



# Vakbijlage Gebruik van 3D-modellen in forensisch onderzoek

## Inhoudsopgave

1. De vakbijlage algemeen
2. Inleiding
3. Het 3D-model
4. Het 3D-model als meetomgeving
  - 4.1. Het model
  - 4.2. Meten in het model
  - 4.3. Omgaan met meetfouten
5. Het 3D-model voor visualisatiedoeleinden
  - 5.1. Stilstaande beelden
  - 5.2. Visualisatie met bewegende beelden
  - 5.3. Visualisatie van een momentopname
  - 5.4. Visualisatie van een dynamische situatie
6. Verklarende woordenlijst
7. Literatuur

## 1. De vakbijlage algemeen

Het Nederlands Forensisch Instituut (NFI) kent een groot aantal typen onderzoek. In principe gaat elk onderzoeksrapport van het NFI vergezeld van een vakbijlage, als die beschikbaar is. Deze dient als toelichting op het onderzoek en heeft een zuiver informatief karakter. De informatie die van toepassing is op een specifieke zaak staat altijd in het onderzoeksrapport vermeld. De vakbijlage geeft weer hoe en met welke technieken en hulpmiddelen een dergelijk onderzoek over het algemeen plaatsvindt. Aan het eind van de vakbijlage zijn een verklarende woordenlijst en een literatuurverwijzing opgenomen.

## 2. Inleiding

Deze vakbijlage gaat in op de algemene mogelijkheden voor het vervaardigen en het gebruik van 3D-modellen. Daarop volgt een beschrijving van het vervaardigen en het gebruik van een 3D-model voor metingen en visualisaties.

In strafrechtelijke onderzoeken komen soms vragen op, die driedimensionale computermodellen kunnen helpen beantwoorden. Dat kan zijn door 3D-modellen te gebruiken als instrument om metingen uit te voeren en als hulpmiddel

om een situatie te visualiseren. Beide toepassingen vergen een 3D-model van een object, persoon of omgeving, maar beide toepassingen stellen verschillende eisen aan het model. Voor een 3D-model als meetinstrument is precisie van belang. De visualisatie hoeft er slechts voor te zorgen dat degenen die de metingen uitvoeren het model begrijpen. Een 3D-model voor een visualisatie moet juist voor leken eenvoudig te begrijpen zijn. De precisie van het model kan (op sommige onderdelen) minder van belang zijn. Bij visualisatieaanvragen zal er altijd overleg nodig zijn met de opdrachtgever. Een van de zaken die dan ook besproken worden is de relevantie tot het gehele onderzoek.

### 3. Het 3D-model

Om een driedimensionaal computermodel van een bepaalde omgeving te kunnen maken, moet die omgeving ingemeten worden. Er zijn verschillende methoden om dat te doen:

- met een meetlint of rolmaat;
- door het vastleggen van punten in de omgeving met een landmeetapparaat;
- door het maken van een 3D-laserscan van die omgeving met daarin eventuele objecten.
- door het fotograferen van de betreffende omgeving. Fotogrammetrische software kan vervolgens de juiste maten van de objecten in de foto's bepalen;

#### *Opmeten van de omgeving*

De omgeving wordt opgemeten met behulp van een meetinstrument. De onderzoekers voeren de maten rechtstreeks in de 3D-modelleromgeving in. Zo komen de objecten in de juiste maat en op de juiste positie in die omgeving terecht. Het inmeten op deze manier kan bewerkelijk en ook lastig zijn. Daardoor neemt de kans op fouten toe.

#### *Landmeetapparaat*

Een landmeetapparaat belicht met een laserstraal een punt in de omgeving. Uit het gereflecteerde licht kan het apparaat de positie van het punt in de omgeving bepalen. Zo leggen de onderzoekers punten in de omgeving vast. Deze zijn te exporteren naar de 3D-modelleromgeving.

#### *3D-laserscanner*

Tijdens een 3D-laserscan tast een laserstraal puntsgewijs een omgeving af. Dit leidt tot een beschrijving van elk object in een 3D-omgeving als een grote verzameling punten, een zogeheten puntenwolk. Deze puntenwolk dient als basis voor 3D-modellering van objecten.

#### *Fotogrammetrische software*

Fotogrammetrische software dient om aan de hand van foto's driedimensionale modellen van objecten te reconstrueren. Dat gebeurt door in verschillende foto's overeenkomstige punten aan te wijzen. Afhankelijk van de foto's en de gebruikte software kan dit handmatig of automatisch gebeuren. Op basis van deze overeenkomstige punten rekent de software vervolgens uit waar de camera moet hebben gestaan om dit resultaat te krijgen. De berekende cameraposities maken het op hun beurt weer mogelijk om elk punt, dat op ten minste twee foto's voorkomt, precies te positioneren in de omgeving. Deze punten, eventueel verbonden door lijnen, zijn te exporteren naar de 3D-modelleromgeving. Bij gebruik van software waarbij automatisch overeenkomstige punten worden aangewezen en een juiste reeks foto's gebruikt wordt, kan het resultaat zelfs een grote verzameling van punten zijn, een puntenwolk.

Elke methode heeft praktische voor- en nadelen en elke combinatie van methoden kan voorkomen. De keuze voor de methode ligt bij de onderzoekers, maar is afhankelijk van de situatie. Landmeetapparatuur en de 3D-laserscanner hebben in het algemeen de voorkeur omdat deze een grotere precisie hebben.

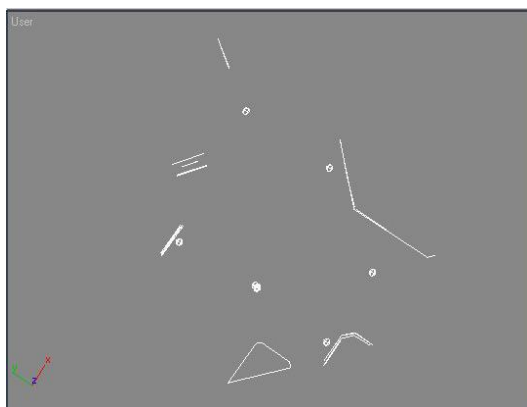
### 4. Het 3D-model als meetomgeving

#### 4.1. Het model

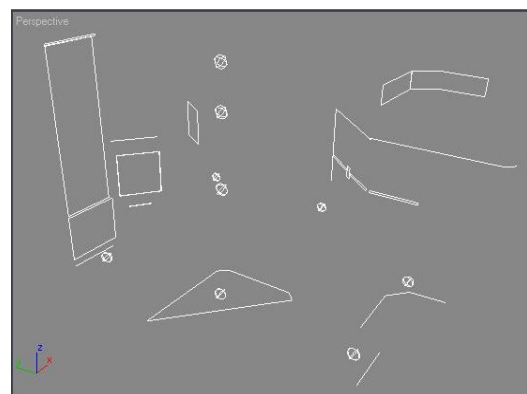
Het vaakst is er vraag naar een 3D-model als meetomgeving. Dit komt voor als er foto's en/of videobeelden zijn van een incident en er een vraag is over een bepaalde persoon of bepaald object in de beelden. Het kan bijvoorbeeld gaan om de lengte van een persoon of de snelheid van een auto die voorbij rijdt.

In deze gevallen wordt er een (eenvoudig) 3D-model gemaakt van vaste objecten in de omgeving, die zichtbaar zijn in de beelden van het incident. Daarvoor is het noodzakelijk dat er tijdens het inmeten van de omgeving nog voldoende objecten ongewijzigd op de plaats van het incident aanwezig zijn om vast te leggen. Indien dit niet het geval is, is het nodig dat deze eerder al voldoende nauwkeurig zijn vastgelegd. Het 3D-model dat de onderzoekers op basis van deze metingen maken, wordt daarna vanuit eenzelfde perspectief bekeken als de beelden van het incident. Het bepalen van het juiste perspectief heet de cameramatch. Het 3D-model kan vervolgens over het beeld van het incident geprojecteerd worden. De figuren 1 tot en met 3 tonen deze stappen. Figuur 1 toont het 3D-

model vanuit een willekeurig aanzicht, figuur 2 toont het 3D-model vanuit het perspectief-aanzicht van de camera en figuur 3 toont het 3D-model geprojecteerd op het videobeeld.



Figuur 1. Eenvoudig driedimensionaal computermodel vanuit een bovenaanzicht.



Figuur 2. Eenvoudig driedimensionaal computermodel vanuit het perspectief-aanzicht dat gelijk is aan het perspectief-aanzicht van het camerabeeld.



Figuur 3. Eenvoudig driedimensionaal computermodel geprojecteerd op het camerabeeld.

Het model bestaat slechts uit punten en lijnen. Het computermodel in deze figuren is daarom weinig aansprekend voor mensen die geen ervaring hebben met dit soort modellen. Maar elke punt is wel met de grootste mogelijke nauwkeurigheid vastgelegd.

#### 4.2. Meten in het model

Wanneer het model is gemaakt en de cameramatch is uitgevoerd, kunnen de onderzoekers in het beeld gaan meten. Dat doen ze door een nieuw object in de 3D-omgeving te plaatsen op de positie waar ze moeten meten. Als de opdrachtgever bijvoorbeeld de lengte wil weten van de persoon die in figuur 3 achter in beeld staat, kan de onderzoeker een model van een cilinder op de locatie van die persoon plaatsen. De hoogte van de cilinder vanaf de grond zegt dan iets over de lengte van de afgebeelde persoon.

#### 4.3. Omgaan met meetfouten

Elke meting heeft een zekere meetfout in zich. Om inzicht te krijgen in de grootte van de meetfout gebruikt het NFI een methode die is gepubliceerd in internationale forensische vaktijdschriften; zie hiervoor de literatuurverwijzingen 1, 2 en 3. Bij deze methode maken de onderzoekers met hetzelfde camerasysteem als waarmee de beelden van het incident zijn opgenomen, vergelijkingsopnamen van een bekende situatie. Ze behandelen deze referentiebeelden op eenzelfde manier als de beelden van het incident. Vervolgens vergelijken ze de resultaten met de bekende situatie. Zo kunnen ze, mede met behulp van statistische analyse, een schatting maken van de meetfout.

Om een dergelijk onderzoek te kunnen uitvoeren moet wel aan bepaalde voorwaarden zijn voldaan:

- het camerasysteem waarmee de beelden zijn opgenomen moet ongewijzigd aanwezig zijn en beschikbaar voor onderzoek op locatie;
- het te onderzoeken object (of een soortgelijk object) moet beschikbaar zijn voor onderzoek;
- er moeten voldoende vaste punten uit de incidentsbeelden nog ongewijzigd aanwezig zijn. Dat zijn er minimaal vijf bij een ideale verdeling in het beeld.

Voorbeeld: Het bepalen van de snelheid van een auto.

Een bewakingscamera heeft beelden opgenomen van een auto die van links naar rechts door het beeld rijdt. De vraag is hoe snel deze auto rijdt.

De eerste vervolgvraag is, of de situatie aan de eerdergenoemde randvoorwaarden voldoet. Dit betekent onder andere dat de betreffende auto bij voorkeur in normaal functionerende conditie beschikbaar is. Als de auto bijvoorbeeld beschadigd is, moet er een vergelijkbare auto

beschikbaar zijn. Op welke kenmerken deze auto vergelijkbaar moet zijn hangt af van de zichtbare details in het beeld. Over het algemeen moet de auto van hetzelfde merk en type zijn en dezelfde kleur hebben.

Op de locatie waar de beelden zijn opgenomen, leggen de onderzoekers de coördinaten van een aantal punten vast voor de 3D-omgeving. Ze controleren het camerasysteem op juist functioneren, in overeenstemming met de aangeleverde opname van de auto. Hierna voeren ze ritten met de auto uit over het traject dat de auto in de aangeleverde beelden volgt. Ze filmen de ritten, leggen vast welke beelden bij welke rit horen en welke snelheid de auto daarbij heeft. De beelden van deze ritten worden de referentiebeelden genoemd.

De uitwerking van de referentiebeelden en de aangeleverde beelden gebeurt op eenzelfde manier. De onderzoekers bekijken het 3D-model met vastgelegde punten van de omgeving vanuit eenzelfde perspectief als de camerabeelden en projecteren het model op de camerabeelden. Ze plaatsen een eenvoudig 3D-model van de auto in het 3D-model van de omgeving, over de afbeelding van de auto in het camerabeeld. Ze doen dit voor minstens twee beelden van een rit en bepalen op grond daarvan de afstand tussen de twee posities. Door deze afstand te delen door het tijdsverloop tussen die twee beelden bepalen ze de snelheid.

Van de referentiebeelden bepalen ze voor elke rit het verschil tussen de werkelijke snelheid - de snelheid die is vastgelegd tijdens het rijden - en de snelheid zoals die bepaald is op grond van de beelden, de beeldsnelheid. Het gemiddelde van al deze meetgegevens geeft een maat voor de systematische meetfout en de standaarddeviatie van dit gemiddelde zegt iets over de toevallige fout. Aan de hand van deze meetgegevens wordt een kansinterval berekend voor de snelheid van de auto in de aangeleverde beelden. De onderzoekers rapporteren de snelheid door de grenzen van het berekende 95%-kansinterval te geven. Dit 95%-kansinterval houdt in dat er een kans van 95% is dat de snelheid van de auto in de aangeleverde beelden tussen de gerapporteerde minimale en maximale snelheid lag. Meer gedetailleerde informatie over de berekening van het kansinterval is te vinden in literatuurverwijzing 3.

## 5. Het 3D-model voor visualisatiedoeleinden

Soms stelt een opdrachtgever de vraag of het mogelijk is een 3D-visualisatie van een incident of een deel daarvan te maken. Die vraag kan voortkomen uit een behoefte aan visualisatie van een aantal verschillende scenario's. Ook kan

het zijn dat er videobeelden van verschillende camera's beschikbaar zijn en er meer inzicht in de situatie gewenst is. Een visualisatie moet niet gezien worden als een reconstructie van de werkelijkheid. De visualisatie die wordt opgeleverd is afhankelijk van de aangeleverde aannamen en waarnemingen. Als de waarnemingen of aangeleverde aannamen wijzigen, leidt dat tot een ander eindresultaat.

Een 3D-visualisatie kan bestaan uit één of meerdere stilstaande beelden, of uit één of meer reeksen bewegende beelden. Bij één of meerdere stilstaande beelden gaat het om een situatie waaruit een moment wordt gekozen dat vanuit één of meerdere standpunten wordt getoond. Een voorbeeld vormt de visualisatie van een schietincident, waarbij het moment van schieten vanuit verschillende standpunten wordt getoond.

Bij bewegende beelden tonen één of meerdere filmpjes een situatie; die filmpjes heten animaties. Bij deze animaties kan het zijn dat de situatie niet verandert, maar het standpunt wel. Een voorbeeld vormt de visualisatie van een schietincident, waarbij het moment van schieten vanuit het perspectief van de schutter wordt getoond, waarna het standpunt overgaat naar het perspectief van een getuige of het slachtoffer. Het kunnen ook filmpjes zijn waarbij de situatie wel verandert, eventueel in combinatie met een verandering van het standpunt. Een voorbeeld hiervan is de visualisatie van het traject dat een auto heeft afgelegd.

Om een computervisualisatie te kunnen maken zullen de onderzoekers eerst een 3D-model van de plaats van het incident moeten maken. Het ligt aan de beschikbare data hoe nauwkeurig dit kan. Zijn er foto's beschikbaar? Is er een 3D laserscan gemaakt? Zijn er afstandsmetingen uitgevoerd? Is de plaats van het incident nog ongewijzigd beschikbaar? Hierbij is ook de betrouwbaarheid van de data van belang. Zo kunnen er zaken gewijzigd zijn tussen de momenten van vastleggen met verschillende methoden, zeker als er langere tijd tussen zit. Ook tijdens het vastleggen kunnen er zaken wijzigen, zoals het geheel of gedeeltelijk openen of sluiten van deuren en het verzetten van meubels.

Het is niet mogelijk om alle details op de plaats van het incident te modelleren. Objecten die op een tafel, kast of op de grond liggen of staan worden over het algemeen niet gemodelleerd. Alleen belangrijke objecten komen voor modellering in aanmerking. Om de keuze van wat belangrijk is te kunnen bepalen, moet de vraagstelling duidelijk zijn. Waarom wordt het model gemaakt? Wat gaat ermee gebeuren? Een model wordt specifiek voor een bepaald onderzoek gemaakt en kan niet zonder meer ingezet worden voor een ander onderzoek in dezelfde zaak.

Voor het maken van een 3D-model van een persoon bestaat een standaard mensmodel waarvan de lichaamslengte en de grootte van armen, benen, hoofd en romp kunnen worden aangepast. De vorm wordt beperkt doordat het standaardmodel een benadering is van de werkelijkheid. Als details in de vorm van de persoon belangrijk zijn, kan geen gebruik gemaakt worden van een standaardmodel. De details van de persoon zullen dan vastgelegd moeten worden met bijvoorbeeld een 3D laserscanner, CT-scanner, foto of ander middel.

Als de locatie van een gevonden spoor zoals een kogelinslag, bloedspoor of kogelhuls is vastgelegd, kan deze worden opgenomen in het 3D-model. In het algemeen geldt, dat de nauwkeurigheid waarmee de locatie van zo'n spoor in het 3D-model bepaald kan worden, van invloed is op de bruikbaarheid van dit spoor. Voor de interpretatie van een spoor is over het algemeen de expertise nodig van een specifieke deskundige. Voor een kogelbaan is dat bijvoorbeeld een deskundige op het gebied van wapens en munitie.

De aanvrager van het onderzoek zal de aannames moeten aandragen die van belang zijn om het model te maken. Dit zijn bijvoorbeeld de positie of stand van een schutter of het wel of niet plaatsen van bepaalde objecten. Door aannames te veranderen, zoals de schutter of het slachtoffer op een andere plaats te zetten, is het mogelijk verschillende scenario's te visualiseren.

Het is ook mogelijk scenario's te testen. De onderzoekers beoordelen dan of het mogelijk is om met alle beschikbare sporen en verklaringen een bepaalde aangedragen situatie te modelleren. Er zal dan antwoord worden gegeven op in- of uitsluiting. Bijvoorbeeld: kan een schutter op een aangegeven positie staan, gegeven een aangetroffen kogelbeschadiging? Kan een getuige gezien hebben wat hij/zij verklaart gezien de objecten/gebouwen in de omgeving? Hiervoor is het belangrijk dat de aanvrager weet welk scenario er getest moet worden. Dit scenario moet dan duidelijk beschreven staan. Het is ook mogelijk om scenariotesten interactief uit te voeren. Tijdens een bijeenkomst kunnen de betrokken partijen bepaalde scenario's aandragen en dit zal dan op dat moment schematisch vastgelegd worden. Na de bijeenkomst zullen de onderzoekers de relevante scenario's in detail uitwerken.

### 5.1. Stilstaande beelden

Deze vakbijlage onderscheidt visualisaties met stilstaande beelden van visualisaties met bewegende beelden. Bij een visualisatie met stilstaande beelden wordt een bepaald moment van een situatie gemodelleerd. Dit moment wordt vanuit één of meerdere camerastandpunten bekeken. Het gebruik van stilstaande beelden heeft bepaalde voordelen:

- de beelden kunnen direct gebruikt worden in een papieren rapportage;
- de beelden kunnen ook digitaal worden aangeleverd en op elke computer zonder problemen worden bekeken; Het nadeel van stilstaande beelden is dat het soms lastig is om het 3D-model goed te interpreteren.

### 5.2. Visualisatie met bewegende beelden

Een visualisatie met bewegende beelden kan betrekking hebben op een momentopname of op een dynamische situatie. Bij een momentopname leidt de visualisatie de kijker naar verschillende aanzichten, maar de gebeurtenis zelf verandert niet. Bij een dynamische situatie ziet de kijker een situatie veranderen, waarbij het ook mogelijk is dat het aanzicht verandert.

### 5.3. Visualisatie van een momentopname

Van een 3D-model van een momentopname kan behalve een stilstaand beeld vanuit een vast aanzicht ook een video gemaakt worden waarbij het aanzicht verandert. In dat geval wordt het aanzicht geanimeerd. Een voorbeeld is de visualisatie van een schietincident op het moment van schieten. Het aanzicht kan beginnen vanuit het gezichtspunt van de schutter en dan uitzoomen, zodat er een overzicht van de gehele situatie ontstaat. Het voordeel van een dergelijke video is dat de kijker over het algemeen het 3D-model eenvoudig kan interpreteren.

### 5.4. Visualisatie van een dynamische situatie

Bij een visualisatie van een veranderende situatie spreken we over een animatie van de situatie. De onderzoekers kunnen de animatie in dat geval baseren op interpolatie of op simulatie.

Bij interpolatie tussen twee (bekende) uitgangspunten wordt de gebeurtenis ingevuld door een verloop van de ene situatie naar de andere te kiezen. Voorbeeld: de verplaatsing van een persoon van de ene naar de andere ruimte. Als er als uitgangspunt een bepaalde tijd wordt genomen waarin de persoon van de ene positie naar de andere is gegaan, kan dit ingevuld worden door een animatie van een persoon die met een vaste eenparige snelheid de afstand in een rechte lijn overbrugt.

Bij simulatie wordt aan de hand van fysische modellen vanuit een bepaalde beginpositie het verdere verloop van de situatie berekend. De begin- en eindsituatie en randvoorwaarden bepalen hierbij hoeveel spreiding er mogelijk is in het verloop van de situatie. Bij onderzoek naar verkeersongevallen gebruiken de onderzoekers simulatiesoftware om voertuigbewegingen te voorspellen op basis van parameters zoals remsporen, massa van het voertuig, het soort banden en dergelijke. De uitkomsten van

deze simulatie kunnen dienen om een animatie van de voertuigbewegingen te maken. Een probleem met animaties is dat er vaak veel aannames gemaakt moeten worden. Welke dat zijn hangt af van de hoeveelheid bekende informatie. Een beoordeling van de invloed die de aannames hebben op het eindresultaat is moeilijk in te schatten en hangt mede af van de vraagstelling. In het eenvoudige voorbeeld van de verplaatsing van een persoon van de ene naar de andere ruimte zitten al twee aannames: de persoon verplaatst zich in een rechte lijn en de persoon heeft een eenparige snelheid. Een daadwerkelijke visualisatie vergt nog meer aannames. Heeft de persoon bijvoorbeeld beperkingen, zoals iets in de hand of verwondingen? In welke houding moet de persoon afgebeeld worden? Lagen er obstakels op zijn pad? Dit soort kwesties maakt een forensische animatie tot complexe materie. Aannames die bij het maken van de animatie schijnbaar voor de hand liggen of onbelangrijk lijken, kunnen achteraf zeer belangrijk blijken. Zolang de animatie niet ondersteund kan worden door gevalideerde simulaties, kan een animatie misleidend zijn. Om deze reden gaat de onderzoeksgroep Beeldonderzoek & Biometrie zeer terughoudend om met verzoeken tot het maken van animaties van een situatie.

## 6. Verklarende woordenlijst

### *Eenparige snelheid*

Een snelheid die niet verandert.

### *Fotogrammetrie*

Methodiek die zich bezighoudt met het opmeten in beeldmateriaal en het interpreteren van die metingen. Van belang zijn het bepalen en beschrijven van de vorm en afmeting (geometrie) en de ligging van objecten.

### *Landmeetapparaat*

Apparaat waarmee met behulp van een laserstraal punten in de ruimte vastgelegd kunnen worden.

### *Laserscanner*

Apparaat dat met laserstralen afstanden naar een bepaald object meet. Deze afstanden worden als 3D-punten digitaal opgeslagen. Daardoor ontstaat een puntenwolk van het gescande object. Het object of de ruimte wordt vaak vanuit verschillende posities ingemeten.

### *Standaarddeviatie*

Een maat voor de spreiding van een rij getallen om het gemiddelde. Dit getal wordt meestal aangeduid met de letter  $\sigma$  en wordt ook wel de standaardafwijking genoemd.

## 7. Literatuur

1. Bart Hoogeboom; Ivo Alberink, Mirelle Goos, Body Height Measurements in Images, J. Forensic Sci, 2009, Vol. 54, No 6, pp 1365 – 1375
2. Bart Hoogeboom; Ivo Alberink, Measurement Uncertainty When Estimating the Velocity of an Allegedly Speeding Vehicle from Images, J. Forensic Sci, 2010, Vol. 55 Issue 5, pp 1347 – 1351
3. Arjan Mieremet, Ivo Alberink, Bart Hoogeboom, Derk Vrijdag, Probability Intervals of Speed Estimations from Video Images: the Markov Chain Monte Carlo Approach, Forensic Science International, 2018, vol. 288, pp 29 - 35

Voor de lezer die na het lezen van deze vakbijlage meer wil weten over dit vakgebied, vormen onderstaande publicaties een goed startpunt:

4. Minhua Ma; Huiru Zheng, Harjinder Lallie, Virtual Reality and 3D Animation in Forensic Visualization, J. Forensic Sci, 2010, Vol 55, Issue 5, pp 1227 – 1231
5. Ursula Buck et al., Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation, Forensic Science International, 170 (2007), pp 20 - 28



Voor algemene vragen kunt u contact opnemen met de Frontdesk, telefoon (070) 888 68 88. Voor inhoudelijke vragen kunt u contact opnemen met het onderzoeksgebied Beeldonderzoek en biometrie van de afdeling DTB, telefoon (070) 888 6400.

Nederlands Forensisch Instituut  
Ministerie van Veiligheid en Justitie

Postbus 24044 | 2490 AA Den Haag | Nederland  
T +31 70 888 66 66 | Fax +31 70 888 65 55

[www.forensischinstituut.nl](http://www.forensischinstituut.nl)

© Rijksoverheid, mei 2018