

Bijlage B

Inwinning Terreinopnamen

Van	AM Informatie
Eigenaar	Roelof Boekhold
Kenmerk	
Versie	1.1
Datum	15 december 2017
Bestand	171215 Bijlage B - Bestek Inwinning terreinopnamen 1.1
Onderwerp	
Status	Definitief

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Te leveren producten	5
2.1	Algemeen	5
2.2	Opnamen	5
2.2.1	Eisen waaraan de opnamen dienen te voldoen	5
2.2.2	Op te leveren bescheiden	7
2.2.3	Kwaliteitscontrole	8
2.3	Puntenwolk	9
2.3.1	Eisen waaraan de puntenwolk dient te voldoen	9
2.3.2	Op te leveren bescheiden	9
2.3.3	Kwaliteitscontrole	9
Bijlage 1	Definitie van de absolute oriënteringsparameters	11

1 Inleiding

ProRail is druk bezig met het inrichten en bouwen van een nieuw informatiesysteem dat ProRailbreed ingezet gaat worden. Dit informatiesysteem zal bestaan uit allerlei objecten, die voor het uitvoeren van de taken van ProRail van belang zijn. Elk object bezit een vast gedefinieerde metadataset. Een deel van deze objecten kent een locatiegebonden component. Dit betekent dat de geografische positie van dergelijke objecten, eventueel aangevuld met vorm- en grootte-informatie, bekend moet zijn in het informatiesysteem.

ProRail heeft besloten dat het bepalen van de geografische positie en de typering van de locatiegebonden objecten voor het overgrote deel van het spoorwegennet het beste kan plaatsvinden aan de hand van in te winnen luchtopnamen. Maar voor een klein deel van het spoorwegennet zal dit niet mogelijk zijn. Het betreft de volgende delen van het spoor:

- Sporen, die gelegen zijn onder de perronoverkappingen van stations.
- Sporen, die gelegen zijn in tunnels.

ProRail wil ook in deze vanuit de lucht niet zichtbare gebieden de positie van de locatiegebonden objecten kennen. Voor de buiten stations in tunnels gelegen spoortrajecten zal ProRail de objecten aangeleverd krijgen als spin-off van een ander bij ProRail lopend project. Deze spoortrajecten maken geen deel uit van de in dit bestek beschreven werkzaamheden. Voor de onder de perronoverkappingen van stations gelegen locatiegebonden objecten wenst ProRail digitaal beeldmateriaal te ontvangen waarop de objecten zichtbaar zijn. Dit beeldmateriaal moet, al dan niet in combinatie met andere informatiebronnen, ook geschikt zijn voor het bepalen van de topografische locatie van de objecten. Het inwinnen van dit beeldmateriaal en, zo nodig, de daarbij benodigde andere informatiebronnen ten behoeve van de geopositionering vormt onderdeel van de in dit bestek beschreven werkzaamheden.

ProRail heeft meerdere redenen om beeldmateriaal te laten inwinnen, te weten:

1. Kwalitatief goede fotografische opnamen bevatten een hoge informatiedichtheid waarin alle gevraagde locatiegebonden objecten op en rondom de spoorzone zichtbaar zijn.
2. De opnamen kunnen ingezet worden bij het bepalen van de topografische positie van de locatiegebonden objecten. Onder de perronoverkappingen van de stations maakt dit de inwinning van de objecten veiliger omdat men de spoorzone niet hoeft te betreden.
3. De opnamen vormen een momentopname van de situatie op een bepaald tijdstip. Aangezien de interpretatie en aanmeting van objecten plaatsvindt in beelden kunnen er naderhand altijd interpretaties en karteringen uitgevoerd worden voor specifieke situaties en toepassingen, die op dit moment nog niet bekend zijn.
4. De opnamen kunnen ingezet worden voor het verifiëren van de juistheid van aan ProRail geleverde gerealiseerde infrastructuur.
5. Door periodiek opnamen in te winnen, ontstaat er een digitaal beeldenarchief, dat de voortschrijdende ontwikkelingen op en rondom het spoor in beeld brengt.

Het zij hier uitdrukkelijk vermeld dat dit project uitsluitend betrekking heeft op het leveren van opnamen en eventueel andere hierbij behorende data, die nodig is voor het naderhand bepalen van de positie van de locatiegebonden objecten met een voorgeschreven precisie. Het inventariseren en karteren van deze objecten vormt geen onderdeel van dit project. ProRail heeft hiertoe besloten omdat de in te winnen data een zeer hoge resolutie moet bezitten om

geschikt te zijn voor een breed spectrum van assetmanagement toepassingen binnen de organisatie. Bij veel van deze toepassingen is tijdens de interpretatie van de inhoud van data specifieke domeinkennis nodig, die niet of onvoldoende aanwezig is bij bedrijven, die gespecialiseerd zijn in het inwinnen, verwerken en karteren van al dan niet door puntenwolken ondersteund fotogrammetrisch beeldmateriaal. Deze specifieke domeinkennis is wél aanwezig bij de desbetreffende spoorwegspecialisten. Vanwege deze reden kiest ProRail ervoor om de gevraagde producten geleverd te krijgen conform de in dit document vastgelegde specificaties waarna domeinspecialisten op een later tijdstip binnen en/of buiten ProRail de voor hun domein van belang zijnde locatiegebonden objecten zullen gaan karteren in de ingewonnen data. Voor deze domeinspecialisten dient de kartering zo eenvoudig mogelijk uitgevoerd te kunnen worden. Daarom zal de kartering plaatsvinden met laagdrempelige software, waarin men in de beelden kan meten, al dan niet onder gebruikmaking van een daarbij passende hoge resolutie driedimensionale puntenwolk.

Het voor u liggende document beschrijft welke producten de opdrachtnemer aan ProRail moet leveren. Tevens worden de specificaties gegeven, waaraan de te leveren producten moeten voldoen.

2 Te leveren producten

2.1 Algemeen

De opdrachtnemer, aan wie de uitvoering van dit project gegund wordt, levert voor elk ondergronds station en elk met een overkapping uitgerust station een set gegevens, waarin alle voor ProRail van belang zijnde locatiegebonden objecten herkend kunnen worden en waarmee de absolute positie van deze objecten bepaald kan worden in het RD/NAP-coördinatenstelsel. De voor ProRail van belang zijnde objecten zijn vermeld in de ProRail objectencatalogi en, wanneer van toepassing, in de omschrijving van stationsobjecten.

Ten behoeve van de positiebepaling van de objecten in het nationale coördinatenstelsel heeft de opdrachtnemer in zijn offerte gedetailleerd beschreven welke gegevens hij hiervoor aan ProRail levert.

De op te leveren gegevens moeten een zodanige kwaliteit bezitten dat daarmee de geografische positie van locatiegebonden objecten in het RD/NAP-coördinatenstelsel bepaald kan worden met:

1. een absolute ligging in het RD/NAP-coördinatenstelsel, die beter is dan 12 centimeter op terreinschaal
2. een relatieve precisie van zes centimeter of beter tussen twee punten met een maximale onderlinge afstand van 100 meter.

De onder de punten 1 en 2 vermelde precisie-eisen betreffen een zogenaamd één-sigma criterium hetgeen wil zeggen dat de precisie gerelateerd is aan standaard normale verdelingen. Hierbij wijkt 68,26% van de mogelijke waarden van de stochastische grootte ten hoogste éénmaal de standaardafwijking af van het midden van de verdeling. Systematische positieafwijkingen mogen niet voorkomen.

Dit hoofdstuk geeft gedetailleerde informatie welke producten ProRail geleverd wil hebben, aan welke kwaliteitseisen deze producten dienen te voldoen en hoe ProRail of een namens ProRail optredende organisatie controleert of de geleverde bescheiden voldoen aan de gestelde eisen.

2.2 Opnamen

2.2.1 Eisen waaraan de opnamen dienen te voldoen

De opnamen dienen te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. De op de relevante stations in te winnen opnamen moeten een dermate hoge resolutie en scherpste bezitten dat de in de ProRail objectencatalogi (en wanneer van toepassing: in de omschrijving van stationsobjecten) gepresenteerde objecten te allen tijde interpreteerbaar en aanmeetbaar zijn in de te leveren opnamen. Tevens dienen teksten op bordjes leesbaar te zijn, voor zover de objectcatalogi dat vereisen. Dit betekent dat voor de verst weg gelegen ProRailobjecten die nog in de desbetreffende opname herkend en aangemeten moeten worden, de geometrische resolutie in elk opname twee centimeter of beter moet zijn. De informatie-inhoud in elk beeld moet zodanig hoog zijn dat deze resolutie-eis niet alleen vanuit de mathematische pixelgrootte definitie wordt gerealiseerd maar ook vanuit de beeldinterpretatie-eisen.
- b. Alle opnamen dienen een uniek opnamenummer en een unieke bestandsnaam te bezitten.

- c. De in te winnen opnamen moeten per station en per camera-/objectiefcombinatie een onveranderlijke geometrische kwaliteit bezitten om ingezet te worden voor één van de twee meetmethoden:
 - Het, tezamen met de in paragraaf 2.3 nader beschreven driedimensionale puntenwolk, kunnen identificeren en meten van de geografische positie van locatiegebonden objecten in het (RD, NAP)-stelsel met een puntprecisie, die gelijk of beter is aan de in paragraaf 2.1 beschreven positioneringseisen.
- d. Zowel de voorkant als de achterkant van een locatiegebonden object dienen zichtbaar en aanmeetbaar te zijn voor zover de objectcatalogi dat vereisen.
- e. De opnamen zijn 24-bits kleurenopnamen.
- f. De opnamen moeten een natuurgetrouwe kleurweergave bezitten.

Onder natuurgetrouwe opnamen verstaat ProRail opnamen die vrij zijn van één of meerdere in een opname aanwezige kleurzwemen. Dit betekent dat de in een opname zichtbare grijze objecten RGB-pixelwaarden bezitten waarvan de histogramwaarden van de drie kleurkanalen (R, G en B) onderling niet meer dan 10% van elkaar afwijken. Dit geldt voor alle grijze objecten, ongeacht de intensiteit waarmee dergelijke objecten in een opname afgebeeld zijn.
- g. Het histogram breder moet zijn dan 50% van de maximale histogrambreedte van 256 pixels per kleurkanaal wanneer men dit histogram vormt uit alle zich op en nabij de te karteren objecten bevindende RGB-waarden. In een opname afgebeelde gebieden waarin niet gemeten hoeft te worden, mogen overbelicht of onderbelicht en doen niet mee bij de beoordeling of voldaan wordt aan het histogrambreedtecriterium. Overstraling mag evenwel niet voorkomen in de beelden.
- h. Er mogen geen hinderlijke schaduwen in de beelden aanwezig zijn, die het meten in de beelden aldaar onmogelijk maakt.
- i. De Tiff- en/of JPEG-beelden mogen bij een vergroting van 200% op een beeldscherm geen zichtbare compressieartefacten bezitten.
- j. De beelden bevatten geen zogenoemde „thumbnails” (verkleinde afbeeldingen) in het bestand.
- k. De in het beeld aanwezige contrasten in de donkere delen (schaduw) en in de lichte delen van het beeld dienen goed zichtbaar te zijn. Dit betekent dat in de donkere delen (schaduw) en in de lichte delen van de opnamen minimaal de volgende objecten éénduidig zichtbaar moeten zijn:
 - Wisseltongen.
 - Laag geplaatste seinen, ook wel dwergseinen genoemd.
 - Teksten op borden.
- l. De radiometrische ruis moet zowel in de donkere delen van het beeld als in de lichte delen van het beeld per 8-bits kleurkanaal beter zijn dan de volgende standaardafwijkingen:
 - Voor het rode kleurkanaal: Een standaardafwijking kleiner of gelijk aan drie grijswaardenniveaus.
 - Voor het groene kleurkanaal: Een standaardafwijking kleiner of gelijk aan drie grijswaardenniveaus.
 - Voor het blauwe kleurkanaal: Een standaardafwijking kleiner of gelijk aan vijf grijswaardenniveaus.
- m. Indien de opnamen ten behoeve van de gevraagde meettoepassing ingezet moeten gaan worden in combinatie met een driedimensionale puntenwolk dient de geometrische en radiometrische coregistratie van de beide informatiebronnen zodanig goed te zijn dat hiermee onder alle omstandigheden gegarandeerd wordt dat de

interpretatiekwaliteit en de positionele kwaliteit voldoet aan de in deze paragraaf vermelde eisen en de in paragraaf 2.1 vermelde eisen.

2.2.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op één of meerdere, minimaal met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde MS-Windows compatibele harde schijven, waarbij de gegevens zijn geordend naar station:

- a. Alle ingewonnen opnamen in 24-bits Tiff-formaat en/of JPEG-formaat.
- b. Een ASCII-bestand waarin voor elke gemaakte foto de absolute oriënteringsgegevens zijn vermeld. Elk record bestaat uit telkens door minimaal twee spaties gescheiden velden in de volgorde, zoals hieronder vermeld:
 - De naam van de opname. Deze naam is gelijk aan de bestandsnaam van een opname zonder de bestandsextensie.
 - De X-coördinaat van het projectiecentrum van de opname in het RD-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De Y-coördinaat van het projectiecentrum van de opname in het RD-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De Z-coördinaat van het projectiecentrum van de opname in het NAP-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De omega-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) om de x-as van het cameracoördinatenstelsel met maximaal vier decimalen achter de komma. De hoek moet uitgedrukt zijn conform de in Bijlage 1 vermelde rotatievolgorde en rotatiematrices.
 - De phi-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) om de y-as van het cameracoördinatenstelsel met maximaal vier decimalen achter de komma. De hoek moet uitgedrukt zijn conform de in Bijlage 1 vermelde rotatievolgorde en rotatiematrices.
 - De kappa-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) om de optische hoofdas van de camera met maximaal vier decimalen achter de komma. De hoek moet uitgedrukt zijn conform de in Bijlage 1 vermelde rotatievolgorde en rotatiematrices.
- c. Voor elke gebruikte camera/objectiefcombinatie een ASCII-bestand met de camerakalibratieparameters en de namen van de opnamen, waar deze parameters voor gelden. Het bestand is als volgt opgebouwd:
 - Record 1: De naam van de gebruikte camera en het gebruikte objectief
 - Record 2: Het aantal horizontale pixels van de met deze camera gemaakte beelden.
 - Record 3: Het aantal verticale pixels van de met deze camera gemaakte beelden.
 - Record 4: De grootte van een pixel op de beeldchip in micrometers.
 - Record 5: De gekalibreerde brandpuntsafstand in millimeters met drie decimalen achter de komma.
 - Record 6: Het gekalibreerde hoofdpunt in x-richting in micrometers met maximaal drie cijfers achter de komma.
 - Record 7: Het gekalibreerde hoofdpunt in y-richting in micrometers of pixels met maximaal drie cijfers achter de komma.
 - Record 8 t/m m: Op elk record één van de eventuele overige camerakalibratie parameters in een significante getalsnotatie, die toegelicht is in

het desbetreffende camerakalibratierapport. Dit mag ook een wetenschappelijke notatie zijn.

- Record m+ 1 t/m n: De naam van de opname. Deze naam is gelijk aan de bestandsnaam van een opname zonder de bestandsextensie.
- d. Per station een shape bestand met de positie van de opnamestandplaatsen in het RD-coördinaatstelsel. De volgende attribuutinformatie is gekoppeld aan de posities van de opnamen:
 - Het opnametijdstip (jaar, maand, dag, uur, minuut, seconde).
 - De gebruikte camera.
 - De opstelhoogte
 - Het gebruikte objectief en de daarbij behorende gekalibreerde brandpuntsafstand.
 - De oriënteringhoeken omega, phi en kappa.
- e. Eén of meerdere camerakalibratierapporten in PDF-formaat. Voor elke gebruikte camera-/objectiefcombinatie wordt een rapport geleverd waarin de inwendige oriënteringsparameters en de bijhorende mathematische definities beschreven zijn. Tevens wordt de fysische betekenis van alle camerakalibratieparameters toegelicht. Indien de camera-/objectiefcombinatie per station of deel van een station met de “on-the-job” methode wordt gekalibreerd, worden de opgeloste camerakalibratieparameters geleverd inclusief een kwantificering van de significantie van de opgeloste camerakalibratieparameters.
- f. Alle ingewonnen opnamen in 24-bits Tiff-formaat en/of JPEG-formaat waarbij de opnamen gecorrigeerd zijn voor de onder punt e beschreven camerakalibratieparameters. Dit houdt in dat de opnamen kunnen worden ingezet voor fotogrammetrische doeleinden onder gebruikmaking van het wiskundige model van de collineariteitsvoorwaarden zonder toevoeging van welke andere parameter dan ook.
- g. Een rapport in PDF-formaat waarin de opdrachtnemer beschrijft welke methoden en technieken hij heeft gebruikt voor het vervaardigen van de opnamen.
- h. Een rapport in PDF-formaat waarin de opdrachtnemer onderbouwt hoe hij heeft gecontroleerd of alle geleverde opnamen voldoen aan de in paragraaf 2.2.1 vermelde eisen.

2.2.3 Kwaliteitscontrole

De geleverde bescheiden zullen worden gecontroleerd op de in dit document gestelde technische eisen en leveringseisen. Er zal onder andere op de volgende aspecten gecontroleerd worden:

- a. Zijn alle vereiste bestanden geleverd?
- b. Zijn de geleverde harde schijven voorzien van de juiste aansluiting en leesbaar op de voorgeschreven besturingssystemen?
- c. Zijn de bestanden in het juiste formaat geleverd?
- d. Bevatten de bestanden de verwachte inhoud?
- e. Bezitten alle opnamen een uniek nummer?
- f. Komen de benamingen van de opnamebestanden, zoals gebruikt in alle daarnaar verwijzende bestanden, overeen met de daadwerkelijke benamingen van deze opnamebestanden?
- g. Voldoet de pixelgrootte aan de in paragraaf 2.2.1, punt a gestelde eisen?
- h. Is de kleurdiepte van de geleverde opnamen voldoende?
- i. Zijn, per opname, de juiste kleurkanalen gebruikt?
- j. Voldoen alle opnamen aan het scherptecriterium?

- k. Voldoet het ruisniveau aan de gestelde eisen?
- l. Zijn de kleuren natuurgetrouw?
- m. Zijn in de donkere en lichte delen van een opname nog voldoende contrasten zichtbaar zodat ook daar objecten éénduidig zichtbaar zijn?
- n. Voldoen de opnamen aan de gestelde eisen ten aanzien van het niet kunnen zien van compressieartefacten?
- o. Is de correctie van de beelden voor de camerakalibratieparameters correct uitgevoerd (punt f in paragraaf 2.2.2)?

2.3 Puntenwolk

Deze sectie beschrijft aan welke technische eisen de puntenwolk dient te voldoen en hoe de puntenwolk aan ProRail geleverd wordt.

2.3.1 Eisen waaraan de puntenwolk dient te voldoen

De puntenwolk dient te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. De in te winnen puntenwolk moet een dermate hoge spatiële dichtheid en positionele kwaliteit bezitten, dat hiermee gegarandeerd wordt dat onder gebruikmaking van deze puntenwolk bij monoscopische metingen de geometrische positie van locatiegebonden objecten in het (RD, NAP)-stelsel gelijk aan of beter is dan de in paragraaf 2.1 beschreven positioneringseisen.
- b. De puntenwolk dient vrij te zijn van zogenoemde outliers, zijnde punten die geen relatie hebben met de in de puntenwolk weergegeven objecten.
- c. Elk punt in de puntenwolk bezit een RGB-kleurwaarde (8-bits per kleurkanaal), die overeenstemt met de kleur van het onderhavige object.
- d. De geometrische en radiometrische coregistratie van de opnamen en de puntenwolk dient zodanig goed te zijn dat hiermee onder alle omstandigheden gegarandeerd wordt dat de interpretatiekwaliteit en de positionele kwaliteit voldoet aan de in deze paragraaf vermelde eisen en de in paragraaf 2.1 vermelde eisen.

2.3.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op één of meerdere, minimaal met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde MS-Windows compatibele harde schijven, waarbij de gegevens zijn geordend naar station:

- a. Digitale puntenwolken in LAZ- of LAS-formaat.
- b. Een rapport in PDF-formaat waarin de opdrachtnemer beschrijft welke methoden en technieken hij heeft gebruikt voor het vervaardigen van de puntenwolk.
- c. Een rapport in PDF-formaat waarin de opdrachtnemer onderbouwt hoe hij heeft gecontroleerd of alle geleverde opnamen voldoen aan de in paragraaf 2.3.1 vermelde eisen.

2.3.3 Kwaliteitscontrole

De geleverde bescheiden zullen worden gecontroleerd aan de hand van de in dit document gestelde technische eisen en leveringseisen. Er zal onder andere op de volgende aspecten gecontroleerd worden:

- Zijn outliers verwijderd uit het bestand?

ProRail

- Zijn de opnamen en de puntenwolk zowel geometrisch als radiometrisch goed met elkaar gecoregistreerd?

In zijn algemeenheid geldt dat, tenzij expliciet anders is aangegeven, volledig aan alle specificaties, zoals genoemd in 2.3.1, voldaan moet worden.

Bijlage 1 Definitie van de absolute oriënteringsparameters

Benaderde en vereffende stand- en positieparameters van verticale en oblieke luchtopnamen moeten uitgedrukt zijn conform de in deze bijlage vermelde voorschriften. De parameters dienen uitgedrukt te zijn ten opzichte van het (RD, NAP)-stelsel.

Tabel 1 geeft de formatteringsspecificaties voor de parameters.

Veld	Beschrijving
X-coördinaat projectiecentrum	Uitgedrukt in het (RD,NAP)-stelsel, eenheid meters met drie decimalen
Y-coördinaat projectiecentrum	Uitgedrukt in het (RD,NAP)-stelsel, eenheid meters met drie decimalen
Z-coördinaat projectiecentrum	Uitgedrukt in het (RD,NAP)-stelsel, eenheid meters met drie decimalen
ω -rotatiehoek (omega)	Uitgedrukt t.o.v. het (RD,NAP)-stelsel in graden met vier decimalen. Voor de bijbehorende rotatiematrix, zie vergelijking 2
ϕ -rotatiehoek (phi)	Uitgedrukt t.o.v. het (RD,NAP)-stelsel in graden met vier decimalen. Voor de bijbehorende rotatiematrix, zie vergelijking 3
κ -rotatiehoek (kappa)	Uitgedrukt t.o.v. het (RD,NAP)-stelsel in graden met vier decimalen. Voor de bijbehorende rotatiematrix, zie vergelijking 4

Tabel 1: *Formaatbeschrijving van de te leveren stand- en positieparameters*

De in Tabel 1 vermelde omega-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de x-coördinatenas van het aan de camera verbonden fotocoördinatenstelsel. De phi-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de y-coördinatenas van het aan de camera verbonden fotocoördinatenstelsel waarbij de y-as loodrecht op de x-as staat. De kappa-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de optische hoofdas van het aan de camera verbonden fotocoördinatenstelsel. Deze as is ten opzichte van het (x,y)-vlak loodrecht georiënteerd. De definitie van het coördinatenstelsel is gebaseerd op een rechtshandig assenstelsel waarbij met positieve draaiingshoeken tegen de klok in wordt gedraaid.

Vergelijking 1 geeft de rotatievolgorde om de assen van het fotocoördinatenstelsel.

$$R(\omega, \phi, \kappa) = R(\kappa)R(\phi)R(\omega) \quad [1]$$

De elementen van de rotatiematrix over de x-coördinatenas zijn gedefinieerd in vergelijking 2

$$R(\omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & -\sin(\omega) \\ 0 & \sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} \quad [2]$$

De elementen van de rotatiematrix over de y-coördinatenas zijn gedefinieerd in vergelijking 3

$$R(\phi) = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & 0 & \sin(\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\phi) & 0 & \cos(\phi) \end{bmatrix} \quad [3]$$

De elementen van de rotatiematrix over de optische hoofdas zijn gedefinieerd in vergelijking 4

$$R(\kappa) = \begin{bmatrix} \cos(\kappa) & -\sin(\kappa) & 0 \\ \sin(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [4]$$

Vergelijking 1, uitgeschreven als rotatiematrix met behulp van de in de vergelijkingen 2 tot en met 4 gegeven elementen van de rotatiematrix, geeft de rotatiematrix, die de relatie beschrijft van het terreincoördinatenstelsel naar het fotocoördinatenstelsel waarbij geroteerd wordt om vaste assen. De resulterende rotatiematrix wordt gegeven in vergelijking 5.

$$R(\omega, \phi, \kappa) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad [5]$$

met

$$r_{11} = \cos(\phi)\cos(\kappa)$$

$$r_{12} = \sin(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) - \cos(\omega)\sin(\kappa)$$

$$r_{13} = \cos(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) + \sin(\omega)\sin(\kappa)$$

$$r_{21} = \cos(\phi)\sin(\kappa)$$

$$r_{22} = \sin(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) + \cos(\omega)\cos(\kappa)$$

$$r_{23} = \cos(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) - \sin(\omega)\cos(\kappa)$$

$$r_{31} = -\sin(\phi)$$

$$r_{32} = \sin(\omega)\cos(\phi)$$

$$r_{33} = \cos(\omega)\cos(\phi)$$

Colofon

Titel	Bijlage B - Inwinning Terreinopnamen
Documentnummer	
Versie/Datum	
Status	Definitief
Van	Roelof Boekhold
Eigenaar	Roelof Boekhold
Projectleider	
Distributie	
Document	171109 Bijlage B - Bestek Inwinning Terreinopnamen 1.0

Autorisatie

	paraaf	datum
gecontroleerd pri		
projectleider		