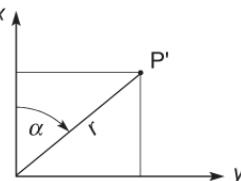
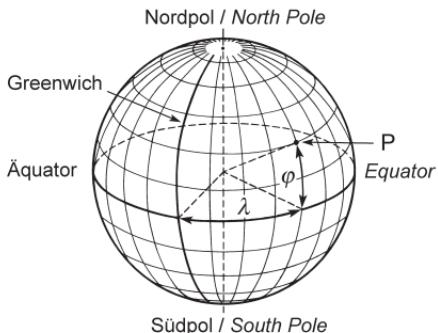


Allgemeines

Durch Kartenprojektionen (Kartennetzentwürfe) werden die geographischen Koordinaten λ (Länge) und φ (Breite) in rechtwinklig-ebene Koordinaten x, y oder in polare Koordinaten α, r einer Kartenebene transformiert. Dabei wird der Erdkörper entweder als Rotationsellipsoid oder (für kleinere Kartenmaßstäbe) als Kugel angenommen.

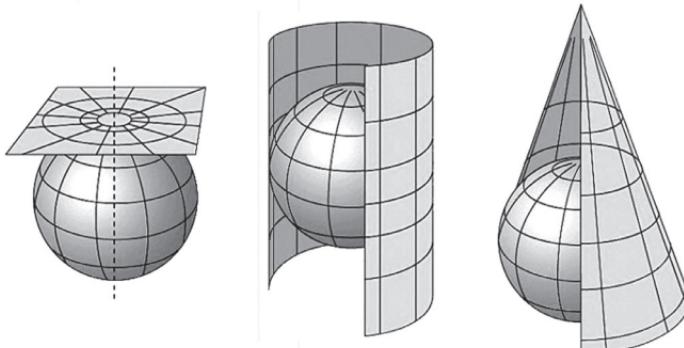


$$x = f_x(\lambda, \varphi) \quad y = f_y(\lambda, \varphi)$$

Die Transformationsfunktionen können beliebig gewählt werden. Wichtig sind geometrische Projektionen auf Ebenen sowie auf Zylinder oder Kegel, die in eine Ebene abgewickelt werden können.

General
Locations on the Earth are represented by the geographic coordinates λ (longitude) and φ (latitude). The purpose of map projections is to transform from the geographic coordinates into the plane coordinate system x, y of a map or into the polar coordinates α, r . In this context the Earth is assumed to be an ellipsoid or (for smaller map scales) a sphere.

In principle any mathematical functions can be applied for transformation. Of particular importance are geometric projections onto planes, or onto cylinders or cones that can be developed into a plane.



Ebene (azimutale), zylindrische und konische Projektionsflächen in normaler Lage
Plane (azimuthal), cylindrical, and conic projection surfaces in normal position

Bei der transversalen Lage sind die Hilfsflächen um 90° gedreht, bei der schiefachsigen Lage beliebig geneigt.

Projection surfaces in transversal position are rotated by 90° , in oblique positions the rotation is arbitrary.

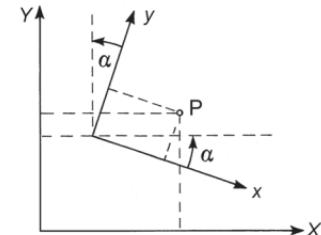
Ebene Koordinatentransformation
mit 2 identischen Punkten

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1 x - b_1 y \\ Y &= b_0 + b_1 x - a_1 y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{X} &= X_2 - X_1 & \bar{x} &= x_2 - x_1 \\ \bar{Y} &= Y_2 - Y_1 & \bar{y} &= y_2 - y_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad a_1 &= \frac{\bar{x} \bar{X} + \bar{y} \bar{Y}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} & b_1 &= \frac{\bar{x} \bar{Y} + \bar{y} \bar{X}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \quad a_0 = X_1 - a_1 x_1 + b_1 y_1 \quad b_0 = Y_1 - b_1 x_1 - a_1 y_1$$



Ebene Ähnlichkeitstransformation
mit Überbestimmung
mit n identischen Punkten

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + a_1 x - b_1 y \\ Y' &= b_0 + b_1 x + a_1 y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X' &= a_0 + k \cdot (x \cdot \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha) \\ Y' &= b_0 + k \cdot (x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha) \end{aligned}$$

$$i = 1 \dots n$$

$$\textcircled{1} \quad X_s = \frac{[X_i]}{n} \quad Y_s = \frac{[Y_i]}{n} \quad x_s = \frac{[x_i]}{n} \quad y_s = \frac{[y_i]}{n}$$

$$\textcircled{2} \quad \bar{X}_i = X_i - X_s \quad \bar{Y}_i = Y_i - Y_s \quad \bar{x}_i = x_i - x_s \quad \bar{y}_i = y_i - y_s$$

$$\textcircled{3} \quad a_1 = \frac{[\bar{x}_i \bar{X}_i] + [\bar{y}_i \bar{Y}_i]}{[\bar{x}_i^2 + \bar{y}_i^2]} \quad b_1 = \frac{[\bar{x}_i \bar{Y}_i] - [\bar{y}_i \bar{X}_i]}{[\bar{x}_i^2 + \bar{y}_i^2]}$$

$$k = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad \alpha = \arctan \frac{b_1}{a_1}$$

$$\textcircled{4} \quad a_0 = X_s - a_1 x_s + b_1 y_s \quad b_0 = Y_s - b_1 x_s - a_1 y_s$$

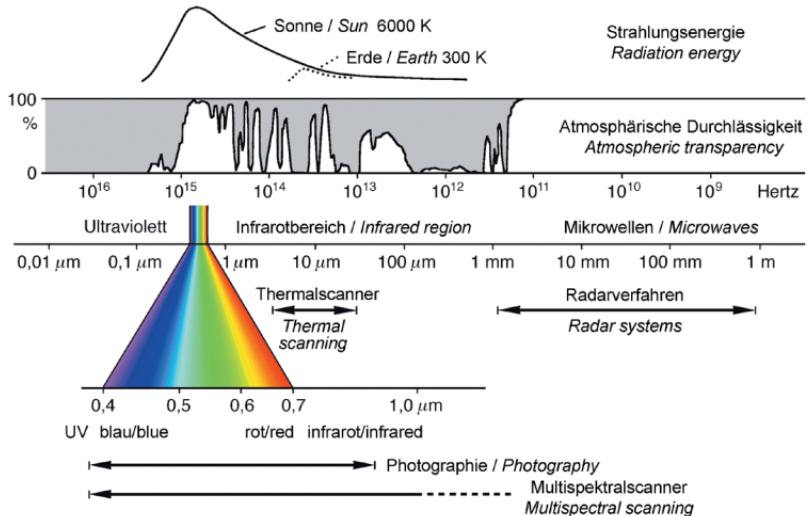
$$\textcircled{5} \quad v_{xi} = X_i - X'_i \quad m_0 = \sqrt{\frac{[v_{xi}^2 + v_{yi}^2]}{2n - 4}} = m_x = m_y \quad m_p = m_0 \sqrt{2}$$

Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum ist das geordnete System der elektromagnetischen Strahlung. In der Regel wird es nach Wellenlängen geordnet, manchmal nach Frequenzen. Die Grenzen der Spektralbereiche sind willkürlich definiert, die Bereiche gehen ineinander über.

The electromagnetic spectrum

The electromagnetic spectrum is the ordered array of electromagnetic radiation. Normally it is arranged according to wavelength, sometimes according to frequencies. The boundaries between spectral bands are arbitrarily defined, each portion overlaps adjacent portions.



Spektralbereich	Wellenlängen wavelengths	Frequenzen frequencies	Spectral region
Ultraviolet	< 0.4 μm	> 750 THz	ultraviolet
Sichtbares Licht	0.4 – 0.7 μm	430 – 750 THz	visible light
Nahes Infrarot	0.7 – 1.3 μm	230 – 430 THz	near infrared
Kurzwelliges Infrarot	1.3 – 3 μm	100 – 230 THz	short wave infrared
Mittleres Infrarot	3 – 8 μm	38 – 100 THz	intermediate infrared
Thermalinfrarot	8 – 14 μm	22 – 38 THz	thermal infrared
Fernes Infrarot	14 μm – 1 mm	0.3 – 22 THz	far infrared
Millimeterwellen	1 – 10 mm	30 – 300 GHz	millimeter waves
Zentimeterwellen	1 – 10 cm	3 – 30 GHz	centimeter waves
Dezimeterwellen	0.1 – 1 m	0.3 – 3 GHz	decimeter waves
Radiowellen	> 1 m	< 0.3 GHz	radio waves

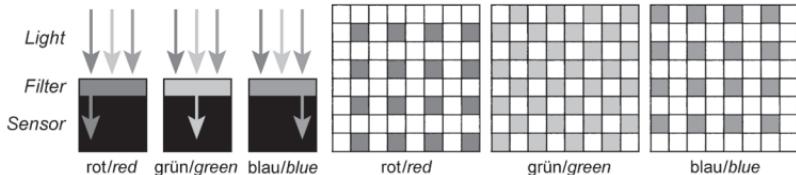
Wichtige Bereiche im elektromagnetischen Spektrum

Major regions of the electromagnetic spectrum

Flächenkameras

Flächenkameras (auch *Matrixkameras* genannt) arbeiten ähnlich wie photographische Systeme, jedoch ersetzt ein in der Bildebene der Kamera eingebauter Festkörpersensor den Film.

Verglichen mit den traditionellen Filmkameras zur Luftbildaufnahme sind so genannte *digitale Mittelformatkameras* entwickelt worden. Sie arbeiten mit *einem* CCD-Flächensensor. Zur Erfassung von Farbinformationen ist es üblich, die CCD-Pixel mit roten, grünen und blauen Filtern in einem schachbrettartigen Muster zu beschichten. Grüne Filter nehmen die weißen Felder des Brettes ein, die schwarzen Felder erhalten wechselweise rote und blaue Filter. Diese Anordnung, *Bayer-Muster* genannt, erlaubt die Aufzeichnung einer Farbe mit jedem Pixel. Im Ergebnis erfassen 50 % der Pixel grünes, 25 % rotes und 25 % blaues Licht. Wichtig ist dabei, dass die durch die CCD-Pixel definierte Auflösung damit verringert wird.



Prinzip des Bayer-Farbfilter-Musters für digitale Kameras:

Das Mosaikbild enthält 50 % Grünpixel und nur je 25 % Rot- und Blaupixel

Principle of the Bayer color filter pattern for digital color cameras:

The resulting mosaic image contains 50 % green pixels and only 25 % in red and blue

Großformatige digitale Kameras

Um große Flächendeckung für die Stereophotogrammetrie zu erzielen, müssen Daten von mehreren CCD-Flächensensoren zu *großformatigen digitalen Kamerassen* kombiniert werden. Dies verlangt mehrere Objektive und genaue Synchronisation der einzelnen Komponenten. Die bei der Aufnahme gewonnenen Bildmatrizen werden digital transformiert, um ein vollständiges Messbild zu erhalten, das grundsätzlich wie ein digitalisiertes photographisches Luftbild genutzt werden kann.

Array cameras

Array cameras (also called *matrix cameras*) operate in a similar way as photographic systems, but a solid-state sensor, installed in the focal plane of the camera, replaces the film.

As compared to the formats of the conventional film cameras for aerial surveys, so called *medium-format digital cameras* have been developed. They operate with *one* CCD sensor array. A common method to achieve color information with such cameras is to cover the CCD pixels by red, green, and blue filter layers in a chessboard pattern. Green filters are in the white positions of the board, the black positions are alternatively covered by red and blue filters. This arrangement, called *Bayer pattern*, allows the recording of only one color for each pixel. As a result 50 % of the pixels capture green, 25 % red, and 25 % blue light. It should be noted that the spatial resolution as determined by the CCD pixel size is reduced by this approach.

Large-format digital cameras

In order to achieve large ground coverage as needed for aerial stereophotogrammetry, data from several CCD arrays must be combined in *large format digital frame cameras*. This requires a multi-lens design for the camera and precise synchronization of the individual components. The image matrices achieved during data acquisition are mosaicked by digital transformation in order to generate a complete metric image, which can principally be treated like a digitized photographic aerial image.

Zur großflächigen Bodenabdeckung eignen sich verschiedene Anordnungen von CCD-Flächensensoren. Zwei Möglichkeiten zeigen die folgenden Beispiele.

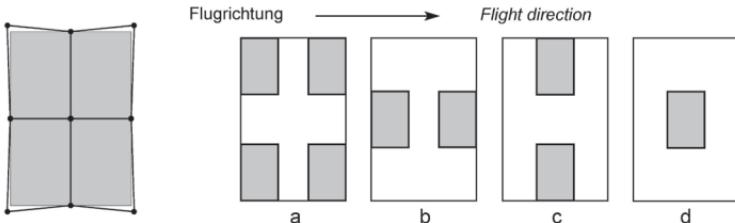
Digital Modular Camera (DMC)

Die DMC (hergestellt von Z/I Imaging) gewinnt hochauflösende panchromatische Abbildungen mit vier kombinierten Kameras. Diese sind leicht geneigt und nehmen benachbarte Gebiete auf. Die Datenaufnahme ist so synchronisiert, dass durch spezielle Verarbeitung der Bilddaten ein großformatiges virtuelles Bild gewonnen werden kann. Zusätzliche Kanäle zeichnen multispektrale Daten auf.

Various arrangements of CCD arrays and lenses can be applied to achieve large ground coverage. The following examples make use of different concepts.

Digital Modular Camera (DMC)

The DMC (manufactured by Z/I Imaging) operates with four camera heads for high resolution panchromatic imaging, each one with its own optics. The cameras are slightly tilted to cover a distinct ground area. Image acquisition is synchronized, thus a large-format virtual image can be derived by special digital image processing techniques. Additional channels acquire multispectral data.



Bodenabdeckung der hochauflösenden Kameras: DMC (links) und Ultracam-D (rechts)
Ground coverage of the high resolution cameras: DMC (left) and UltraCam (right)

UltraCam digital camera

Die UltraCam (entwickelt von Vexcel) benutzt auch mehrere Kameraköpfe. Aber durch die Objektive wird eine gemeinsame Bildebene erzeugt. Das großformatige Bild entsteht aus Einzelbildern durch Mosaikbildung. Eine 'Hauptkamera' definiert das Bildkoordinatensystem für das ganze, zunächst noch lückenhafte Bild (a). Die Lücken werden durch 'Hilfskameras' (b), (c), and (d) geschlossen.

In beiden Fällen kann das großformatige Bild durch spezielle Bildverarbeitungstechnik gewonnen werden. Das schließt die Anwendung von kameraspezifischen zusätzlichen Parametern zur Verzeichnungskorrektur ein. Außerdem ist den Kameras gemeinsam, dass sie hochauflösende Schwarzweiß-Bilder bevorzugen und für Farbinformationen getrennte Aufnahmen geringer Auflösung verwenden.

UltraCam digital camera

The UltraCam (developed by Vexcel) is also a multi-camera-head design. But the lenses of each component are focused in one common plane. The large image format is achieved by combining the individual images through mosaicking. A 'master cone' provides the image coordinate system and the full but incomplete image (a). The holes are filled by 'slave cones' (b), (c), and (d).

In both cases the large-format image is derived by special digital image processing approaches. This comprises the application of camera-specific additional parameters for distortion correction. Furthermore both cameras have in common that they emphasize high resolution for black-and-white and use separate recording of color information at reduced resolution.

Differentialentzerrung

Die *Entzerrung* von Bildebenen in die Objektebenen eliminiert die Wirkungen der Kameraneigung. Es verbleiben aber durch das Geländерelief erzeugte Lagefehler.

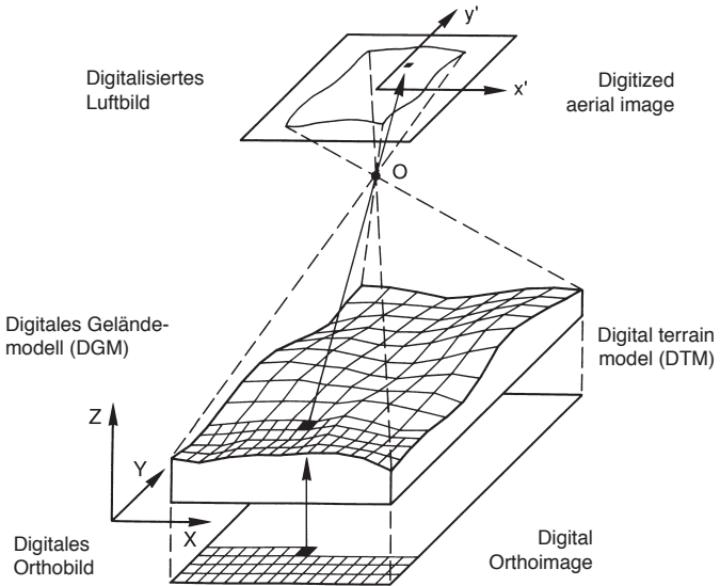
Durch eine *Differentialentzerrung* wird das Geländерelief berücksichtigt, so dass ein Orthobild (eine Parallelprojektion) mit den geometrischen Eigenschaften einer Karte entsteht. Für diesen Vorgang werden die Orientierungsparameter des Bildes sowie ein DGM (Digitales Geländemodell)

benötigt.

Differential rectification

The *rectification* from image planes to object planes eliminates the effects of camera tilt. However, a rectified image still contains displacements due to the terrain relief.

Through *differential rectification* the terrain relief is considered in such a way, that an orthoimage (i.e. a view from infinity) is generated, providing the geometric properties of a map. This procedure requires the orientation parameters of the image and a DTM as well.



Schematische Darstellung der Differentialentzerrung eines Luftbildes in ein Orthobild
Schematic sketch of differential rectification of an aerial image into an orthoimage

Orthobilder können durch Digitale Bildverarbeitung entweder mit Vorwärtsprojektion (direkte Transformation) oder mit Rückwärtsprojektion (indirekte Transformation) erzeugt werden. Aus praktischen Gründen wird Rückwärtsprojektion (wie oben skizziert) bevorzugt. Der Vorgang erfordert die drei folgenden Schritte.

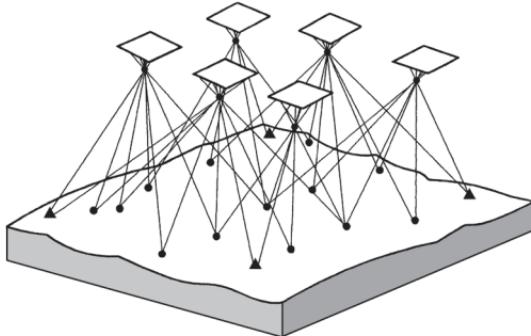
Orthoimages can be generated through digital image processing either by forward projection (direct transformation) or by backward projection (indirect transformation). For practical reasons, backward projection (as sketched above) is usually preferred. This results in three steps of operation as described in the following.

Aerotriangulation durch Bündelblockausgleichung

Durch Blockausgleichung bestimmt man die Parameter der äußeren Orientierung der Bilder und die Geländekoordinaten von Verknüpfungspunkten gleichzeitig.

Aerotriangulation by bundle block adjustment

By block adjustment the exterior orientation parameters of a block of images, as well as the ground coordinates of tie points, are determined simultaneously.



Schematische Darstellung der Strahlenbündel einer Blockausgleichung
Schematic sketch of the bundles of rays for bundle block adjustment

Das Verfahren beruht auf dem mathematischen Modell der Zentralperspektive und benutzt direkt die Bildkoordinaten als Beobachtungen. Für die Berechnung werden die Strahlenbündel vom Projektionszentrum zu den Bildpunkten nach den Kollinearitätsgleichungen gebildet:

The method is based on the mathematical model of perspective geometry, and uses directly the image coordinates as observations. For the computation the bundles of rays from the projection centers to the image points are established, according to the collinearity equations:

$$x_i' = c_k \frac{a_{11}(X_i - X_0) + a_{21}(Y_i - Y_0) + a_{31}(Z_i - Z_0)}{a_{13}(X_i - X_0) + a_{23}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)}$$

$$y_i' = c_k \frac{a_{12}(X_i - X_0) + a_{22}(Y_i - Y_0) + a_{32}(Z_i - Z_0)}{a_{13}(X_i - X_0) + a_{23}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)}$$

Gegeben: Kamerakonstante c_k , Koordinaten der Geländepasspunkte

Given: focal length c_k , coordinates of the ground control points

Gemessen: Bildkoordinaten x_i', y_i'

Measured: image coordinates x_i', y_i'

Unbekannte: Bildorientierung $X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ (in der Drehmatrix a_{ii} enthalten), X_i, Y_i, Z_i der Verknüpfungspunkte

Unknown: image orientation $X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ (the angles are included in the rotation matrix a_{ii}), X_i, Y_i, Z_i of the tie points

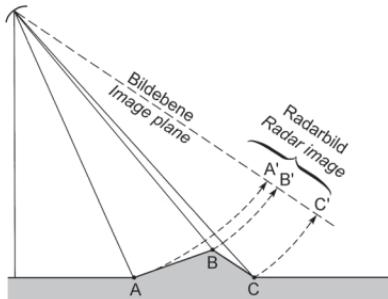
$$\mathbf{v} = \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{x}_1 + \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{x}_2 - \mathbf{l}$$

Ausgleichung mit \mathbf{x}_1 = Objektkoordinaten und \mathbf{x}_2 = Bildorientierungsparameter

Adjustment with \mathbf{x}_1 = object coordinates and \mathbf{x}_2 = image orientation parameters

Radar-Abbildungsgeometrie

Die Abbildungsgeometrie beschreibt den Zusammenhang zwischen dem abgestrahlten Radarpuls und dem Gelände. Der Hauptparameter dabei ist der lokale Einfallswinkel, also der Winkel zwischen dem Radar-Entfernungsvektor und der Normalen des abgebildeten Flächenelement des Geländes. Jede Neigung der abgebildeten Geländeoberfläche ändert die Geometrie der Signal-Objekt-Wirkung beträchtlich. Das folgt daraus, dass ein Radar ein entfernungsmeßendes System ist.



Verkürzung (Foreshortening) im Radartbild
Foreshortening of a slope in an image

Verkürzung (Foreshortening)

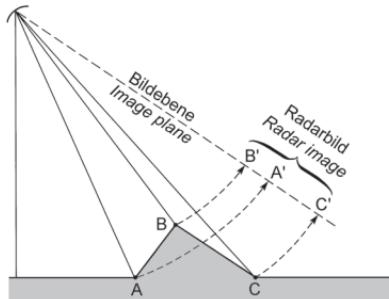
Verkürzung tritt auf, wenn der lokale Einfallswinkel kleiner ist als der Abstrahlwinkel, aber größer als 0° . Durch diese Art der Verzerrung erscheint ein zum Sensor hin geneigter Hang im Bild verkürzt und ein Objekt ist zum Sensor hin geneigt (daher der Begriff Verkürzung).

Überlagerung (Layover)

Überlagerung tritt auf, wenn der lokale Einfallswinkel größer ist als der Abstrahlwinkel. In diesem Fall kommt das Radar-Signal von der Spitze der Geländeform vor dem Signal von Fuß zurück. Das sieht im Radartbild so aus als ob der höchste Punkt des Geländes dem Fußpunkt in der Richtung zum Sensor überlagert ist. Bild und Gelände sind nicht mehr topologisch äquivalent. Der Effekt kann als Extremfall der Verkürzung verstanden werden.

Radar viewing geometry

The radar viewing geometry refers to the geometry between the transmitted radar pulse and ground targets. The main parameter in this geometry is the *local incidence angle*, defined as the angle between the radar range vector and the surface normal to each terrain element imaged by the radar. Any slope on the ground surface being imaged significantly alters the geometry of the signal-target interaction. This is due to the fact that a radar is a distance-measuring device.



Überlagerung (Layover) im Radartbild
Layover of a mountain in a radar image

Foreshortening

Foreshortening occurs when the local incidence angle is smaller than the illumination angle, but larger than 0° . Through this type of distortion the sensor-facing slope of the terrain appears on an image shortened and the feature is leaning towards the sensor (hence the term foreshortening).

Layover

Layover occurs where the local incidence angle is greater than the incidence angle. In this case the radar signal returns from the top of the terrain feature before the signal from the base. This results on the radar image as if the highest point of the vertical feature is laid over top of its base in the direction of the sensor. The image and the terrain are not any more topologically equivalent. This effect can be understood as an extreme form of foreshortening.