

ProRail

Bijlage A

Inwinning luchtopnamen

Van	AM-Informatie CGS
Eigenaar	Raymond Welhuis
Kenmerk	
Versie	
Datum	28 oktober 2016
Bestand	2016_10_25_R16_ProRail_bestek_luchtopnamen_Definitief-v1.02_ProRail
Onderwerp	
Status	Definitief

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Te leveren producten	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Verticale opnamen	6
2.2.1	Eisen waaraan de opnamen dienen te voldoen	6
2.2.2	Op te leveren bescheiden	8
2.2.3	Kwaliteitscontrole	10
2.3	Oblieke opnamen	11
2.3.1	Eisen waaraan de opnamen dienen te voldoen	11
2.3.2	Op te leveren bescheiden	13
2.3.3	Kwaliteitscontrole	15
2.4	Hoogtemodel	16
2.4.1	Eisen waaraan het hoogtemodel dient te voldoen	16
2.4.2	Op te leveren bescheiden	17
2.4.3	Kwaliteitscontrole	17
2.5	Stereomodellen	17
2.5.1	Eisen waaraan de stereomodellen dienen te voldoen	17
2.5.2	Op te leveren bescheiden	18
2.5.3	Kwaliteitscontrole	19
2.6	Orthofotomozaïeken	19
2.6.1	Eisen waaraan de orthofotomozaïeken dienen te voldoen	19
2.6.2	Op te leveren bescheiden	22
2.6.3	Kwaliteitscontrole	22
Bijlage 1	Definitie van de absolute oriënteringsparameters	24

1 Inleiding

ProRail is druk bezig met het inrichten en bouwen van een nieuw informatiesysteem dat ProRail-breed 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 het beste kan plaatsvinden in door de opdrachtnemer in te winnen luchtopnamen. ProRail heeft hiervoor de volgende redenen:

1. Kwalitatief goede luchtopnamen bevatten een hoge informatiedichtheid. Hierdoor kunnen de objecten herkend en aangemeten worden in de luchtopnamen in plaats van ter plekke op de grond. Dit maakt de inwinning van de objecten veiliger omdat men de spoorzone niet hoeft te betreden.
2. Luchtopnamen kunnen ook voor andere toepassingen dan de onder punt 1 vermelde toepassing gebruikt worden. Een voorbeeld hiervan is de vervaardiging van orthofotomozaïeken.
3. Luchtopnamen vormen een digitaal beeldenarchief van de situatie van het Nederlandse spoorwegennet 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. Luchtopnamen kunnen ingezet worden voor het verifiëren van de juistheid van aan ProRail geleverde gerealiseerde infrastructuur.
5. Door periodiek luchtopnamen in te winnen, ontstaat er een digitaal beeldarchief, dat de voortschrijdende ontwikkelingen op en rondom het spoor in beeld brengt.

Binnen de ProRail-organisatie neemt de vraag naar nauwkeurige hoogte-informatie van bepaalde locatiegebonden objecten toe. Daarom heeft ProRail besloten dat de opdrachtnemer in het kader van dit project niet alleen digitale luchtopnamen levert, maar ook een digitaal hoogtemodel.

Het zij hier uitdrukkelijk vermeld dat dit project uitsluitend betrekking heeft op het leveren van digitale luchtopnamen en een digitaal hoogtemodel, waarmee naderhand de positie van de locatiegebonden objecten met de voorgeschreven precisie kan worden bepaald. Het karteren van deze objecten vormt geen onderdeel van dit project. ProRail heeft hiertoe besloten omdat de in te winnen opnamen een zeer hoge resolutie zullen bezitten en daardoor geschikt zijn voor een breed spectrum van assetmanagementtoepassingen binnen de organisatie. Bij veel van deze toepassingen is tijdens de interpretatie van de inhoud van het beeldmateriaal specifieke domeinkennis nodig, die niet of

onvoldoende aanwezig is bij bedrijven, die gespecialiseerd zijn in het inwinnen, verwerken en karteren van fotogrammetrisch beeldmateriaal. Deze specifieke domeinkennis is wel aanwezig bij de desbetreffende spoorweginnovatie specialisten. Vanwege deze reden kiest ProRail ervoor om de gevraagde producten geleverd te krijgen conform de in dit document vastgelegde specificaties waarna domeinspecialisten de voor hun domein van belang zijnde locatiegebonden objecten zullen gaan karteren in de luchtopnamen. Voor deze domeinspecialisten dient de kartering zo eenvoudig mogelijk uitgevoerd te kunnen worden. Daarom zal de kartering plaatsvinden met laagdrempelige software, waarin men in absoluut georiënteerde luchtopnamen kan meten onder gebruikmaking van een daarbij passend hoge resolutie hoogtemodel.

De inhoud van de uit te voeren werkzaamheden wijkt op tal van punten af van de tot op heden in opdracht van ProRail uitgevoerde fotogrammetrische inwin- en verwerkingswerkzaamheden ten behoeve van de ProRail Basis Beheer Kaart (BBK). Dit heeft organisatorische en technische redenen, te weten:

- De BBK is een digitaal topografisch bestand dat reeds lange tijd binnen de ProRail-organisatie gebruikt wordt als een beheerbestand voor een deel van de spoorwegtopografie. Het bestand is in het verleden met behulp van stereoluchtopnamen vervaardigd waarbij is aangesloten op in het terrein gemeten paspunten. Tot en met 2016 werd het BBK-bestand geactualiseerd met behulp van jaarlijks ingewonnen stereoluchtopnamen van het gehele Nederlandse spoorwegennet. De stand en positie van iedere ingewonnen luchtopname werd vervolgens in het (RD, NAP)-stelsel bepaald met behulp van een zogenoemde aerotriangulatie- en vereffeningsprocedure. Met deze gegevens werden stereomodellen gevormd waarin een fotogrammetrisch operateur vervolgens beoordeelde of er zich mutaties voorgedaan hadden op en rondom het spoor. Indien daar sprake van was, werden de mutaties in het stereomodel gemeten waarmee het BBK-bestand vervolgens werd geactualiseerd. Bij deze jaarlijkse actualisatiewerkzaamheden was het gehele werkproces gericht op het actueel houden van de topografische inhoud van het BBK-bestand. Maar dit bestand bevat slechts een klein deel van de locatiegebonden objecten, die de ProRail-organisatie in het kader van het nieuwe informatiesysteem nodig heeft. Daarom heeft ProRail besloten om alternatieve inwinnings- en verwerkingsmethoden in te zetten waarmee ProRail beeldmateriaal verkrijgt met veel meer toepassingsmogelijkheden dan de “traditionele” BBK-luchtopnamen.
- In de afgelopen jaren hebben de technische ontwikkelingen rondom het vanuit de lucht inwinnen van geo-data niet stilgestaan. De fotogrammetrische procesgangen beperken zich niet langer tot het verder optimaliseren van het klassieke stereokarterings- en orthobeeldvervaardigingsproces. Een geïntegreerd gebruik van oblieke luchtopnamen met bijvoorbeeld hoogtemodellen en verticale luchtopnamen zorgt ervoor dat het beeldmateriaal voor ProRail een veel hogere gebruikswaarde heeft dan de BBK-luchtopnamen. In combinatie met moderne fotogrammetrische inwinningstechnieken zorgt dit ervoor dat ProRail veel meer locatiegebonden objecten kan ontfangen uit het in te winnen beeldmateriaal.

ProRail

Het voor u liggende document beschrijft welke luchtfotoproducten 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 verticale luchtopnamen, oblieke luchtopnamen en een digitaal hoogtemodel van alle spoortracés in Nederland. De op te leveren gegevens moeten een zodanige kwaliteit bezitten dat daarmee de geografische positie van locatiegebonden objecten in het (RD, NAP)-stelsel gemeten kan worden in monoscopische luchtopnamen met:

1. een absolute ligging in het (RD, NAP)-stelsel, die beter is dan twaalf centimeter op terreinschaal.
2. een relatieve precisie van zes centimeter of beter tussen twee punten met een maximale onderlinge afstand van honderd meter.

De onder punt 2 vermelde relatieve precisie-eis betreft een zogenaamd één-sigmacriterium hetgeen wil zeggen dat de precisie gerelateerd is aan standaard normale verdelingen. Hierbij wijkt 68,26% van de mogelijke waarden van de stochastische grootheid ten hoogste eenmaal de standaardafwijking (= zes centimeter voor de relatieve afstand) af van het midden van de verdeling.

Dit hoofdstuk geeft gedetailleerde informatie over 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 Verticale opnamen

2.2.1 Eisen waaraan de opnamen dienen te voldoen

De verticale luchtopnamen dienen te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. Elk door ProRail voorgeschreven deelgebied moet afgebeeld zijn op een set verticale luchtopnamen, waarmee het gehele deelgebied stereoscopisch bedekt wordt. De stereoscopische bedekking moet zodanig zijn ingericht dat elk topografisch object in het deelgebied afgebeeld is in minimaal één stereomodel met een langsoverlap van 60%.
- b. De geometrische resolutie van elke individuele pixel moet op maaiveldhoogte drie centimeter of beter zijn. De informatie-inhoud in elk digitaal beeld moet zodanig hoog zijn dat deze resolutie-eis niet alleen vanuit de mathematische pixelgrootte-definitie wordt gerealiseerd maar ook vanuit de beeldinterpretatie-eisen. Het resampelen van beelden naar een pixelgrootte van drie centimeter terwijl de originele luchtopnamen niet voldoen aan de in de eerste zin van dit punt genoemde geometrische resolutie-eis is derhalve niet geoorloofd.
- c. Alle opnamen dienen een uniek opnamenummer en een unieke bestandsnaam te bezitten.

- d. De in te winnen luchtopnamen moeten per fotovlucht en per camera-/objectiefcombinatie een onveranderlijke geometrische kwaliteit bezitten die het mogelijk maakt om de geografische positie van locatiegebonden objecten in het RD-stelsel te bepalen met een puntprecisie, die beter is dan twaalf centimeter.
- e. De opnamen zijn 24-bits kleurenopnamen.
- f. De opnamen moeten een natuurgetrouwe kleurweergave bezitten.
- g. Het histogram van een opname moet breder zijn dan 50%. Bovendien mag er geen overbelichting en/of onderbelichting in het histogram aanwezig zijn.
- h. De opnamen mogen niet ingewonnen worden wanneer het regent.
- i. Alle opnamen moeten vrij zijn van sneeuw, ijs en hagel.
- j. Alle opnamen moeten vrij zijn van wolken.
- k. Kleurzwemen in specifieke delen van het elektromagnetische spectrum mogen niet aanwezig zijn.
- l. De Tiff- en/of JPEG-beelden mogen bij een vergroting van 200% op een beeldscherm geen zichtbare compressieartefacten bezitten.
- m. De beelden bevatten geen zogenoemde “thumbnails” (verkleinde afbeeldingen) in het bestand.
- n. De in het beeld aanwezige contrasten in de donkere delen (schaduw) en in de lichte delen van het beeld dienen goed zichtbaar te zijn.
- o. De radiometrische resolutie 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.
- p. De opnamen dienen zodanig scherp te zijn dat bij in het beeld aanwezige scherpe terreindetails de overgang van een maximale naar een minimale kleurwaarde in het beeld, of omgekeerd, aldaar maximaal twee pixels mag beslaan. Dat wil zeggen dat de overgang maximaal twee pixels bevat die een pixelwaarde hebben tussen de maximale kleurwaarde en de minimale kleurwaarde, rekening houdend met de in het beeld aanwezige ruiscomponent.
- q. De maximale “omvalling” van gebouwen in een opname bedraagt 48 centimeter per meter hoogte van een object. Om aan deze eis te kunnen voldoen, dient de opdrachtnemer een zorgvuldige afweging te maken tussen enerzijds de grootte van het ccd-oppervlak van de camera's en anderzijds de brandpuntsafstand van het in te zetten objectief en de grootte van de absolute oriënteringshoeken omega en phi.

2.2.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op één of meer, minimaal met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde MS-Windows compatibele harde schijven voor elk door ProRail voorgeschreven deelgebied:

- a. Alle ingewonnen verticale luchtopnamen in 24-bits Tiff-formaat en/of JPEG-formaat.
- b. Een ASCII-bestand waarin voor elke gemaakte foto vluchtgegevens 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 de positie van het GPS-/IMU-systeem van deze opname in het RD-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De Y-coördinaat van de positie van het GPS-/IMU-systeem van deze opname in het RD-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De Z-coördinaat van de positie van het GPS-/IMU-systeem van deze opname in het NAP-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De roll-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) van het GPS-/IMU-systeem van deze opname met maximaal vier decimalen achter de komma. De roll-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de X-as van het IMU-systeem.
 - De pitch-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) van het GPS-/IMU-systeem van deze opname met maximaal vier decimalen achter de komma. De pitch-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de Y-as van het IMU-systeem.
 - De yaw-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) van het GPS-/IMU-systeem van deze opname met maximaal vier decimalen achter de komma. De yaw-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de Z-as van het IMU-systeem (de richting naar het noorden).
- c. 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 camera-coördinatenstelsel met maximaal vier decimalen achter de komma. De hoek moet uitgedrukt zijn conform de in bijlage 1 vermelde rotatievolgorde en rotatiematrices.

ProRail

- De phi-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) om de y-as van het camera-coördinatenstelsel 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.

De in dit bestand vermelde waarden zijn volledig identiek aan de waarden in het conform het gestelde in paragraaf 2.5.2, punt a, te leveren ASCII-bestand indien de in paragraaf 2.5 vermelde producten door ProRail gevraagd gaan worden.

- d. Voor elke gebruikte camera-/objectiefcombinatie een ASCII-bestand met de camerakalibratieparameters en de namen van de verticale 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 een van de eventuele overige camerakalibratieparameters 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.
- e. Per voorgeschreven deelgebied een shape-bestand met de footprints van de opnamen op maaiveldhoogte.

- f. Per voorgeschreven deelgebied een shape-bestand met een beeldmiddenoverzicht. De volgende attribuutinformatie is gekoppeld aan de posities van de cameraposities:
 - Het opnametijdstip (jaar, maand, dag, uur, minuut, seconde).
 - De gebruikte camera.
 - Het gebruikte objectief en de daarbij behorende gekalibreerde brandpuntsafstand.
- g. 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 er sprake is van meerdere vluchten en de camera-/objectiefcombinatie wordt “on-the-job” gekalibreerd met behulp van de ingewonnen beelden worden de camerakalibratieparameters voor elke vlucht geleverd. De significantie van de opgeloste camerakalibratieparameters moet in de rapporten toegelicht zijn.
- h. Alle ingewonnen verticale luchtopnamen in 24-bits Tiff-formaat en/of JPEG-formaat waarbij de opnamen gecorrigeerd zijn voor de onder punt g beschreven camerakalibratieparameters. Dit houdt in dat de luchtopnamen kunnen worden ingezet voor fotogrammetrische doeleinden onder gebruikmaking van het wiskundige model van de collineariteitsvoorwaarden zonder toevoeging van welke andere parameter dan ook.
- i. Een rapport in pdf-formaat waarin de opdrachtnemer beschrijft welke methoden en technieken hij heeft gebruikt voor het vervaardigen van de verticale luchtopnamen. In dit rapport dient o.a. begrijpelijk en gedetailleerd in tekst- en formulevorm beschreven te zijn hoe de exacte wiskundige relatie is tussen de roll-, pitch- en yaw-hoeken en de omega-, phi- en kappa-hoeken.
- j. Een rapport in pdf-formaat waarin de opdrachtnemer inzichtelijk maakt 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. Geven de geleverde verticale luchtopnamen een volledige stereoscopische bedekking van het desbetreffende ProRail-deelgebied?
- f. Bezitten alle opnamen een uniek nummer?
- g. Komen de benamingen van de opnamebestanden, zoals gebruikt in alle daarnaar verwijzende de bestanden, overeen met de daadwerkelijke benamingen van deze luchtopnamebestanden?

- h. Is de geografische positie van locatiegebonden objecten in het (RD,NAP)-stelsel te bepalen met een puntprecisie, die beter is dan twaalf centimeter?
- i. Voldoet de pixelgrootte op maaiveldhoogte?
- j. Is de kleurdiepte van de geleverde opnamen voldoende?
- k. Zijn, per opname, de juiste kleurkanalen gebruikt?
- l. Zijn alle opnamen vrij van wolken?
- m. Zijn alle opnamen vrij van sneeuw en/of ijs en/of hagel?
- n. Voldoen alle opnamen aan het scherptecriterium?
- o. Voldoen de opnamen aan de gestelde omvallingseis?
- p. Voldoet het ruisniveau aan de gestelde eisen?
- q. Zijn de kleuren natuurgetrouw?
- r. Zijn in de donkere en lichte delen van een opname nog voldoende contrasten zichtbaar zodat ook daar objecten eenduidig zichtbaar zijn?
- s. Voldoen de opnamen aan de gestelde eisen ten aanzien van het niet kunnen zien van compressieartefacten?
- t. Voldoet de maximale omvalling in de opnamen aan de gestelde eisen?

In zijn algemeenheid geldt dat, tenzij expliciet anders is aangegeven, volledig aan alle specificaties, zoals genoemd in paragraaf 2.2.1, voldaan moet worden.

2.3 Oblike opnamen

2.3.1 Eisen waaraan de opnamen dienen te voldoen

De oblike luchtopnamen dienen te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. De in te winnen oblike luchtopnamen moeten een dermate hoge resolutie en scherpte bezitten dat de in de ProRail-objectencatalogus gepresenteerde objecten te allen tijde interpreteerbaar en aanmeetbaar zijn in de te leveren oblike luchtopnamen. Tevens dienen teksten op bordjes leesbaar te zijn. Dit betekent dat de geometrische resolutie binnen elke opname twee centimeter of beter moet zijn voor het punt op maaiveldhoogte, dat zich het verst van de camera bevindt. 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. Het resampelen van de beelden naar de gevraagde resolutie terwijl de originele luchtopnamen niet voldoen aan de in de eerste zin van dit punt genoemde geometrische resolutie-eis is derhalve niet geoorloofd.
- b. Alle opnamen dienen een uniek opnummers en een unieke bestandsnaam te bezitten.
- c. De in te winnen luchtopnamen moeten per fotovlucht en per camera-/objectiefcombinatie een onveranderlijke geometrische kwaliteit bezitten die het mogelijk maakt om, tezamen met het in paragraaf 2.4 nader beschreven hoogtemodel, de geografische positie van locatiegebonden objecten in het RD-stelsel te bepalen uit monoscopische oblike opnamen met een puntprecisie, die beter is dan twaalf centimeter.

- d. De voorkant van een locatiegebonden object dient in minimaal één oblieke luchtopname zichtbaar te zijn. Voor deze opname geldt dat de optische hoofdas in de richting van het spoor een hoek van inval van ca. 45 graden heeft met het horizontale vlak op terreinhoogte. De achterkant van een locatiegebonden object dient eveneens in minimaal één oblieke luchtopname zichtbaar te zijn. Voor deze opname geldt dat de optische hoofdas in de richting van het spoor een hoek van inval van ca. 45 graden heeft met het horizontale vlak op terreinhoogte.
- e. De opnamen zijn 24-bits kleurenopnamen.
- f. De opnamen moeten een natuurgetrouwe kleurweergave bezitten.
- g. Het histogram van een opname moet breder zijn dan 50%. Bovendien mag er geen overbelichting en/of onderbelichting in het histogram aanwezig zijn.
- h. De opnamen mogen niet ingewonnen worden wanneer het regent.
- i. Alle opnamen moeten vrij zijn van sneeuw, ijs en hagel.
- j. Alle opnamen moeten vrij zijn van wolken.
- k. Kleurzwemen in specifieke delen van het elektromagnetische spectrum mogen niet aanwezig zijn.
- l. De Tiff- en/of JPEG-beelden mogen bij een vergroting van 200% op een beeldscherm geen zichtbare compressieartefacten bezitten.
- m. De beelden bevatten geen zogenoemde “thumbnails” (verkleinde afbeeldingen) in het bestand.
- n. 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 de lichte delen van de opnamen minimaal de volgende objecten eenduidig zichtbaar moeten zijn:
 - Wisseltongen.
 - Laag geplaatste seinen, ook wel dwergseinen genoemd.
 - Teksten op borden.
- o. De radiometrische resolutie 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.

2.3.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op één of meer, minimaal met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde MS-Windows compatibele harde schijven voor elk door ProRail voorgeschreven deelgebied:

- a. Alle ingewonnen oblieke luchtopnamen in 24-bits Tiff-formaat en/of JPEG-formaat.
- b. Een ASCII-bestand waarin voor elke gemaakte foto vluchtgegevens 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 de positie van het GPS-/IMU-systeem van deze opname in het RD-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De Y-coördinaat van de positie van het GPS-/IMU-systeem van deze opname in het RD-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De Z-coördinaat van de positie van het GPS-/IMU-systeem van deze opname in het NAP-stelsel, uitgedrukt in meters met maximaal drie decimalen achter de komma.
 - De roll-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) van het GPS-/IMU-systeem van deze opname met maximaal vier decimalen achter de komma. De roll-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de X-as van het IMU-systeem.
 - De pitch-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) van het GPS-/IMU-systeem van deze opname met maximaal vier decimalen achter de komma. De pitch-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de Y-as van het IMU-systeem.
 - De yaw-oriënteringshoek in graden (360-gradenstelsel) van het GPS-/IMU-systeem van deze opname met maximaal vier decimalen achter de komma. De yaw-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de Z-as van het IMU-systeem (de richting naar het noorden).
- c. 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 camera-coördinatenstelsel 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 camera-coördinatenstelsel 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.
- d. Voor elke gebruikte camera-/objectiefcombinatie een ASCII-bestand met de camerakalibratieparameters en de namen van de oblieke 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 een van de eventuele overige camerakalibratieparameters 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.
- e. Per voorgeschreven deelgebied een shape-bestand met de footprints van de oblieke in de vliegrichting voorwaarts kijkende opnamen op maaiveldhoogte.
- f. Per voorgeschreven deelgebied een shape-bestand met de footprints van de oblieke in de vliegrichting achterwaarts kijkende opnamen op maaiveldhoogte.

- g. Per voorgeschreven deelgebied een shape-bestand met een beeldmiddenoverzicht. De volgende attribuutinformatie is gekoppeld aan de posities van de cameraposities:
 - Het opnametijdstip (jaar, maand, dag, uur, minuut, seconde).
 - De gebruikte camera.
 - Het gebruikte objectief en de daarbij behorende gekalibreerde brandpuntsafstand.
 - Of het een in de vliegrichting voorwaarts kijkende opname betreft.
 - Of het een de vliegrichting achterwaarts kijkende opname betreft.
- h. 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 er sprake is van meerdere vluchten en de camera-/objectiefcombinatie wordt “on-the-job” gekalibreerd met behulp van de ingewonnen beelden worden de camerakalibratieparameters voor elke vlucht geleverd. De significantie van de opgeloste camerakalibratieparameters moet in de rapporten toegelicht zijn.
- i. Alle ingewonnen oblieke luchtopnamen in 24-bits Tiff-formaat en/of JPEG-formaat waarbij de opnamen gecorrigeerd zijn voor de onder punt h beschreven camerakalibratieparameters. Dit houdt in dat de luchtopnamen kunnen worden ingezet voor fotogrammetrische doeleinden onder gebruikmaking van het wiskundige model van de collineariteitsvoorwaarden zonder toevoeging van welke andere parameter dan ook.
- j. Een rapport in pdf-formaat waarin de opdrachtnemer beschrijft welke methoden en technieken hij heeft gebruikt voor het vervaardigen van de oblieke luchtopnamen. In dit rapport dient o.a. begrijpelijk en gedetailleerd in tekst- en formulevorm beschreven te zijn hoe de exacte wiskundige relatie is tussen de roll-, pitch- en yaw-hoeken en de omega-, phi- en kappa-hoeken.
- k. Een rapport in pdf-formaat waarin de opdrachtnemer inzichtelijk maakt 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:

- 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. Is elk locatiegebonden object zichtbaar in minimaal één in de vliegrichting en in de richting van het spoor voorwaarts kijkende oblieke luchtopname en in minimaal één in de vliegrichting en in de richting van het spoor achterwaarts kijkende oblieke luchtopname?

- g. Komen de benamingen van de opnamebestanden, zoals gebruikt in alle daarnaar verwijzende bestanden, overeen met de daadwerkelijke benamingen van deze luchtopnamebestanden?
- h. Voldoet de pixelgrootte op maaiveldhoogte?
- i. Is de geografische positie van locatiegebonden objecten in het (RD,NAP)-stelsel te bepalen met een puntprecisie, die beter is dan twaalf centimeter?
- j. Zijn alle opnamen dusdanig scherp dat de in de ProRail-objectencatalogus vermelde objecten eenduidig geïnterpreteerd en aangemeten kunnen worden?
- k. Zijn alle opnamen dusdanig scherp dat de in de ProRail-objectencatalogus getoonde op objecten aangebrachte teksten leesbaar zijn?
- l. Is de kleurdiepte van de geleverde opnamen voldoende?
- m. Zijn, per opname, de juiste kleurbanden gebruikt?
- n. Zijn alle opnamen vrij van wolken?
- o. Zijn alle opnamen vrij van sneeuw en/of ijs en/of hagel?
- p. Voldoen alle opnamen aan het scherptecriterium?
- q. Voldoet het ruisniveau aan de gestelde eisen?
- r. Zijn de kleuren natuurgetrouw?
- s. Zijn in de donkere en lichte delen van een opname nog voldoende contrasten zichtbaar zodat ook daar objecten eenduidig zichtbaar zijn?
- t. Voldoen de opnamen aan de gestelde eisen ten aanzien van het niet kunnen zien van compressieartefacten?

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

2.4 Hoogtemodel

2.4.1 Eisen waaraan het hoogtemodel dient te voldoen

Het hoogtemodel dient te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. Het in te winnen hoogtemodel moet een dermate hoge spatiële dichtheid en positionele kwaliteit bezitten, dat hiermee gegarandeerd wordt dat onder gebruikmaking van dit hoogtemodel bij monoscopische metingen van locatiegebonden objecten in verticale en oblieke beelden een absolute ligging in het (RD, NAP)-stelsel wordt gehaald van twaalf centimeter of beter.
- b. Het hoogtemodel dient vrij te zijn van zogenoemde outliers, zijnde punten ver boven of ver onder de voor het gebied bekende topografiehoogten en -objecten.
- c. De punten in het hoogtemodel zijn geclassificeerd naar punten, gelegen op maaiveldhoogte (een digitaal terreinmodel) en punten die niet op maaiveldhoogte gelegen zijn.
- d. Elk punt in het hoogtemodel bezit RGB-kleurwaarden (8-bits per kleurkanaal), die overeenstemmen met de kleur van het onderhavige terrein.

2.4.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op één of meer, minimaal met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde MS-Windows compatibele harde schijven voor elk door ProRail voorgeschreven deelgebied:

- a. Digitale hoogtemodellen 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 het hoogtemodel.
- c. Een rapport in pdf-formaat waarin de opdrachtnemer inzichtelijk maakt hoe hij heeft gecontroleerd of alle geleverde opnamen voldoen aan de in paragraaf 2.4.1 vermelde eisen.

2.4.3 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:

- a. Zijn outliers verwijderd uit het bestand?
- b. Beschrijven de als maaiveld geclassificeerde punten inderdaad overal het maaiveld?
- c. De niet als maaiveld geclassificeerde punten beschrijven mogen geen punten bevatten, die behoren tot het maaiveld.

In zijn algemeenheid geldt dat, tenzij expliciet anders is aangegeven, volledig aan alle specificaties, zoals genoemd in 2.4.1, voldaan moet worden.

2.5 Stereomodellen

Bij aanvang van de opdracht geeft ProRail aan of er stereomodellen geleverd dienen te worden.

2.5.1 Eisen waaraan de stereomodellen dienen te voldoen

De stereomodellen dienen te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. De stereomodellen dienen gecreëerd te kunnen worden uit elkaar in de vliegrichting overlappende verticale luchtopnamen.
- b. De stereomodellen moeten ingezet kunnen worden voor eventuele stereofotogrammetrische karteringen waarbij topografische punten gekarteerd kunnen worden met een absolute ligging in het RD-stelsel, die beter is dan twaalf centimeter. Dit betekent dat de per luchtopname te leveren absolute oriënteringsparameters een zodanige kwaliteit dienen te bezitten dat deze parameters in combinatie met de desbetreffende voor camerakalibratieparameters gecorrigeerde luchtopnamen op een fotogrammetrisch workstation direct parallaxvrije stereomodellen vormen, die correct gepositioneerd zijn in de (RD, NAP)-geometrie en waarmee overal de gevraagde karteringsprecisie gehaald wordt.

- c. De stereomodellen moeten parallaxvrij zijn. Hieronder wordt verstaan dat binnen het gehele stereomodel lichtstralen van in beide beelden corresponderende punten naar het overeenkomstige driedimensionale punt in het stereomodel elkaar in dit driedimensionale punt moeten snijden waarbij de nauwkeurigheid van deze snijding beter moet zijn dan twee pixels.
- d. De opdrachtgever accepteert dat in gebieden, die bedekt zijn door bomen, struiken of hoog gras, geen stereobeeld te zien is ten gevolge van wind tijdens de inwinning van het beeldmateriaal.

2.5.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op een MS-Windows compatibel geformatteerde memory stick of een met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde harde schijf voor elk door ProRail voorgeschreven deelgebied:

- a. 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 camera-coördinatenstelsel 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 camera-coördinatenstelsel 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.

De absolute oriënteringsparameters in de desbetreffende velden zijn de waarden, die geschikt zijn voor het creëren van stereomodellen, die voldoen aan de in paragraaf 2.5.1 vermelde eisen. De inhoud van het bestand is identiek aan de inhoud van het in paragraaf 2.2.2 onder punt c gevraagde bestand.
- b. Afhankelijk van de inhoud van het Plan van Aanpak, dat de opdrachtnemer in het kader van dit project heeft moeten opstellen en aan ProRail heeft moeten opleveren, en waarin de door de opdrachtnemer gekozen werkwijze gedetailleerd is beschreven, zullen nog andere gegevens opgeleverd moeten worden. Hierover vindt nader overleg plaats bij aanvang van de werkzaamheden.

2.5.3 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 de bestanden in het juiste formaat geleverd?
- b. Bevatten de bestanden de verwachte inhoud?
- c. Hebben alle geleverde bescheiden de juiste benaming?
- d. Komen de benamingen van de opnamebestanden, zoals gebruikt in alle daarnaar verwijzende bestanden, overeen met de daadwerkelijke benamingen van deze luchtopnamebestanden?
- e. Zijn alle stereomodellen parallaxvrij?

2.6 Orthofotomozaïeken

2.6.1 Eisen waaraan de orthofotomozaïeken dienen te voldoen

Orthofotomozaïeken zijn gedefinieerd als verticale luchtfoto-beelden:

- die gecorrigeerd zijn voor de perspectivische beeldafwijkingen, veroorzaakt door het niet exact evenwijdig zijn van het camera-afbeeldingsvlak met het aardoppervlak ten tijde van het maken van de verticale opnamen;
- waarin de overlap tussen de opnamen verwijderd is;
- waarin de kleurverschillen in een orthofotomozaïek ten gevolge van het feit dat het orthofotomozaïek is samengesteld uit verschillende digitale luchtopnamen, geminimaliseerd zijn;
- waarin alle orthofotomozaïeken eenzelfde tegelgrootte en eenzelfde RD-grondpixelresolutie bezitten.

Voor het verkrijgen van een constante grondpixelresolutie in een orthofotomozaïek moet elke pixel gecorrigeerd worden voor hoogteverschillen in het terrein. Hierbij maakt men onderscheid in twee typen orthofotomozaïeken, te weten:

- orthofotomozaïeken, waarbij alleen gecorrigeerd wordt voor hoogteverschillen op maaiveldhoogte. Voor het maken van dergelijke mozaïeken gebruikt men alleen de punten in het hoogtemodel die geclassificeerd zijn als punten gelegen op maaiveldhoogte (zie paragraaf 2.4.1, punt c);
- orthofotomozaïeken, waarbij gecorrigeerd wordt voor alle hoogteverschillen. Dergelijke orthofotomozaïeken worden true orthofotomozaïeken genoemd. Voor het maken van dergelijke mozaïeken gebruikt men alle in het hoogtemodel aanwezige punten behoudens outlier-punten (zie paragraaf 2.4.1, de punten a en b).

In het kader van dit project dienen true orthofotomozaïeken aan ProRail geleverd te worden.

De orthofotomozaïeken dienen te voldoen aan de volgende specificaties:

- a. De orthofotomozaïeken worden in het ongecomprimeerde tiled GeoTiff-formaat (Tiff-5 of Tiff-6 standaard) met een 24-bits RGB-kleurenpalet geleverd waarbij de header de in tabel 1 vermelde structuur heeft.

Geotiff-headerstructuur
Geotiff_information
Version: 1
Key_Revision: 1.0
Tagged_Information
ModelTiepointTag (2,3)
0 0 0
x_RD y_RD 0
ModelPixelScaleTag (1,3):
dx_RD dy_RD 0
End_Of_Tags
Keyed_Information
GTModelTypeGeoKey (Short,1): ModelTypeProjected
GTRasterTypeGeoKey (Short,1): RasterPixellsArea
ProjectedCSTypeGeoKey (Short,1): PCS_RD_Netherlands_New
ProjLinearUnitsGeoKey (Short,1): Linear_Meter
End_Of_Keys
End_Of_Geotiff

Tabel 1: Inhoud Tiff-header

In tabel 1 moet voor x_RD en y_RD respectievelijk de x-coördinaat in het RD-stelsel en de y-coördinaat in het RD-stelsel in de eenheid meters ingevuld zijn waarbij de positioneringsinformatie in de GeoTiff-referentieheader is gerelateerd aan de linkerbovenhoek van een orthofotomozaïek. De maateenheid is meters. In technische zin betekent dit dat deze positioneringsinformatie is uitgedrukt ten opzichte van "RasterPixellsArea" en niet ten opzichte van "RasterPixellsPoint". In dezelfde tabel wordt voor dx_RD en dy_RD de toegepaste pixelgrootte in de eenheid meters ingevuld. Het gebruikte coördinatenstelsel is PCS = 28992 (PCS_RD_Netherlands_New). De gebruikte eenheden zijn meters (Projection Linear Units: 9001/meter (1.000000 m)). Overbodige tags worden in de header zoveel als mogelijk niet opgenomen.

- b. De orthofotomozaïeken worden tevens geleverd in het ECW-formaat. Ook dan bezit elk beeld een 24-bits kleurenpalet.
- c. De orthofotomozaïeken hebben een grootte van 500 meter bij 500 meter waarbij de x- en y-coördinaat van de linkerbovenhoek overeenkomen met de halve kilometerwaarde in de X- en Y-richting van het RD-coördinatenstelsel.
- d. Aangezien een spoorwegtraject vaak slechts een deel van een orthofotomozaïek beslaat, zal het voorkomen dat met de gemaakte luchtopnamen het orthofotomozaïek niet geheel gevuld kan worden met beeldinformatie. Voor die gebieden waar dit voorkomt, wordt het orthofotomozaïek gevuld met pixels met RGB-waarde [255, 255, 255].
- e. De naamgeving van de GeoTiff-beelden is xxxxxx_yyyyyy.tif waarbij xxxxxx de linksonder-coördinaat in x-richting is (eenheid meters) en yyyyyy de linksondercoördinaat in y-richting (eenheid meters). Een voorbeeld van een bestandsbenaming voor een orthofotomozaïek is 183000_582500.tif.
- f. De orthofotomozaïeken mogen geen thumbnails in het dataformaat bezitten en dienen direct inleesbaar te zijn in alle gangbare CAD-/GIS-omgevingen.
- g. De orthofotomozaïeken mogen geen zogenaamde „Orientation Tag” bezitten.
- h. De orthofotomozaïeken dienen zodanig scherp te zijn dat bij in het beeld aanwezige scherpe terreindetails de overgang van een maximale naar een minimale kleurwaarde in het beeld, of omgekeerd, aldaar maximaal twee pixels mag beslaan. Dat wil zeggen dat de overgang maximaal twee pixels bevat die een pixelwaarde hebben tussen de maximale kleurwaarde en de minimale kleurwaarde, rekening houdend met de in het beeld aanwezige ruiscomponent.
- i. De schaal van een vervaardigd orthofotomozaïek moet altijd kleiner of gelijk zijn aan de schaal van de luchtopnamen waarmee het orthofotomozaïek is vervaardigd.
- j. Per door ProRail aangegeven deelgebied wordt een set orthofotomozaïeken geleverd met een RD-grondpixelresolutie van drie centimeter of beter, rekening houdende met het gestelde in punt i.
- k. De orthofotomozaïeken in GeoTiff-formaat mogen op een beeldscherm bij een vergroting van 200% geen zichtbare compressieartefacten bezitten.
- l. Daar waar er ten behoeve van het verwijderen van de overlap tussen naburige luchtopnamen zogenaamde knippolygonen worden gedefinieerd, dienen deze te voldoen aan de volgende eisen:
 - Een knippolygoon moet zich altijd in een overlapgebied bevinden.
 - Een knippolygoon mag nooit door bebouwing of kunstwerken gaan, tenzij er in de desbetreffende overlap geen alternatief gevonden kan worden.
 - Een knippolygoon wordt altijd op maaiveldniveau gelegd.
- m. De ligging van een knippolygoon moet zodanig gekozen worden dat de terreineigenschappen aan weerszijden van de polygoon ervoor zorgen dat de exacte knijlijn zoveel als mogelijk onzichtbaar is.

- n. De radiometrische resolutie 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.
- o. De in de orthofotomozaïeken aanwezige contrasten in de donkere delen (schaduw) en in de lichte delen van het beeld dienen goed zichtbaar te zijn.
- p. De absolute ligging in het RD-stelsel dient voor alle pixels op maaiveldniveau beter te zijn dan twaalf centimeter.
- q. De kleurverschillen in een orthofotomozaïek ten gevolge van het feit dat het orthofotomozaïek is samengesteld uit verschillende digitale luchtopnamen dienen geminimaliseerd te zijn.
- r. De kleurverschillen tussen naburige orthofotomozaïeken dienen geminimaliseerd te zijn.

2.6.2 Op te leveren bescheiden

De opdrachtnemer levert de volgende bescheiden aan ProRail op één of meer, minimaal met een USB3.0-interface uitgeruste NTFS of exFAT geformatteerde MS-Windows compatibele harde schijven voor elk door ProRail voorgeschreven deelgebied:

- a. Een afleveringsbrief met daarin een gespecificeerde beschrijving van hetgeen wordt geleverd, alsmede van het gebied waarop de desbetreffende aflevering betrekking heeft.
- b. Alle true orthofotomozaïeken in het GeoTiff-formaat. Indien de luchtopnamen oorspronkelijk ingewonnen zijn als JPEG-bestanden worden de beelden geconverteerd naar Tiff-beelden. Alvorens alle mozaïeken worden geleverd aan ProRail wordt een aantal testbeelden geleverd teneinde na te gaan of de mozaïeken goed inleesbaar en goed gepositioneerd zijn op de desbetreffende computersystemen van ProRail.
- c. Alle orthofotomozaïeken in het gecompriëerde ECW-formaat waarbij de compressiefactor zodanig is ingesteld dat bij een 100% view van het beeld op een beeldscherm compressie-artefacten visueel niet zichtbaar zijn. Voor elk ECW-beeld wordt tevens het corresponderende EWW-bestand geleverd met de georeferentie-informatie.
- d. Per deelgebied één totaalmozaïek van het gebied in ECW-formaat inclusief het corresponderende EWW-bestand met de georeferentie-informatie.

2.6.3 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. Geven de geleverde orthofotomozaïeken een volledige bedekking van het testgebied?
- f. Bezitten alle orthofotomozaïeken een uniek nummer?
- g. Is de kleurdiepte van de geleverde orthofotomozaïeken voldoende?
- h. Zijn, per orthofotomozaïek, de juiste kleurbanden gebruikt?
- i. Voldoen de orthofotomozaïeken aan het scherptecriterium?
- j. Voldoet de pixelgrootte op maaiveldhoogte?
- k. Voldoet de geo-referentie aan de gestelde eisen?
- l. Voldoet het ruisniveau aan de gestelde eisen?
- m. Zijn de kleuren natuurgetrouw?
- n. Zijn in de donkere en lichte delen van een orthofotomozaïek nog voldoende contrasten zichtbaar zodat ook daar objecten eenduidig zichtbaar zijn?
- o. Voldoen de orthofotomozaïeken aan de gestelde eisen ten aanzien van het niet kunnen zien van compressieartefacten?
- p. Zijn de kniplijnen tussen de individuele opnamen binnen de mozaïeken correct gekozen?
- q. Voldoet de meta data aan de gestelde specificaties?

In zijn algemeenheid geldt dat, tenzij expliciet anders is aangegeven, volledig aan alle specificaties, zoals genoemd in 2.6.1, 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 2 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
X-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 2: Formaatbeschrijving van de te leveren stand- en positieparameters

De in tabel 2 vermelde omega-hoekwaarde is gerelateerd aan de draaiing om de x-coördinaten-as 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.

ProRail

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-fotocoördinatenas 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-fotocoördinatenas 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ProRail

Colofon

Titel	Inwinning luchtfotobeeldmateriaal
Documentnummer	
Versie/Datum	
Status	Definitief
Van	AM-Informatie CGS
Eigenaar	Raymond Welhuis
Projectleider	
Distributie	
Document	2016_09_05_R16_ProRail_bestek_luchtfotografie_Definitief-v1.0_ProRail

Autorisatie

gecontroleerd prl
projectleider

paraaf	datum
_____	_____
_____	_____
_____	_____