnen helpen bij het duiden van de sporen op de plaats delict (De Gruijter e.a. 2017b). Bovendien heeft snelheid een grote invloed op de kans dat een zaak überhaupt kan worden opgehelderd (De Poot e.a. 2004, p. 32-34). Bij snelle identificatie van een mogelijke verdachte kan deze vaak nog in de omgeving van de plaats delict worden aangetroffen, en vaak kunnen dan ook nog aanvullende misdrijfgerelateerde sporen worden gevonden. Ook kunnen betrokkenen zich kort na het misdrijf meer herinneren, en kan het opsporingsproces efficiënter worden verricht als sneller richting kan worden gegeven aan een onderzoek. Tot slot kan sporeninformatie uit verschillende bronnen in dat geval beter met elkaar in verband worden gebracht (De Poot 2010, 2018; De Gruijter e.a. 2017a).

### **Hoe kunnen de genoemde knelpunten worden opgelost?**

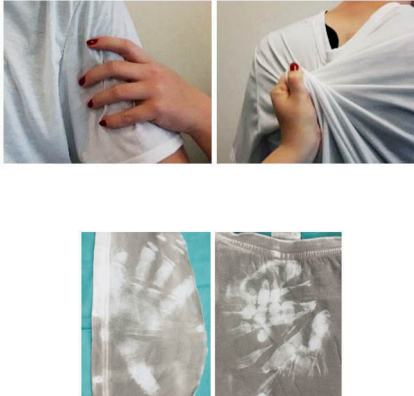
De hierboven genoemde knelpunten ten aanzien van het vinden en selecteren van sporen, het bemonsteren en opwerken van de sporen, het vaststellen van de waarde van gevonden sporen, en het snel kunnen gebruiken van DNA-analyseresultaten zullen naar verwachting in de toekomst deels kunnen worden opgelost dankzij technologische ontwikkelingen en wetenschappelijke inzichten. In het hiernavolgende stuk worden deze ontwikkelingen en de verwachte gevolgen besproken.

*Zichtbaar maken van onzichtbare sporen*

Een groot deel van de sporen die jaarlijks bij het NFI worden aangeleverd voor DNA-analyse blijken zoals gezegd weinig of geen DNA-materiaal te bevatten. Hierdoor wordt veel kostbare capaciteit besteed aan sporenanalyses die niets opleveren en blijven veel misdrijven onopgelost. Vooral minimale sporen, zoals greep- en aanraaksporen die ontstaan tijdens geweldsmisdrijven, zijn vaak moeilijk te bemonsteren, terwijl deze sporen cruciaal kunnen zijn in de opsporing en bewijsvoering van vaak ernstige misdrijven. Daarom is de afgelopen jaren onderzocht of het mogelijk is om dit soort onzichtbare biologische sporen zichtbaar te maken, waardoor ze gerichter kunnen worden bemonsterd. Enkele jaren geleden is ontdekt dat de meeste methoden die gebruikt worden voor het zichtbaar maken van vinger- en handpalmsporen niet destructief zijn voor DNA, en dat deze middelen ook gebruikt kunnen worden om greepsporten en aanraaksporen op poreuze materialen zoals kleding zichtbaar te maken (Van Esch 2014).<sup>12</sup> Bij blinde bemonstering bestaat niet alleen het risico dat een monster geen DNA bevat doordat een sporendrager op de verkeerde plek wordt bemonsterd. Ook bestaat het gevaar dat er sporen worden bemonsterd van personen die niets met het misdrijf te maken hebben. Op een kledingstuk zitten ook sporen van degene die de kleding heeft gedragen, en van onschuldige aanrakingen. Van Esch (2014) en Van den Bogaert (2016) onderzochten met behulp van experimenten welke methode het beste kan worden gebruikt om aanraaksporen op kledingstukken zichtbaar te maken. Zij laten zien dat forensisch onderzoekers in staat zijn om zichtbaar gemaakte greepsporten te onderscheiden van andere sporen die op de kleding aanwezig zijn (zie figuur 1). Zichtbaarmaking van de aanraaksporen leidt ertoe dat forensisch onderzoekers de relevante sporen gerichter kunnen bemonsteren, waardoor ze meer dadersporten bemonsteren en minder lege sporen of sporen die niet afkomstig zijn van de dader. Uit een pilot van de politie en het NFI bleek dat deze methode ook bij echte zaken kan worden toegepast, en vooral meerwaarde biedt als een slachtoffer niet of niet exact kan vertellen wat er is gebeurd en waar een dader hem of haar heeft vastgegrepen.

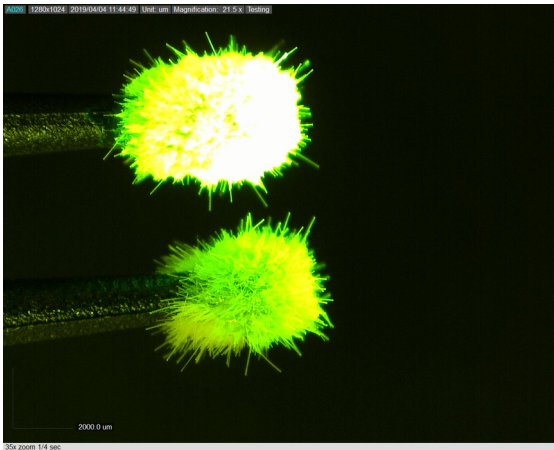
12 Dit was eerder niet gedaan, omdat op poreuze materialen zoals kleding geen identificeerbare vingersporen achterblijven. Voor het identificeren van de plek waar een greep is geplaatst, is dit echter geen probleem.

**Figuur 1** Zichtbaar gemaakte greepsporen door middel van vacuüm metaal opdamping uit het onderzoek van Van den Bogaert (2016)



Een andere recent ontwikkelde veelbelovende techniek die in de toekomst wellicht kan helpen bij het zichtbaar maken van DNA is de stof Diamond Dye, een stof die bindt aan DNA en dan fluoresceert. Fluorescentie zou de aanwezigheid van DNA kunnen aantonen (zie figuur 2), maar de waarde van dit middel is nog onduidelijk, onder andere omdat de stof niet humaan specifiek is en dus ook reageert op niet-menselijk DNA (Kanokwongnuwut e.a. 2018). Daarnaast is het nog onduidelijk hoe de stof het beste op poreuze ondergronden kan worden gebruikt, en blijken sommige ondergronden autofluorescent te zijn, en dus te fluoresceren zonder dat er DNA op aanwezig is (Champion e.a. 2021). Daarvoor worden nu oplossingen gezocht en gevonden. De toekomst zal moeten uitwijzen hoe Diamond Dye in de praktijk kan worden gebruikt. Ook als de stof niet op alle ondergronden kan worden gebruikt, zou het middel van grote waarde kunnen zijn als daarmee bijvoorbeeld kan worden gecontroleerd of er in een bemonstering voor DNA-onderzoek daadwerkelijk DNA-houdend materiaal aanwezig is. Zo zou kunnen worden voorkomen dat forensisch onderzoekers veel tijd kwijt zijn met het uitvoeren van DNA-analyses op sporen die geen DNA-materiaal bevatten.

**Figuur 2** De aan- en afwezigheid van menselijk DNA-materiaal op een microswab



*De DNA-succesmeter en de kans op een bruikbaar DNA-profiel*

Zichtbaar maken van biologische sporen is een interessante methode om sporen te kunnen vinden, maar de genoemde methoden kunnen alleen gericht worden ingezet als je ongeveer weet waar je de sporen moet zoeken. Daarom zou het goed zijn als onderzoekers meer kennis zouden hebben over het gedrag van mensen op een plaats delict, en over de kans dat op bepaalde plaatsen delictgerelateerde sporen achterblijven. Er is in de forensische opsporingsketen echter sprake van compartimentering van het proces in tijd en ruimte. Elke fase van het onderzoeksproces wordt op een ander moment op een andere plek door een andere groep professionals verricht. Bovendien neemt de doorloop door deze keten zoals gezegd veel tijd in beslag. Hierdoor is er geen natuurlijke feedbackloop en zijn professionals slecht op de hoogte van de resultaten van hun handelingen. Dit terwijl expertise alleen kan worden opgebouwd als het herhalen van een taak ook gepaard gaat met onmiddellijke feedback, zodat dezelfde ‘fouten’ niet keer op keer opnieuw worden gemaakt en onderdeel worden van de mechanismen die door ervaring worden aangeleerd (Ericsson 2006).<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Zie over het ontwikkelen van expertise in het forensische veld ook het recente proefschrift van Erwin Mattijssen (2021).

Daarom zou het goed zijn als forensische professionals inzicht kregen in de succeskansen van sporen op basis van wat daarover bekend is uit eerder onderzoek. In dat geval zouden rechercheurs en analisten hun beslissingen over het veiligstellen van sporendragers, het bemonsteren hiervan en de inzet van specifieke analysetechnieken kunnen baseren op de resultaten van eerdere ervaringen die daarmee zijn opgedaan in het forensische veld. Gegevens die bij de politie en het NFI aanwezig zijn, zouden daarvoor kunnen worden gebruikt.

Onderzoek van Mapes e.a. (2018) liet zien dat forensische rechercheurs, als zij beschikken over deze informatie, in staat zijn om doordachtere keuzes te maken ten aanzien van de sporen die ze al of niet willen laten analyseren en de analysetechnieken die ze daarvoor willen gebruiken. Daarom is enkele jaren geleden gewerkt aan de ontwikkeling van een beslissingsondersteuner, de 'DNA-succesmeter' (Zuidberg e.a. 2018), die rechercheurs en laboratoriummedewerkers zou kunnen voorzien van deze informatie.

De DNA-succesmeter bevat informatie over de kans dat uit veelvoorkomende biologische sporen DNA-profielen kunnen worden afgeleid, en over de aard van de profielen. De informatie is gebaseerd op dossiers van de politie en het NFI uit de periode 2014-2017, en de gegevens zijn waar mogelijk getoetst aan de hand van actuele wetenschappelijke literatuur. De DNA-succesmeter kan als hulpmiddel worden gebruikt bij het nemen van beslissingen op de plaats delict en tijdens het onderzoek aan sporendragers.

Het bleek echter veel minder eenvoudig om op basis van de registratiesystemen van politie en NFI een succesmeter te bouwen dan oorspronkelijk was gedacht. Om DNA-resultaten van sporen te kunnen combineren met de aard van het spoor en de plek waar het werd aangetroffen, moeten de sporendragers of 'stukken van overtuiging' (SVO's) en bemonsteringen die worden ingestuurd voor DNA-onderzoek goed worden gecategoriseerd in de registratiesystemen. Bij de verschillende organisaties (politie en NFI), en in de verschillende systemen<sup>14</sup> waarin zij hun informatie opslaan, worden echter verschillende manieren gebruikt om sporen en sporendragers te omschrijven. Binnen en tussen de systemen krijgen sporendragers en categorieën van sporen niet altijd dezelfde benaming. Door gebruik te maken van bigdatatechnieken, zoals *word embeddings* (waarin de context waarin

<sup>14</sup> Het incidentregistratiesysteem van de politie (BVH), het landelijk sporenvolsysteem (LSV) en het procesmanagement-informatiesysteem van het NFI (Promis).

woorden worden gebruikt, wordt meegenomen bij de categorisering), en het maken van ‘voorbeeldcategorieën’ was het mogelijk om tot goede ‘SVO-categorieën’ te komen.<sup>15</sup> De informatie die het huidige prototype kan verschaffen, beperkt zich echter tot informatie over te verwachten DNA-resultaten. Dat is interessant, maar het oorspronkelijke doel was ook informatie over de relevantie van de sporen te kunnen verschaffen.

De kans dat een spoor tot een DNA-profiel leidt, zegt niets over de relevantie van dat spoor in een zaak. Zo is een spoor van de verdachte op de kleding van het slachtoffer relevant, terwijl een spoor van het slachtoffer voor de hand liggend is op die sporendrager en geen interessante informatie over het misdrijf oplevert. Een spoor van het slachtoffer op de kleding van de verdachte of in diens auto kan juist wel heel relevant zijn, terwijl sporen van de verdachte op die plekken meestal weinig informatief zijn. Hoewel de informatie waaruit de relevantie van sporen kan worden afgeleid beschikbaar is in de dossiers, is ook deze niet eenduidig geregistreerd. In het project DNA-succesmeter is op diverse manieren geprobeerd om hier door middel van bigdata-technieken een oplossing voor te vinden, maar dat is niet gelukt. Daar komt bij dat de DNA-succesmeter een eenmalige exercitie is. Het project heeft een bruikbaar prototype opgeleverd dat gebruikt kan worden bij het maken van keuzes ten aanzien van het zoeken naar en bemonsteren van sporen voor DNA-onderzoek, voor de selectie en prioritering van deze sporen, en voor het maken van keuzes ten aanzien van in te zetten analysetechnieken. Het was echter de bedoeling om een dynamisch instrument te ontwikkelen dat voortdurend gevoed zou worden met nieuwe informatie uit de systemen, zodat daadwerkelijk een feedbackloop zou kunnen worden gerealiseerd en rechercheurs en analisten voortdurend zouden kunnen profiteren van nieuwe ervaringen uit eerdere zaken. Als gevolg van de genoemde registratieproblemen bleek het categoriseren van sporen echter zo arbeidsintensief te zijn dat het ontwikkelen van een dynamisch systeem niet mogelijk was. Eerst zullen partners uit de strafrechtsketen hun gegevens op een meer volledige, betrouwbare en eenduidige manier moeten registreren, zodat de gegevens eenvoudiger kunnen worden benut bij het nemen van toekomstige beslissingen (Zuidberg e.a. 2018). Hoewel de behoefte aan een beslissingsondersteunend sys-

15 Zie over de gebruikte methode Zuidberg e.a. 2018.

teem op basis van eerder behaalde resultaten in de strafrechtsketen breed wordt gedragen, zullen de forensische ketenpartners hiertoe op een andere wijze moeten omgaan met de registratie van gegevens, en zullen ze ook intensiever moeten samenwerken en hun systemen op elkaar moeten afstemmen. Momenteel wordt daaraan gewerkt.

### **Herkennen van misdrijfgerelateerde sporen**

Door sporen zichtbaar te maken en gebruik te maken van de DNA-succesmeter wordt de kans op het verkrijgen van een DNA-profiel verhoogd. Of dit spoor ook kan worden gebruikt in het strafproces hangt sterk af van de vraag of het spoor gerelateerd kan worden aan het misdrijf. Hiervoor moet de vraag worden beantwoord hoe het spoor terecht is gekomen op de plek waar het werd bemonsterd. Als forensische professionals in staat zijn om sporen die gerelateerd zijn aan een misdrijf te onderscheiden van sporen die zijn achtergelaten bij andere activiteiten, dan kunnen misdrijven beter worden onderscheiden van suïcides en ongelukken. Op die manier zullen onschuldigen minder vaak onderwerp worden van een ingrijpend strafrechtelijk onderzoek. Ook kunnen strafbare feiten dan sneller en beter worden gereconstrueerd en bewezen (De Poot 2018). Daarom wordt momenteel vrij veel onderzoek verricht naar de relatie tussen sporen en activiteiten. Dit gebeurt onder andere door te onderzoeken hoe vingers en handen zijn gepositioneerd bij het uitvoeren van delictgerelateerde en alledaagse handelingen, en welke biologische sporen daarbij achterblijven. Dit gebeurt met behulp van experimenten waarbij met eenzelfde sporendrager verschillende activiteiten worden uitgevoerd. Zo is bijvoorbeeld vastgesteld dat het schrijven van een brief andere sporen achterlaat dan het lezen van een brief (De Ronde e.a. 2020), en dat er andere sporen op een mes achterblijven als daarmee is gesneden, dan wanneer ermee is gestoken (De Ronde e.a. 2021). Ook blijken de sporen die achterblijven op een kussensloop wanneer het kussen gebruikt is om iemand te smoren, goed te onderscheiden van sporen die afkomstig zijn van het verschonen van de kussensloop (De Ronde e.a. 2019a). De locaties waar de sporen worden aangetroffen, kunnen veel informatie prijsgeven over de activiteiten die zijn verricht. Ook wordt er veel onderzoek gedaan naar de overdracht, persistentie, prevalentie en het terugvinden van biologische sporen (Van Oorschot e.a. 2019). Als de



politie geen DNA van een verdachte vindt in het voertuig dat als vluchtauto is gebruikt, betekent dat dan dat de verdachte daar niet in kan hebben gezeten? En als de politie DNA van de verdachte vindt op het stuur van de auto, hoe groot is dan de kans dat de verdachte de auto inderdaad heeft bestuurd, en niet als bijrijder in de auto zat? En hoe groot is de kans dat de verdachte het spoor tijdens het misdrijf heeft achtergelaten, en niet een week eerder tijdens een onschuldige rit? Wat zijn de meest kansrijke bemonsteringsplekken om informatie te kunnen krijgen waarmee dit soort vragen kunnen worden beantwoord? Experimenteel onderzoek liet zien dat niet alle personen DNA achterlaten in een auto waarin ze gereden hebben, en dat DNA van de vaste bestuurder overal in de auto teruggevonden kan worden, zowel aan de bestuurders- als aan de bijrijderskant. DNA van de bijrijder werd echter niet teruggevonden op het stuur. Tot slot liet dit onderzoek zien dat vragen over activiteiten het beste kunnen worden beantwoord als een auto op meer verschillende plekken wordt bemonsterd. De combinatie van sporen en plekken kan iets zeggen over wie er wanneer op welke plek in de auto heeft gereden. Het is dus belangrijk dat de politie voldoende plekken bemonstert. Die hoeven niet direct allemaal te worden geanalyseerd, maar de monsters moeten er wel zijn om alternatieve verklaringen voor aangetroffen sporen te kunnen onderzoeken (De Wolff e.a. 2021). Door kennis uit dit soort experimenten begrijpen we steeds meer over de dynamiek van DNA-sporen en is het steeds beter mogelijk om sporendragers optimaal te bemonsteren en de relevantie van het DNA-bewijs te bepalen. Gebeurtenissen kunnen daardoor preciezer worden gereconstrueerd en bewezen (Kokshoorn e.a. 2017; De Ronde e.a. 2019b).

### **Snelheid en de integratie van processen**

Tot slot is het belangrijk om de snelheid te vergroten waarmee informatie uit DNA-onderzoek in het opsporingsproces kan worden gebruikt. Dit kan de heterdaadkracht vergroten en biedt de mogelijkheid om informatie uit verschillende bronnen snel met elkaar te integreren. Zoals gezegd duurt het momenteel ruim een maand voordat de resultaten van DNA-analyses weer terugkomen bij het politieteam. Bij woninginbraken gaan er vervolgens nog ruim acht dagen overheen voordat deze informatie terechtkomt bij het tactische team dat de zaak

behandelt (Van Zoest e.a. 2020). Er kunnen wel spoedprocedures worden ingezet, waarbij de sporen al binnen een dag naar het NFI kunnen worden gezonden en de analyses ook snel kunnen worden verricht. Er bestaan zogenoemde 'DNA 6-uurstrajecten' en een 48-uursspoedtraject. Deze trajecten worden echter alleen ingezet voor onderzoeken die aan bepaalde criteria voldoen.

Inmiddels is het echter technisch en juridisch ook mogelijk om met mobiele DNA-apparaten snel (in 60 tot 90 minuten) een DNA-profiel te genereren. Deze apparaten kunnen door de politie op of nabij de plaats delict worden bediend, waardoor de gegevens dezelfde dag nog in het opsporingsproces kunnen worden gebruikt. Deze techniek kan niet voor minimale sporen worden ingezet, omdat enerzijds de apparaten minder gevoelig zijn dan laboratoriumonderzoek en anderzijds in het apparaat na de DNA-vermeerderingsstap geen extra sample wordt veiliggesteld voor contra-expertise (zoals wel in het lab gebeurt). Daardoor moet op de plaats delict een extra monster voor contra-onderzoek worden genomen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een splitsbare swab. Het spoor moet dus relatief veel DNA bevatten om deze techniek succesvol in te kunnen zetten. De techniek werkt goed bij bloed en speekselsporen, maar niet bij aanraaksporen. Vooruitlopend op deze nieuwe technische en juridische mogelijkheden is er de afgelopen jaren veel experimenteel onderzoek verricht naar de wijze waarop rechercheurs zelf veilig sporenanalyses kunnen verrichten op de plaats delict. Dit vond plaats binnen het onderzoeksprogramma 'Beter opsporen met het lab op zak' (Mapes 2017; De Gruijter 2017).<sup>16</sup> Daarnaast is er een snelle informatiestroom ontwikkeld tussen politie, OM en NFI om de nieuwe DNA-route met inzet van het mobiele DNA-analyseapparaat in de praktijk mogelijk te maken binnen het project 'Local DNA'.<sup>17</sup> Sinds november 2020, toen het nieuwe DNA-besluit<sup>18</sup> van kracht werd, worden in de proeftuin 'Local DNA' praktijkexperimenten uitgevoerd waarbij het mobiele DNA-analyseapparaat wordt ingezet bij echte zaken in de politie-eenheden Amsterdam en Midden-Nederland.<sup>19</sup> De eerste resultaten van

16 Zie [www.hva.nl/forensisch-onderzoek/gedeelde-content/projecten/projecten/beter-opsporen-met-het-lab-op-zak.html](http://www.hva.nl/forensisch-onderzoek/gedeelde-content/projecten/projecten/beter-opsporen-met-het-lab-op-zak.html).

17 Zie [www.hva.nl/forensisch-onderzoek/gedeelde-content/projecten/projecten/localdna-dna-onderzoek-op-locatie.html](http://www.hva.nl/forensisch-onderzoek/gedeelde-content/projecten/projecten/localdna-dna-onderzoek-op-locatie.html).

18 Besluit DNA-onderzoek in strafzaken, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0012791/2020-11-01>.

19 Zie [www.politie.nl/nieuws/2020/november/23/00-proef-met-mobiel-lab.html](http://www.politie.nl/nieuws/2020/november/23/00-proef-met-mobiel-lab.html).

de proeftuin laten zien dat de inzet van deze techniek soms snel tot resultaten leidt, en het forensisch onderzoek daarmee meer naar de voorkant van het opsporingsproces kan worden getrokken. Dit bevordert de integratie van informatie die door verschillende professionals op verschillende plekken wordt verzameld en het leerproces van de forensische professionals die betrokken zijn bij het onderzoek. De toekomst zal uitwijzen of, en zo ja hoe, deze werkwijze standaard in het forensisch opsporingsproces wordt geïntegreerd.

### **De toekomst van forensisch DNA-onderzoek**

Met dit overzicht heb ik laten zien hoe het forensisch DNA-onderzoek zich de afgelopen jaren heeft ontwikkeld, en ook waar in de toekomst verdere ontwikkelingen kunnen worden verwacht.

Allereerst veronderstel ik dat in de toekomst veel meer dan nu het geval is gebruik kan worden gemaakt van forensische en niet-forensische gegevensbestanden en van gegevens uit experimenteel onderzoek. Daarmee kan met behulp van bigdatatechnieken en kennisgestuurde AI criminologische kennis worden ontwikkeld over hoe mensen misdrijven plegen en welke sporen daarbij achterblijven. En ook over welke alledaagse handelingen daar plaatsvinden en tot welke sporen dat leidt, en over de dynamiek van sporen. Op deze wijze zullen rechercheurs beter in staat zijn delictgerelateerde sporen veilig te stellen en te bemonsteren. Daarnaast kan zo de forensische waarde van de aangetroffen sporen beter worden bepaald. Essentieel daarvoor is dat bij de registratie van gegevens in de opsporingsketen rekening wordt gehouden met de waardevolle informatie die de onderzoeken kunnen opleveren voor de toekomst.

In de tweede plaats verwacht ik dat de snelle analysetechnieken die het mogelijk maken al op de plaats delict sporen te analyseren, leiden tot een betere integratie van gegevens en een beter leerproces van rechercheurs. Deze ontwikkeling kan worden ondersteund door bovengenoemde 'kennis uit eerder onderzoek'. Daarnaast moet deze ontwikkeling worden ondersteund met kennis uit gedragswetenschappelijk en cognitief-psychologisch onderzoek over de wijze waarop professionals in de strafrechtsketen sporen waarnemen, interpreteren en hier beslissingen over nemen (De Poot 2018; De Gruijter & De Poot 2019). Technische mogelijkheden om sporen beter zichtbaar te maken

en om meer informatie af te leiden uit sporen, bijvoorbeeld over de uiterlijke kenmerken en de leeftijd van de donor, maar ook over leefstijl, zoals roken en drinken, kunnen in de toekomst zorgen voor belangrijke aanknopingspunten in het onderzoek en voor extra bewijs. Dit onderzoek is volop in ontwikkeling. Zo is het door *massive DNA sequencing* steeds beter mogelijk om kleine veranderingen in het DNA als gevolg van leefstijl te detecteren en te duiden. Ook is het met deze technieken mogelijk om het DNA van eeniige meerlingen van elkaar te onderscheiden op grond van kleine mutaties in het DNA, en kunnen de technieken worden ingezet om DNA-mengprofielen beter te analyseren en te interpreteren. Tot slot maken deze technieken het steeds beter mogelijk om uiterlijke kenmerken af te leiden uit DNA. Ook RNA-technieken, waarmee de aard van de DNA-houdende cellen kan worden geïdentificeerd, kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het duiden van een spoor (De Zoete e.a. 2016).

Tot slot zijn er technieken in ontwikkeling waarmee de sporen op een plaats delict kunnen worden gedateerd. Onder invloed van omgevingsfactoren vindt afbraak van met name RNA-moleculen op een voorspelbare wijze plaats. Door deze processen beter te begrijpen wordt het mogelijk om te bepalen wanneer een spoor is achtergebleven op een plaats delict, en dus of er een relatie kan zijn tussen het spoor en het delict. Al deze ontwikkelingen zorgen ervoor dat DNA-onderzoek kan helpen bij het preciezer reconstrueren van strafbare feiten. Het DNA-onderzoek zal dan niet alleen een nog belangrijker plek innemen in de bewijsvoering van strafzaken, maar ook meer bepalend worden aan de voorkant van het opsporingsproces, bij het opbouwen van het verhaal over het misdrijf en het identificeren van de mogelijke dader.

## Literatuur

### **Van den Bogaert 2016**

K. van den Bogaert, *Gerichte DNA-bemonstering na greepspoorvisualisatie op kleding* (afstudeerscriptie recherchekunde), Apeldoorn: Politie-academie 2016.

### **Bruijns 2019**

B.B. Bruijns, *Microfluidic devices for presumptive forensic tests* (diss. Enschede), 2019.

**Champion e.a. 2021**

J. Champion, P. Kanokwongnawut, R.A.H. van Oorschot e.a., 'Evaluation of a fluorescent dye to visualize touch DNA on various substrates', *Journal of Forensic Sciences* 2021, afl. 2, doi: 10.1111/1556-4029.14695.

**Ericsson 2006**

K.A. Ericsson, 'The influence of experience and deliberate practice on the development of superior expert performance', in: K.A. Ericsson, N. Charness, P.J. Feltovich & R.R. Hoffman (red.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, Cambridge: Cambridge University Press 2006, p. 683-702.

**Van Esch 2014**

S. van Esch, *Het visualiseren van greepsporen op kleding ten behoeve van een gerichte DNA-bemonstering* (afstudeerscriptie recherchekunde), Apeldoorn: Politieacademie.

**De Gruijter 2017**

M. de Gruijter, *The influence of rapid identification technologies on CSI behaviour* (diss. Amsterdam VU), 2017.

**De Gruijter & de Poot 2019**

M. de Gruijter & C.J. de Poot, 'Cognitive challenges at the crime scene. The importance of social science research when introducing mobile technologies at the crime scene', *Forensic Science International* (297) 2019, p. 16-18.

**De Gruijter e.a. 2016**

M. de Gruijter, C.J. de Poot & H. Elffers, 'The influence of new technologies on the visual attention of CSIs performing a crime scene investigation', *Journal of Forensic Sciences* (61) 2016, afl. 1, p. 43-51.

**De Gruijter e.a. 2017a**

M. de Gruijter, C. Nee & C.J. de Poot, 'Rapid identification information and its influence on the perceived clues at the crime scene. An experimental study', *Science and Justice* (57) 2017, afl. 6, p. 421-430.

**De Gruijter e.a. 2017b**

M. de Gruijter, C.J. de Poot & H. Elffers, 'Reconstructing with trace information. Does rapid identification information lead to better crime reconstructions?', *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling* (14) 2017, afl. 1, p. 88-103.

**Hoekstra 2004**

W.P.M. Hoekstra, *De blauwdruk. Feiten en ficties over DNA*, Amsterdam: Amsterdam University Press 2004.

**Home Affairs Committee 2010**

Home Affairs Committee, *The National DNA Database. Eighth report of Session 2009-10*, Londen: The Stationery Office 2010.

**Kanokwongnuwut e.a. 2018**

P. Kanokwongnuwut, P. Kirkbride & A. Linacre, 'Detection of latent DNA', *Forensic Science International: Genetics* (37) 2018, p. 95-101.

**Kayser 2015**

M. Kayser, 'Forensic DNA phenotyping: Predicting human appearance from crime scene material for investigative purposes', *Forensic Science International: Genetics* (18) 2015, p. 33-48.

**Kloosterman 2001**

A.D. Kloosterman, *DNA als gerechtelijk bewijsmateriaal*, Den Haag: Nederlands Forensisch Instituut 2001.

**Kokshoorn e.a. 2017**

B. Kokshoorn, B. Blankers, J. de Zoete & C. Berger, 'Activity level DNA evidence evaluation. On propositions addressing the actor of activity', *Forensic Science International* (278) 2017, afl. 9, p. 115-124.

**Kruize & Gruter 2018**

P. Kruize & P. Gruter, *Op 't goede spoor*, Amsterdam: Ateno 2018.

**Mapes 2015**

A.A. Mapes, 'DNA by the numbers. Locations of usable DNA based on 24,466 crime scene samples', *Forensic Magazine* (12) 2015, afl. 5, p. 8-9.

**Mapes 2017**

A.A. Mapes, *Rapid DNA technologies at the crime scene. 'CSI' fiction matching reality* (diss. Amsterdam UvA), 2017.

**Mapes e.a. 2014**

A.A. Mapes, C.J. de Poot & A.D. Kloosterman, 'De rol van DNA bij het vinden van een dader. Het succesverhaal rond DNA als opsporingsmiddel in perspectief', *Tijdschrift voor Criminologie* (56) 2014, afl. 3, p. 29-46.

**Mapes e.a. 2016**

A.A. Mapes, A.D. Kloosterman, V. van Marion & C.J. de Poot, 'Knowledge on DNA success rates to optimize the DNA analysis process. From crime scene to laboratory', *Journal of Forensic Sciences* (61) 2016, afl. 4, p. 1055-1061.

**Mapes e.a. 2018**

A.A. Mapes, R.D. Stoel, C.J. de Poot, P. Vergeer & M. Huyck, 'Decision support for using mobile rapid DNA analysis at the crime scene', *Science and Justice* (59) 2018, afl. 1, p. 29-45.

**Matheson 2016**

S. Matheson, 'DNA phenotyping: Snapshot of a criminal', *Cell* (166) 2016, afl. 5, p. 1061-1064.

**Mattijssen 2021**

E. Mattijssen, *Forensic judgments. Validity, reliability, and bias* (diss. Nijmegen), 2021.

**Meulenbroek 2018**

A.J. Meulenbroek, *De essenties van forensisch biologisch onderzoek. Humane biologische sporen en DNA*, Zutphen: Uitgeverij Paris 2018.

**Meulenbroek & Poley 2014**

A.J. Meulenbroek & P. Poley, *Kroongetuige DNA*, Amsterdam: De Bezige Bij 2014.

**Van Oorschot e.a. 2019**

R. van Oorschot, B. Szkuta, G.E. Meakin, B. Kokshoorn & M. Goray, 'DNA transfer in forensic science. A review', *Forensic Science International: Genetics* (38) 2019, afl. 1, p. 140-166.

**De Poot 2010**

C.J. de Poot, 'Kennisgestuurd redden. Evidence based onderzoek voor de opsporingspraktijk', *Cahiers Politiestudies* (17) 2010, p. 101-125.

**De Poot 2013**

C.J. de Poot, 'Het nut van een beperkte DNA-databank', *Het tijdschrift voor de politie* (75) 2013, afl. 1, p. 20-21.

**De Poot 2018**

C.J. de Poot, *De reconstructie van strafbare feiten*, Den Haag: Boom criminologie 2018.

**De Poot & Kruisbergen 2006**

C.J. de Poot & E.W. Kruisbergen, *Kringen rond de dader. Groot-schalig DNA-onderzoek als instrument in de opsporing*, Den Haag: Boom Juridische uitgevers 2006.

**De Poot e.a. 2004**

C.J. de Poot, R.J. Bokhorst, P.J. van Koppen & E.R. Muller, *Rechercheportret. Over dilemma's in de opsporing*, Alphen aan den Rijn: Kluwer 2004.

**Raad van Hoofdcommissarissen 2004**

Raad van Hoofdcommissarissen, *Spelverdelers in de opsporing*, Amsterdam: Projectgroep Forensische Opsporing 2004.

**De Ronde e.a. 2019a**

A. de Ronde, M. van Aken, M. de Puit & C.J. de Poot, 'A study into fingermarks at activity level on pillowcases', *Forensic Science International* (295) 2019, afl. 2, p. 113-120.

**De Ronde e.a. 2019b**

A. de Ronde, B. Kokshoorn, C.J. de Poot & M. de Puit, 'The evaluation of fingermarks given activity level propositions', *Forensic Science International* (302) 2019/109904.

**De Ronde e.a. 2020**

A. de Ronde, M. van Aken, C.J. de Poot & M. de Puit, 'A study into evaluating the location of fingermarks on letters given activity level propositions', *Forensic Science International* (315) 2020/110443.

**De Ronde e.a. 2021**

A. de Ronde, B. Kokshoorn, M. de Puit & C.J. de Poot, 'Using case specific experiments to evaluate fingermarks on knives given activity level propositions', *Forensic Science International* (320) 2021/110710.

**Williams & Johnson 2008**

R. Williams & P. Johnson, *Genetic policing. The use of DNA in criminal investigations*, Cullompton: Willan 2008.

**De Wolff e.a. 2021**

T.R. de Wolff, L.H.J. Aarts, M. van den Berge, T. Boyko e.a., 'Prevalence of DNA of regular occupants in vehicles', *Forensic Science International* (320) 2021/110713.

**Xavier e.a. 2020**

C. Xavier, M. de la Puente, A. Mosquera-Miguel, A. Freire-Aradas e.a., 'Development and validation of the VISAGE AmpliSeq basic tool to predict appearance and ancestry from DNA', *Forensic Science International: Genetics* (48) 2020/102336.

**Van Zoest e.a. 2020**

P. van Zoest, M. Knapp & I. Smits, *Uitkomsten van de proeftuin Anders op de PD*, Utrecht: Andersson Elffers Felix 2020.

**De Zoete e.a. 2016**

J. de Zoete, W. Oostermans, B. Kokshoorn & M. Sjerps, 'Cell type determination and association with the donor', *Forensic Science International* (25) 2016, p. 97-111.

**Zuidberg e.a. 2018**

M. Zuidberg, L.C. Schreuders, H.C. Tops & A.A. Mapes, *Eindrapportage DNA-succesmeter*, 2018.