

Geometrische Grundlagen

Ausgehend von den Grundlagen der Zentralperspektive wird die Anwendung im Fahrzeugbau erklärt. Die Zusammenhänge und Begriffe werden für die Ableitung der inneren und äußeren Orientierung aus Designskizzen benötigt. Diese Orientierungsdaten benutzen wir, um mit Mitteln der Projektiven Geometrie Konturen (Hauptschnitte) manuell zu entzerren. Wir diskutieren dazu das Fluchtpunktverfahren, die Verfahren auf Basis der Invarianz des Doppelverhältnisses, die Perspektive Kollineation und die Projektiven Netze. Vom manuellen Weg wird danach zum CAD-Weg übergeleitet.

Hinweis zur Literatur

Die Literaturverweise im Kap. 2 beziehen sich auf das Literaturverzeichnis von Kap. 1.

2.1 Zentralprojektion

2.1.1 Das Prinzip der Zentralprojektion

Die Zentralprojektion (oder die Zentralperspektive) entspricht nicht nur dem Vorgang des Fotografierens, sondern auch dem des natürlichen Sehens, bei welchem alle Sehgeraden vom Projektionszentrum Z ausgehen. Als Bildträger fungiert eine ausgezeichnete Ebene – die Bildebene π . Die Bildpunkte werden mittels der Durchschnittsmethode gewonnen, s. Abb. 64.

Ein Punkt P wird durch Zentralprojektion auf die Bildebene π abgebildet, welche immer normal zur Sicht- und Blickachsenrichtung steht. π_1 bezeichne eine horizontale Standebene (Fußboden), auf welcher das abzubildende Objekt (mit ausgezeichneten Punkten P) ruht. Weiter gilt:

- Z ist das Projektionszentrum der Perspektive
- H ist der Lotfußpunkt von Z aus auf die Bildebene π und zugleich Ursprung für das Bildkoordinatensystem mit den Achsen x' und y' . Die Gerade b durch Z normal zu π ist die Blickachse und der Durchschnittspunkt von b durch π ist jener Bildhauptpunkt H

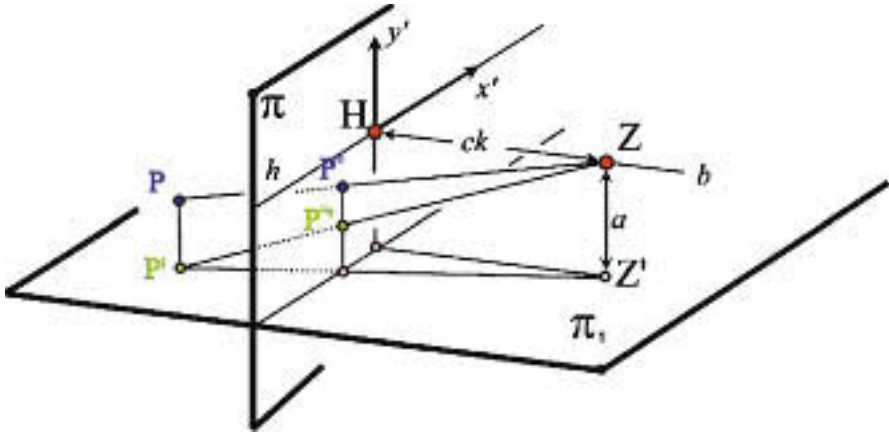


Abb. 64. Durchschnittmethode

- $a = \overline{ZZ'}$ bezeichnet die Aughöhe
- $ck = \overline{ZH}$ heißt Kammerkonstante oder Augdistanz d und entspricht der Brennweite f für Fotografien.

2.1.2 Abbildungsgleichung der Zentralprojektion – Kollinearitätsbedingung

Abbildung 65 und die Abkürzungen bzw. Begriffe darin sind der Luftbildphotogrammetrie [15] entlehnt.

Im Ursprung des Bildkoordinatensystems (O', i', j', k') befindet sich das Projektionszentrum Z oder der Augpunkt O' . Dieser ist im Weltkoordinatensystem $(O; i, j, k)$ kartiert. Die Kollineationsgleichung 1 lautet (der Abb. 65 entsprechend):

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \lambda \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{r}' \quad (1)$$

mit

- $\mathbf{x}$ als Ortsvektor vom Koordinatenursprung O zum Punkt P
- $\mathbf{x}_0$ als Ortsvektor zum Projektionszentrum O'
- $\mathbf{D}$ als Produkt der Drehmatrizen für die Drehung um die Koordinatenachsen mit den Winkeln φ, ω, κ
- $\mathbf{r}'$ als Ortsvektor von O' zum Bildpunkt P' und $\mathbf{r}$ Ortsvektor von O' zum Punkt P
- λ als Maßstabsfaktor

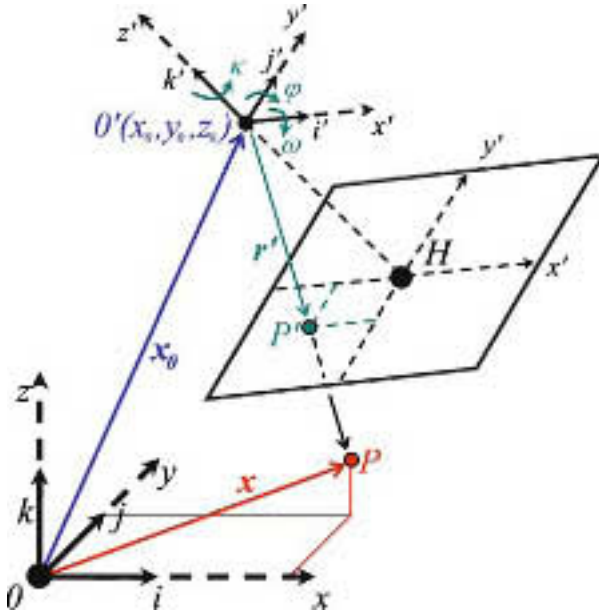


Abb. 65. Ein Punkt P wird durch Zentralprojektion auf den Bildpunkt P' abgebildet

Der Vektor $\mathbf{r}' = (x', y', z')$ enthält die für die Bildkoordinaten notwendigen Komponenten x' und y' . Obige Gl. 1 wird somit zu Gl. 2 umgestellt.

$$\mathbf{r}' = \lambda' \cdot \mathbf{D}^{-1} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \quad (2)$$

Im nächsten Abschnitt wird die resultierende Drehmatrix $\mathbf{D}$ erklärt. Wir benötigen diese, um einen gegebenen Vektor durch Drehbewegungen in eine neue Lage im gleichen (Welt-)Koordinatensystem zu transformieren.

2.1.3 Erläuterungen zur Drehmatrix

Der anfänglich (bei $\varphi = \omega = \kappa = 0$) nach unten in Richtung des Einheitsvektors $-z$ hängende Sichrichtungsvektor (grün) wird mittels der drei Drehungen φ , ω und κ in die gewünschte Sichrichtung vom Augpunkt zum CAD-Bildreferenzpunkt (standardmäßig im Schwerpunkt des abzubildenden Objektes angeordnet) geschwenkt, s. Abb. 66.

Durch die erste Drehung um φ schwenken wir die grüne Bildebene mit ihrer anfänglich senkrecht nach unten zeigenden Bildachse in die beigefarbene, durch die zweite Drehung um ω in die mittelbraune und durch die dritte Drehung um κ in die rote Lage. Dabei wird die jeweilige lokale Bildachse x' durch

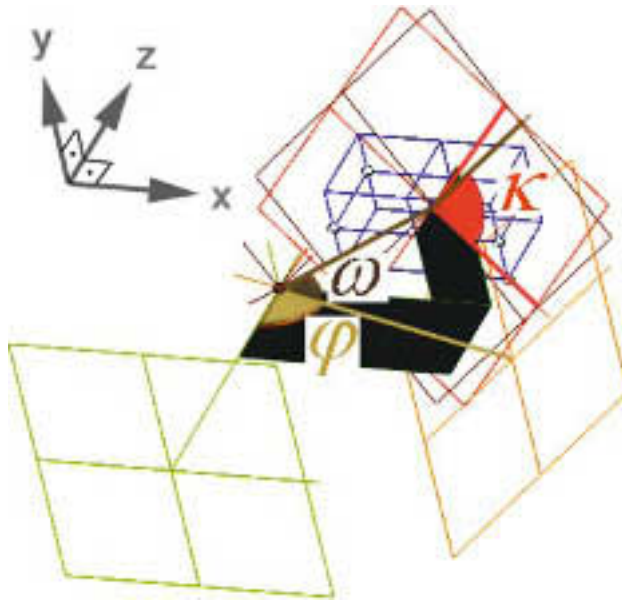


Abb. 66. Die Komponenten der Drehmatrix

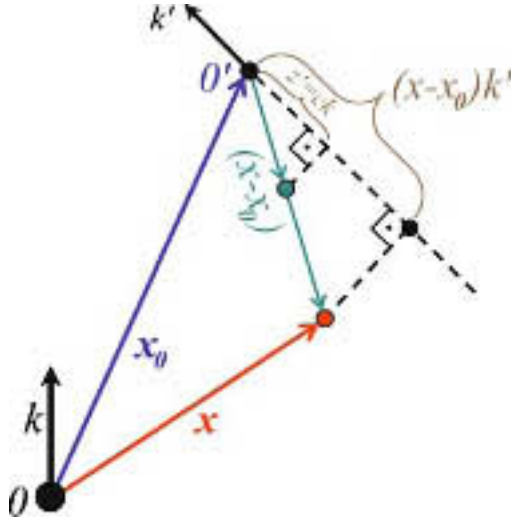
eine kleine Fortsetzung unter den Bildrand hinaus gekennzeichnet. Ersichtlich zeigt die lokale Bildachse x' nach den drei Drehungen genau in die lokale x -Achsenrichtung des Bildschirms oder gleichbedeutend die Bildhauptsenkrechte des Bildes zeigt genau in die lokale y -Achsenrichtung des Bildschirms.

Wir greifen unsere umgestellte Abbildungsgleichung 2 wieder auf und setzen in den Term auf der rechten Seite, zunächst ohne den Maßstabsfaktor, die Drehmatrix ein, s. Gl. 3.

$$\mathbf{D}^{-1} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x - x_0)' \\ (y - y_0)' \\ (z - z_0)' \end{pmatrix} \quad (3)$$

Die Elemente der Matrix ergeben sich durch Hintereinanderausführung der einzelnen Drehungen, wobei je nach Reihenfolge unterschiedliche Matrixelemente für die resultierende Drehmatrix zu erwarten sind. Hier wird der traditionellen Variante aus der Luftbildphotogrammetrie der Vorzug gegeben, wobei φ die Primär-, ω die Sekundär- und κ die Tertiärdrehung ist. Damit erhält man folgende Gesamtdrehmatrix, s. Gln. 4 und 5.

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}_\varphi \cdot \mathbf{D}_\omega \cdot \mathbf{D}_\kappa \quad (4)$$

Abb. 67. Berechnung des Streckfaktors λ'

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \text{ mit } \begin{cases} a_1 = \cos \varphi \cdot \cos \kappa + \sin \varphi \cdot \sin \omega \cdot \sin \kappa \\ a_2 = \cos \omega \cdot \sin \kappa \\ a_3 = -\sin \varphi \cdot \cos \kappa + \cos \varphi \cdot \sin \omega \cdot \sin \kappa \\ b_1 = -\cos \varphi \cdot \sin \kappa + \sin \varphi \cdot \sin \omega \cdot \cos \kappa \\ b_2 = \cos \omega \cdot \cos \kappa \\ b_3 = \sin \varphi \cdot \sin \kappa + \cos \varphi \cdot \sin \omega \cdot \cos \kappa \\ c_1 = \sin \varphi \cdot \cos \omega \\ c_2 = -\sin \omega \\ c_3 = \cos \varphi \cdot \cos \omega \end{cases} \quad (5)$$

2.1.4 Maßstabs- oder Streckfaktor

Der Streckfaktor λ' lässt sich unter der Annahme gewinnen, dass die Richtungskomponente von $\mathbf{r}'$ für k' stets den gleichen Abstand der Bildebene zum Projektionszentrum einhalten muss.

Um diesen Streckfaktor nun konkret zu ermitteln, wird Gl. 2 genutzt und durch Multiplikation mit k' nur die dritte Vektorkomponente betrachtet, s. Gln. 6 und 7.

$$\mathbf{r}' \cdot k' = z' = \lambda' \cdot \mathbf{D}^{-1} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \cdot k' \quad (6)$$

$$\lambda' = \frac{z'}{\mathbf{D}^{-1} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \cdot k'} = \frac{z'}{\underbrace{(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)' \cdot k'}_{\text{BKS}}} = \frac{z'}{\begin{pmatrix} (x - x_0)' \\ (y - y_0)' \\ (z - z_0)' \end{pmatrix} \cdot k'} = \frac{z'}{(z - z_0)'} \quad (7)$$

BKS bedeutet: Vektor liegt damit im Bildkoordinatensystem vor.

2.1.5 Berechnungsformel für die Bildkoordinaten

Nach dem Einsetzen von λ' und $\mathbf{D}^{-1}$ in Gl. 2 ergeben sich die Gln. 8 bis 12:

$$\mathbf{r}' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \frac{z'}{(z - z_0)'} \cdot \begin{pmatrix} (x - x_0)' \\ (y - y_0)' \\ (z - z_0)' \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \frac{z'}{(x - x_0) \cdot c_1 + (y - y_0) \cdot c_2 + (z - z_0) \cdot c_3} \cdot \begin{pmatrix} (x - x_0) \cdot a_1 + (y - y_0) \cdot a_2 + (z - z_0) \cdot a_3 \\ (x - x_0) \cdot b_1 + (y - y_0) \cdot b_2 + (z - z_0) \cdot b_3 \\ (x - x_0) \cdot c_1 + (y - y_0) \cdot c_2 + (z - z_0) \cdot c_3 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$x' = z' \cdot \frac{(x - x_0) \cdot a_1 + (y - y_0) \cdot a_2 + (z - z_0) \cdot a_3}{(x - x_0) \cdot c_1 + (y - y_0) \cdot c_2 + (z - z_0) \cdot c_3} \quad (10)$$

$$y' = z' \cdot \frac{(x - x_0) \cdot b_1 + (y - y_0) \cdot b_2 + (z - z_0) \cdot b_3}{(x - x_0) \cdot c_1 + (y - y_0) \cdot c_2 + (z - z_0) \cdot c_3} \quad (11)$$

$$z' = -ck \text{ (bei Positivbild)} \quad (12)$$

Damit sind die Bildkoordinaten (x', y') eines beliebigen Punktes $P(x, y, z)$ mit Kenntnis der Brennweite ck und des Projektionszentrums Z bzw. $O'(x_0, y_0, z_0)$ eindeutig berechenbar.

2.1.6 Besonderheiten der Computerperspektive im Fahrzeugbau

Die Gl. 1 wird im folgenden Schrägbild 68 nochmals veranschaulicht.

Die linke hintere Ecke (Punkt P) des Hüllkörpers wird auf die CAD-Bildebene projiziert. Das Projektionszentrum ist der Augpunkt O' . W bezeichnet den Ursprung des Weltkoordinatensystems (= Fahrzeugkoordinatensystem). Die gesuchten lokalen Koordinaten des Bildpunktes P' sind x' und y' in der hellblauen Bildebene.

2.2 Hilfsmittel aus der Projektiven Geometrie

Im folgenden Abschnitt werden manuelle Verfahren zur Auswertung von perspektivischen Designzeichnungen vorgestellt. Diese Verfahren beruhen auf dem Fluchtpunktverfahren, der Perspektiven Kollineation und der Invarianz des Doppelverhältnisses.

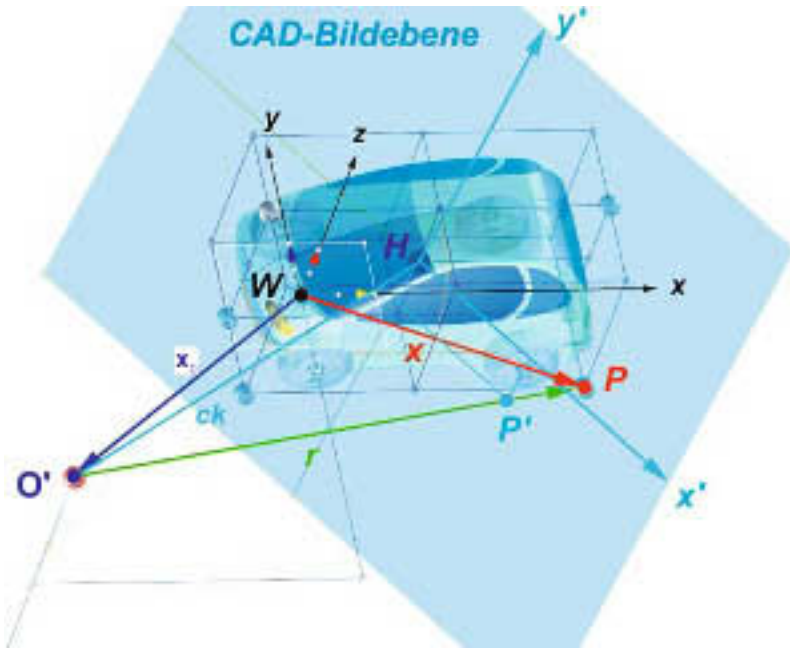


Abb. 68. Zentralperspektivische Abbildung im Fahrzeugbau

2.2.1 Anwendung in der Architektur

Aus methodischen Gründen lohnt sich ein Erinnern an diese aus Hochschulvorlesungen für die Architekten bekannten Anwendungen. Wenn man sich die Vorgehensweise bei der Rekonstruktion des wahren Grundrisses eines Gebäudes aus einem Foto klar macht, dann erkennt man die Zusammenhänge auch im Fahrzeugbau besser. Deshalb wurde im Anhang A.2, S. 192, eine Wiederholung des Stoffes angefügt.

2.2.2 Anwendung im Fahrzeugbau

2.2.2.1 Aufgabenstellung und Übersicht zu den Lösungsverfahren

Wir stellen uns nun die Aufgabe, eine zentralperspektivische Aufnahme von Hand völlig ohne CAD-Hilfsmittel konstruktiv (in Hauptebenen) zu entzerren. In unserem Testbeispiel seien die Daten der Zentralperspektive zur Kontrolle bekannt, s. Abb. 69.

In den Abb. 70 bis 72 erkennen wir den Augpunkt O (rot) und den Bildreferenzpunkt R (hier im Objektschwerpunkt). Die Aufgabe soll als gelöst gelten, wenn wir die Daten von O und R aus dem Perspektivbild (hier eine Designmodellskizze mit Hüllbox) mittels manueller Konstruktion genügend genau

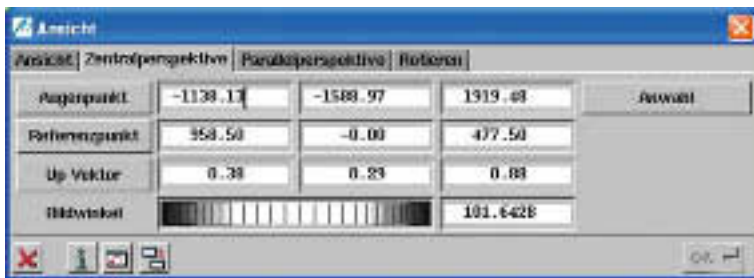


Abb. 69. Menü mit den Orientierungsparametern

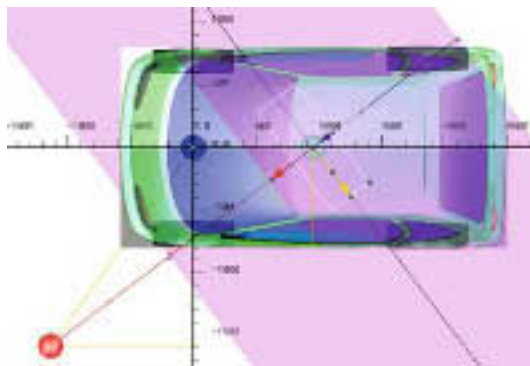


Abb. 70. Grundriss

reproduziert und exemplarisch ein Hauptprofil des Fahrzeuges, z.B. in der Längsmittlebene XZ, entzerrt haben, s. Abb. 73.

Die Hauptmaße (Länge, Höhe, Breite des Fahrzeuges) des Hüllquaders und die 3D-Koordinaten eines Eckpunktes der Hüllbox im Fahrzeugkoordinatensystem können dabei (als Teil der Vorgabe für den Designer in der sog. Packagezeichnung) als bekannt vorausgesetzt werden.

Der Ursprung des Fahrzeugkoordinatensystems liegt in der Mitte der Vorderachse. Der Augpunkt O befindet sich links oben vor dem Fahrzeug. Der Abstand d (auch CAD-Brennweite genannt) zwischen O und R beträgt hier 3000 mm. O wurde absichtlich etwas höher als sonst üblich gewählt, damit hier im Beispiel die drei Fluchtpunkte leicht zu kartieren sind.

Die Abb. 73 zeigt das Perspektivbild mit je einem rot eingezeichneten Längs- und Querprofil, welche zu entzerren sind. Man erkennt unmittelbar, wie die Fluchtpunkte gewonnen werden, s. Abb. 73.

Zur Lösung der Aufgabe werden je nach gegebener Geometrie verschiedene Verfahren verwendet, s. Anhang A.1, Tabelle 1.

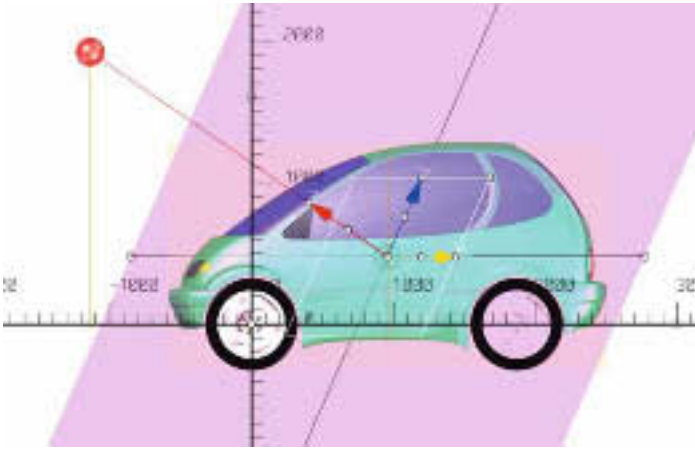


Abb. 71. Seitenriss

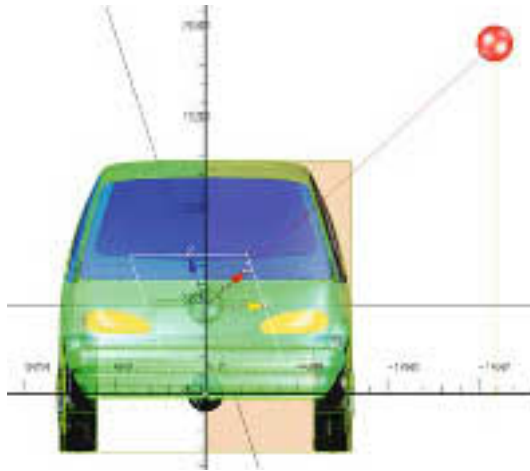


Abb. 72. Frontriss

Gemäß der Eigenschaften von geometrisch linearen Abbildungen (Projektionen) hat jede nicht durch das Projektionszentrum Z gehende Gerade g einen geradlinigen Riss g' (Geradentreue), s. [14].

Jeder bekannte Winkel zwischen sich schneidenden Geraden im abzubildenden Modell ist in gleicher wahrer Größe noch einmal im Augpunkt zu finden, wenn wir die jeweiligen Fluchtgeraden der beiden Geraden konstruieren können. Die zwei Fluchtgeraden erhalten wir, wenn wir Parallelen zu den beiden Geraden durch den Augpunkt ziehen. Handelt es sich um einen rechten Winkel, so wenden wir den Thaleskreis als Hilfskonstruktion an. Es lassen sich aber

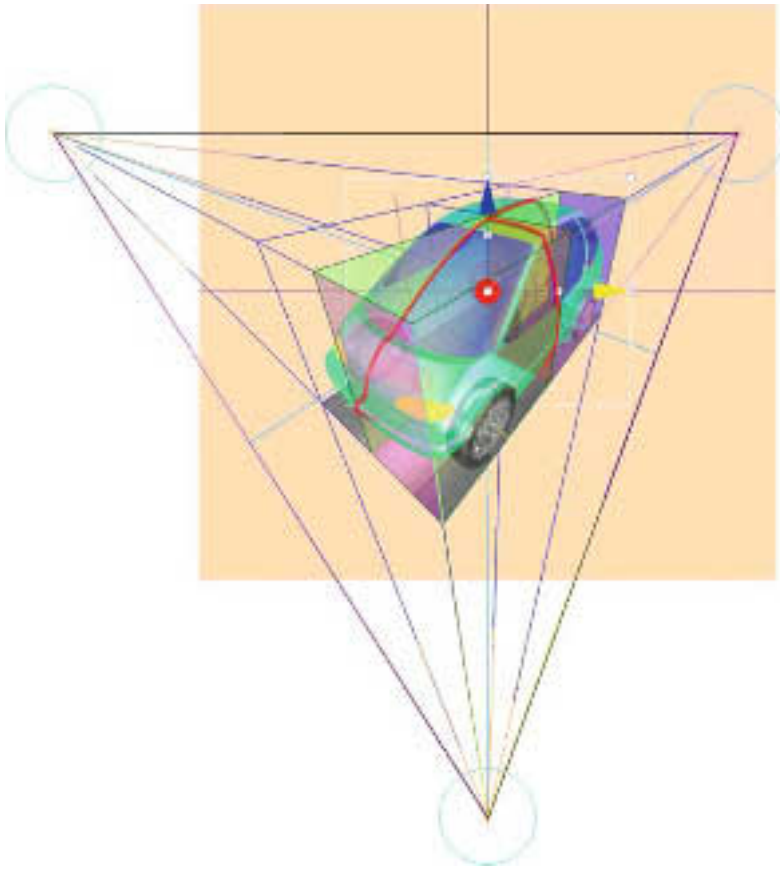


Abb. 73. Zentralperspektive

auch beliebige Winkel zwischen sich schneidenden Geraden im abzubildenden Modell rekonstruieren, s. Beispiel der Diagonalen eines Rechtecks.

Kommentar zum Fluchtpunktverfahren: Der Schnittpunkt der Höhen im Fluchpunktdreieck definiert den Bildhauptpunkt, welcher mit der Projektion des Augpunktes in die Bildebene zusammenfällt. Auf der Basis von [14] wurde das Verfahren in [24] ausprobiert. Der Nachteil des Verfahrens ist, dass man es ohne eine vom Designer eingezeichnete vollständige oder abgerüstete Hüllbox (nur Längsmittlebene und eine Querebene) nicht anwenden kann. Zur Programmierung eines CAD-Hilfsmittels eignet sich das Verfahren deshalb nicht.

Das Verfahren des räumlichen Rückwärtseinschnittes ist universeller und nicht an die Existenz einer Hüllbox gebunden. Es können dabei auch beliebige Passpunkte auf dem Fahrzeugkörper selbst verwendet werden.

Hinweis zur Bestimmung von Augpunkt und Augdistanz: Um den umgeklappten Augpunkt in der Bildebene und damit die Augdistanz zu gewinnen, verwenden wir (über einer Höhe des Fluchpunktdreiecks) den Thaleskreis. Dies wurde auch in [24] unter Verweis auf [14] demonstriert. Bei einem CAD-Hilfsmittel kann dieser Schritt vollkommen entfallen, da die Entzerrung automatisch mit abfällt.

Wir lösen die Aufgabe schrittweise:

2.2.2.2 Fluchpunktverfahren sowie Bestimmung der Daten der inneren und äußeren Orientierung – Schritt 1

Die Daten der inneren Orientierung (Lage des Bildhauptpunktes H im lokalen Bildkoordinatensystem x', y' und Augdistanz d) bestimmen wir durch das Fluchpunkt- oder alternativ durch das Doppelverhältnisverfahren.

Die Bildebene wird im Punkt R angeheftet. Ihr Normalenvektor zeigt von H nach Z . Wir benutzen die halbe Hüllbox links von der Fahrzeugmittelebene (in negativer y -Richtung) als Hilfsmittel, um die Verzerrungen bei der Perspektive darzustellen. Verlängern wir die Kanten des Hüllquaders in alle drei Richtungen, so erhalten wir die Fluchpunkte.

Der Schnittpunkt der Höhen des Fluchpunktdreiecks in der Bildebene ist der Bildhauptpunkt H . Lotrecht über diesem, der hier im CAD-System mit dem Bildreferenzpunkt R zusammenfällt, finden wir den Augpunkt O , also das Projektionszentrum Z .

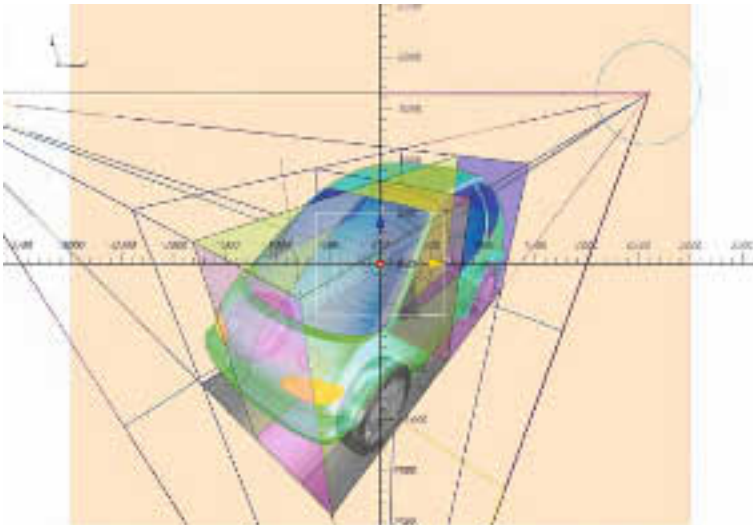


Abb. 74. Perspektivbild mit Fluchpunktkonstruktion

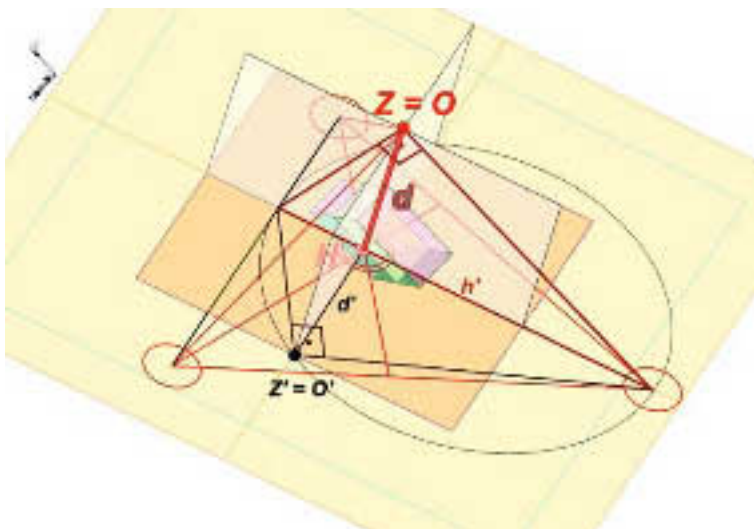


Abb. 75. Schrägbild von der Aufnahmesituation mit den drei Fluchtpunkten

Verbinden wir das Projektionszentrum Z mit den drei Fluchtpunkten, so erhalten wir eine Pyramide. Der Abstand d vom Projektionszentrum zum Bildhauptpunkt H entspricht der Augdistanz. Wir erkennen die Parallelität der Pyramiden- mit den Hüllboxkanten. Die drei vom Projektionszentrum ausgehenden Pyramidenkanten im Augpunkt schließen paarweise einen rechten Winkel ein. Ferner sieht man einen weiteren rechten Winkel in der Hilfsebene normal zur Bildebene. Daraus folgt unmittelbar die Konstruktionsmöglichkeit für den umgeklappten Augpunkt Z' : Wir zeichnen den Thaleskreis k' in der Bildebene über der Höhe h' des Fluchpunktdreiecks ein und errichten die Normale, hier Geradenstück d' , im Bildhauptpunkt H , welche den Thaleskreis k' im umgeklappten Augpunkt Z' schneidet.

Damit sind die Daten der inneren Orientierung bekannt!

Die Daten der äußeren Orientierung (3D-Koordinaten des Augpunktes und drei Rotationen für die Sichtrichtung – somit sechs Unbekannte) ergeben sich aus der inneren Orientierung unter Bezugnahme auf die vorgegebene bekannte Hüllquadergeometrie.

Aus den 3D-Koordinaten des Anheftpunktes R der Bildebene (identisch mit dem Bildhauptpunkt H) im abzubildenden Objekt ergibt sich durch den Normaleneinheitsvektor der Bildebene von H in Richtung zum Augpunkt O und die Augdistanz d die absolute Lage des Augpunktes O im Fahrzeugkoordinatensystem. Aus den absoluten Positionen von O und R folgen unter der Nebenbedingung, dass die Bildhauptsenkrechte (in CAD-System Up-Vektor genannt) auch auf dem Bildschirm nach oben zeigt, alle drei Rotationen für die

Koordinatentransformation. Damit sind die sechs Unbekannten der äußeren Orientierung, also die drei Translationen, um im 3D-Raum vom Bildhauptpunkt H (= Bildreferenzpunkt R im Objektschwerpunkt) zum Augpunkt O zu gelangen und die drei Rotationen für die Sichtrichtung, bestimmt.

Neben der Fluchtpunktmethode gibt es noch andere Verfahren zur Augpunktbestimmung, die alle auf der Invarianz des Doppelverhältnisses beruhen. In den folgenden Abschnitten werden diese (4+2)-Passpunktverfahren vorgestellt.

Man kann dafür auch die Hüllbox verwenden oder sich davon lösen, s. Beispiel mit Passpunkten auf den Rädern und auf dem Karosseriekörper.

2.2.2.3 Alternative Verfahren zur Augpunktbestimmung auf Basis der Invarianz des Doppelverhältnisses

2.2.2.3.1 Anwendung des Doppelverhältnisses zur Augpunktbestimmung mit Verwendung der Hüllbox

Bei der punktweisen Entzerrung (s. Abschn. 2.2.2.5.1) eines Profilschnittes liegen alle Punkte (vier Ecken der Hilfsebene und der Neupunkt) exakt in der Ebene. Wir nehmen hier jedoch zwei Passpunkte P_5 und P_6 hinzu, die nicht in der Hilfsebene liegen.

Die Punkte P_1 bis P_4 spannen in Abb. 76 die Hilfsebene auf. Die Projektionsstrahlen vom Augpunkt O zu den beiden Punkten P_5 und P_6 außerhalb der Hilfsebene durchdringen diese in den Punkten D_5 und D_6 . Die Rückprojektionsstrahlen von den Punkten P_5 und P_6 durch die beiden Durchstoßpunkte D_5 und D_6 schneiden sich im Augpunkt O , welcher hier zu bestimmen ist.

P_1' bis P_4' bzw. P_5' und P_6' sind die Bildpunkte der Ecken der vorderen linken Quaderseite bzw. der beiden (auf der Fahrzeugmittelebene) tieferliegenden Punkte. H ist der Bildhauptpunkt und W der Ursprung des Fahrzeugkoordinatensystems. Die vordere Ebene der gleichen Hüllbox ist in Abb. 78 im Schrägriss zu sehen.

Im perspektivischen Bild legen die gegebenen vier Bildpunkte (P_1' bis P_4') in der Ebene drei Strahlen von einem dieser vier Bildpunkte (z. B. P_1') nach den anderen drei (P_2' bis P_4') fest. Ein zusätzlicher vierter Strahl wird nun zu dem Schnittpunkt $P_5' = D_5'$ des Projektionsstrahles mit der Ebene zu dem außerhalb der Ebene liegenden Punkt, P_5 eingezeichnet. Die vier von P_1' ausgehenden Strahlen legen unabhängig von der Lage einer Schnittgeraden (z. B. näherungsweise quer zum Strahlenbüschel) das Doppelverhältnis fest. Als Schnittgerade g bietet sich z. B. eine Diagonale im Passpunktviereck an.

Es besteht die Aufgabe, die Doppelverhältnisse zu den Bildpunkten $P_5' = D_5'$ und $P_6' = D_6'$, in obigem Perspektivbild zu bestimmen und in das geometrische Modell zu übertragen, damit wir im 3D-Modell die Punkte D_5 und

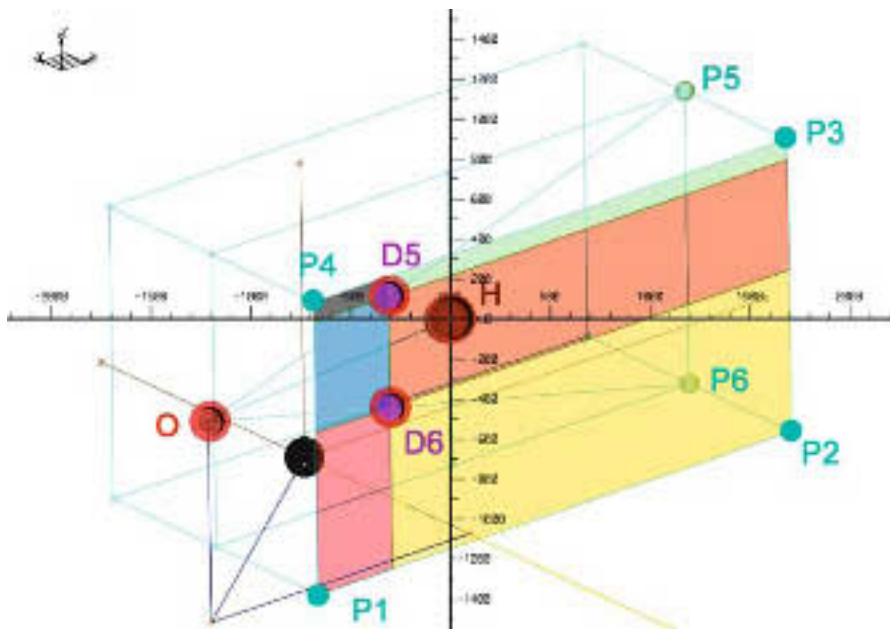


Abb. 76. Gesamtsituation zum Hüllboxverfahren 4+2 Punkte, Parallelprojektion (Schrägbild)

D6 selbst gewinnen können. Im obigen Bild koinzidieren die Bilder von P5 bzw. P6 mit den Bildern von D5 bzw. D6. Der Bildhauptpunkt H und der Augpunkt O fallen ebenfalls zusammen (Mitte Fadenkreuz).

Ersichtlich handelt es sich bei dem im Bild 79 ebenen Strahlenbüschel in der hellblauen Hilfsebene (Hilfsdreieck $P4'$, $P3'$, $P1'$ in der Bildebene) um eine Zentralprojektion des ebenen braunen Strahlenbüschels (Hilfsdreieck $P4$, $P3$, $P1$ im räumlichen Modell) in der vorderen Seitenenebene des Quaders.

Schneidet man die Strahlenbüschel mit den Hilfsgeraden $d1'$ bzw. $d1$, dann ergeben sich die Doppelverhältnisse in Form der Punktmenge Ap , Bp , Cp , Dp im Bild bzw. Ar , Br , Cr , Dr im 3D-Modell.

Da die Doppelverhältnisse (DV's) gegenüber Projektionen invariant sind, können wir also die im Bild ermittelten DV's auf das räumliche Modell übertragen. Im Bild wird dies für das DV1 des Punktes $P5$ demonstriert.

Analog werden alle DV's ermittelt, welche für die Ermittlung der Durchstoßpunkte $D5$ und $D6$ im Modell notwendig sind.

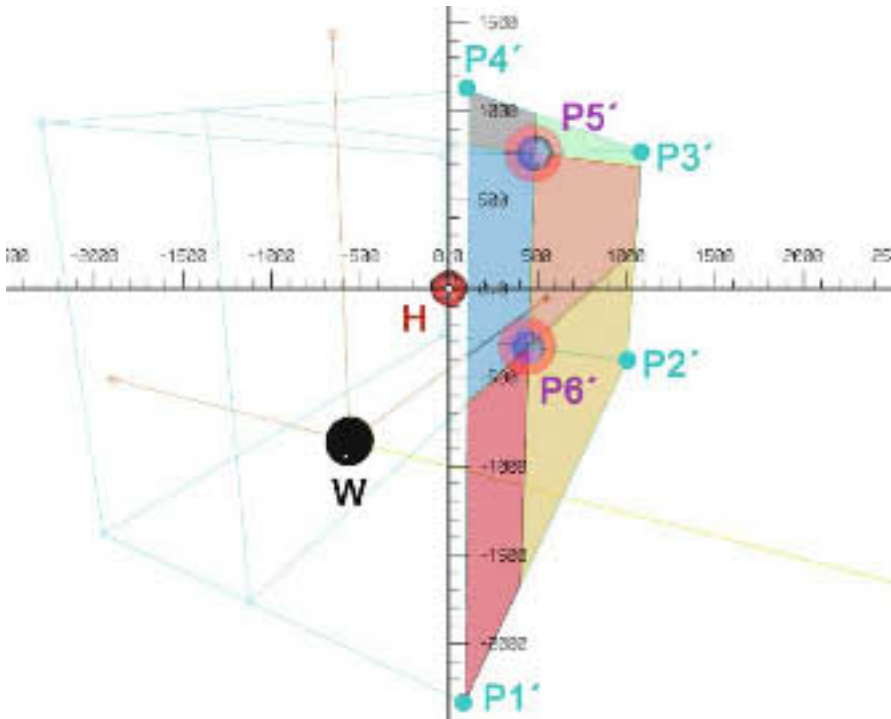


Abb. 77. Zentralperspektivisches Bild der Hüllbox mit den Bildern der sechs (4+2) Passpunkte

2.2.2.3.2 Anwendung des Doppelverhältnisses zur Augpunktbestimmung mit Verwendung von Radpasspunkten

In der zentralperspektivischen Abb. 80 spannen die Radpasspunkte $P1'$ bis $P4'$ die Hilfsebene auf. Zusätzlich entnehmen wir zwei Bildpunkte, $P5'$ und $P6'$, aus dem Bild des Längsmittelschnittes $Y = Y0$.

In Abb. 81 sind alle Bildpunkte grün mit kleiner Beschriftung und alle Punkte im Weltkoordinatensystem violett oder blau mit großer Beschriftung dargestellt. Die hellockerfarbene Hilfsebene aus den Radpasspunkten liegt im Weltkoordinatensystem. Ihr zentralperspektivisches Bild ist rot coloriert. Die grünen Bildpunkte $P5'$ und $P6'$ und die grünen Eckpunkte der roten Hilfsebene nutzen wir zur Bestimmung der DV's.

Man erkennt sofort, dass die Rückwärtsstrahlen von den Bildpunkten $P5'$ bzw. $P6'$ zu dem Modellpunkten $P5$ bzw. $P6$ sich im Augpunkt O schneiden.

Hinweis zu den Abkürzungen: DV 51 ist die Kurzform für Punkt $P5$, DV1 usw.

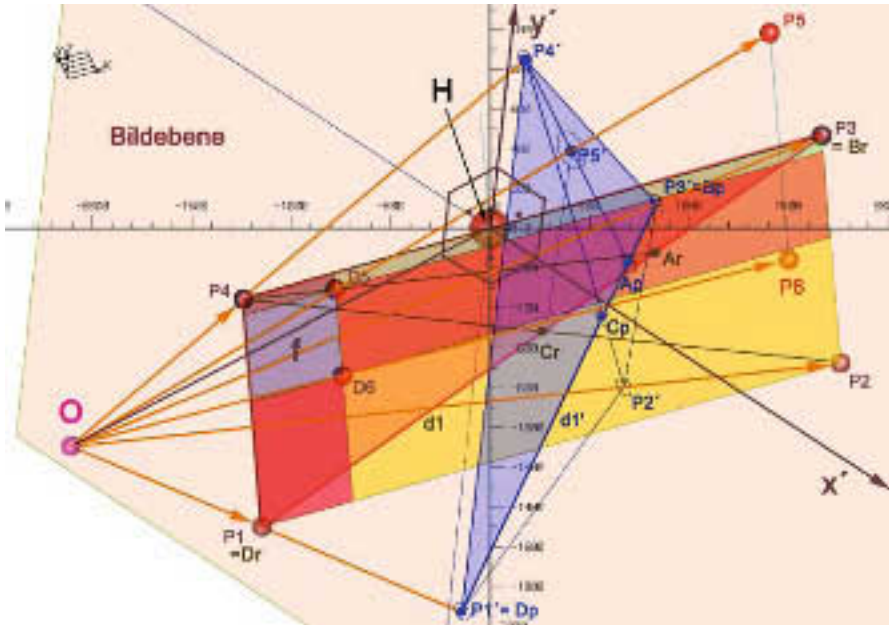


Abb. 78. Schrägbild zur vorhergehenden zentralperspektivischen Abb. mit dem Doppelverhältnis DV_1 zu P_5' . H – Bildhauptpunkt, O – Augpunkt

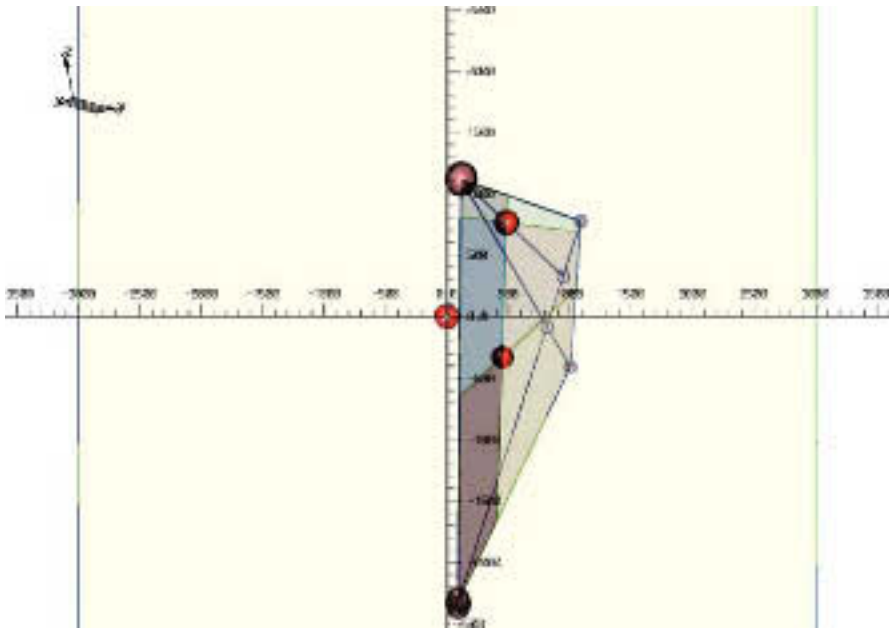


Abb. 79. Doppelverhältnis DV_1 zu P_5' in der Bildebene

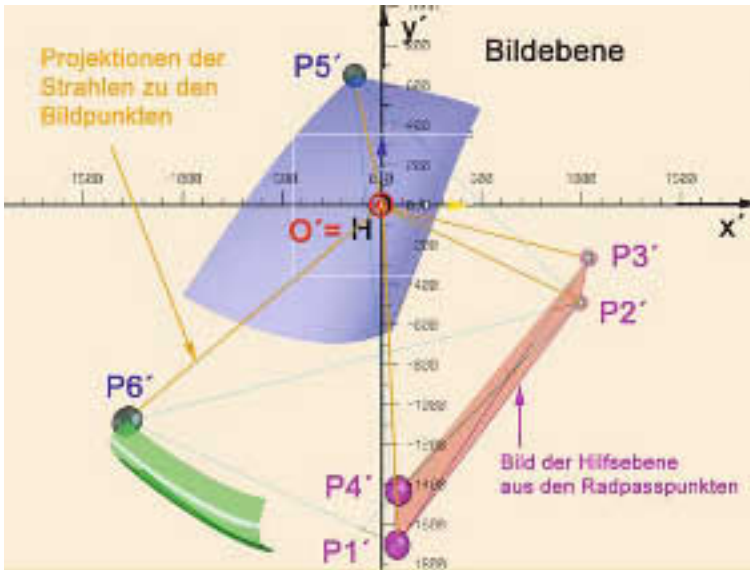


Abb. 80. Gesamtsituation zum Hüllboxverfahren 4+2 Punkte

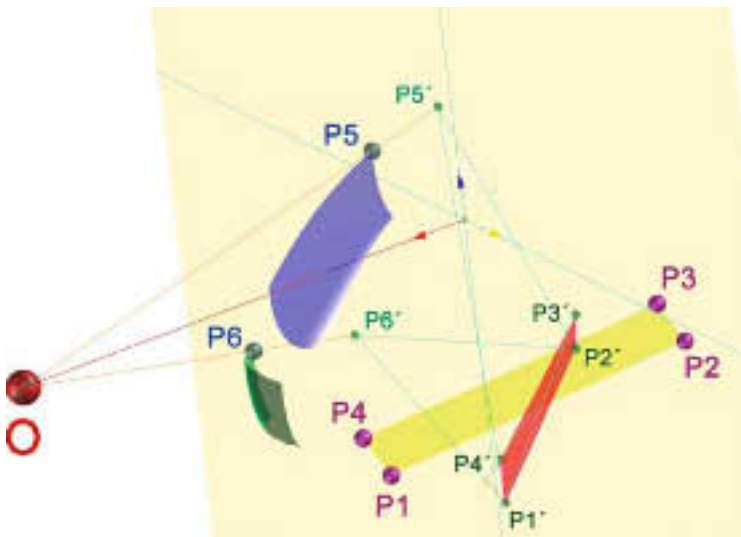


Abb. 81. Schrägbild für die gleiche Situation

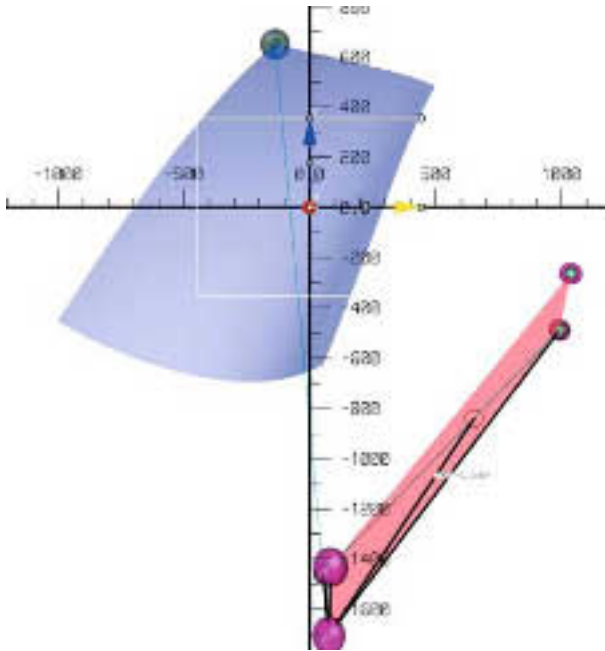


Abb. 82. Doppelverhältnis DV 51

In den Abb. 82 bis 85 finden wir die Zusammenstellung aller Strahlen, welche die vier notwendigen DV's im jeweiligen Bild bestimmen. Die Fadenkreuzmitte markiert stets den Bildhauptpunkt H .

2.2.2.3.3 Anwendung des Doppelverhältnisses zur Augpunktbestimmung bei Verwendung von Passpunkten auf der Karosserieoberfläche

Die Punkte $P1'$ bis $P4'$ im zentralperspektivischen Bild spannen die Hilfsebene auf. Zusätzlich entnehmen wir zwei Bildpunkte, $P5'$ und $P6'$, aus dem Bild des Hauptquerschnittes $X = X1$, s. Abb. 86 und 88.

Es folgt die Zusammenstellung aller Strahlen, welche die vier notwendigen DV's im Bild bestimmen. Die Fadenkreuzmitte markiert stets den Bildhauptpunkt H . Für DV 52 hätte man als Zentralpunkt auch $P3'$ statt $P1'$ nehmen können, s. Abb. 89 bis 92.

Nun wählen wir im CAD-System den Polygonzug mit den Bildkoordinaten der Passpunkte an, s. Abb. 94. Das Messpolygon (rosa) verbindet insgesamt sechs Messpunkte im importierten Hintergrundbild. $P1'$ bis $P4'$ bzw. $P5'$ und $P6'$ sind die Bildeckpunkte des Hilfsebenenstückes bzw. die beiden Zusatzpunkte. Der resultierende Augpunkt O ergibt sich gemäß den Abb. 95 und 96.

Siehe auch Rechnerprotokoll im Anhang B.1, S. 197.

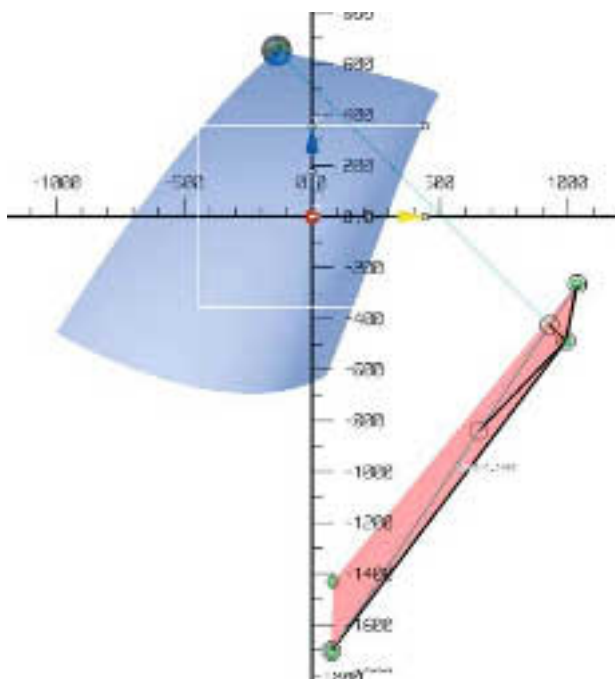


Abb. 83. Doppelverhältnis DV 52

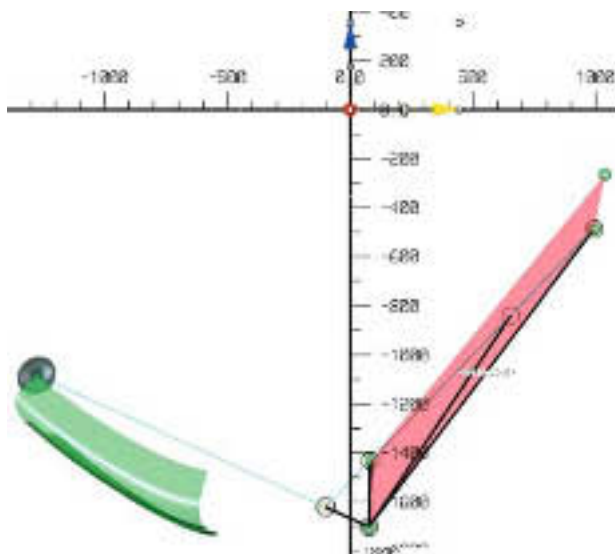


Abb. 84. Doppelverhältnis DV 61

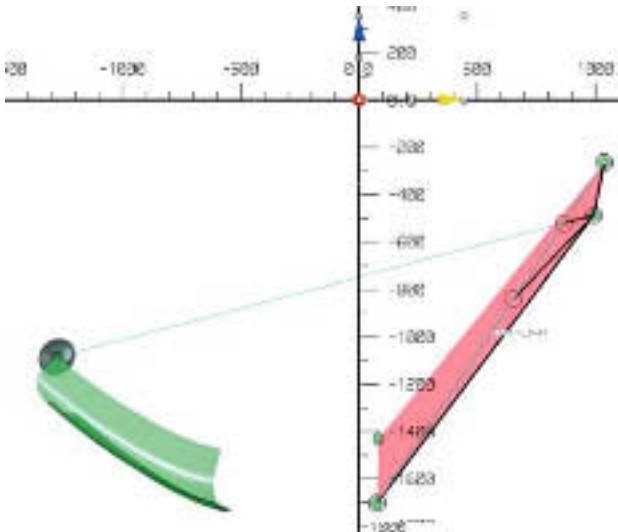


Abb. 85. Doppelverhältnis DV 62

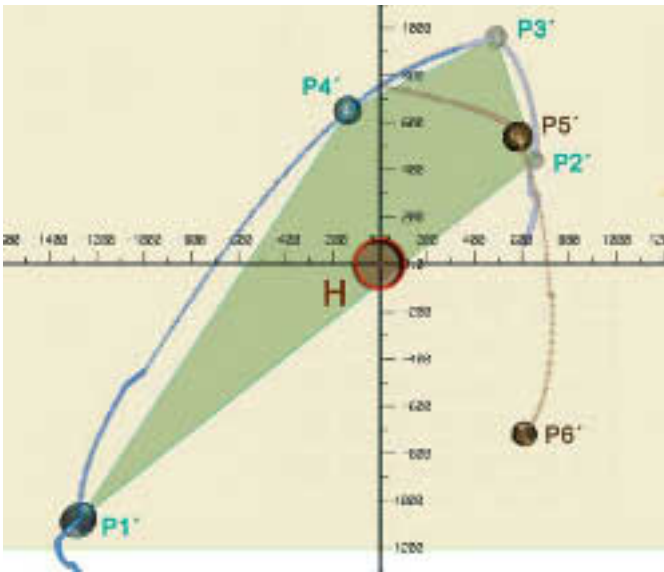


Abb. 86. (4+2) gegebene Passpunkte, Zentralperspektive

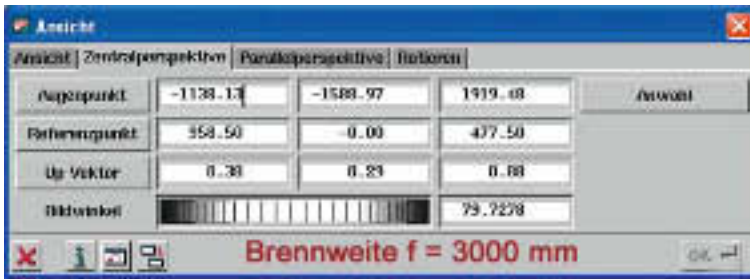


Abb. 87. Parameter der Zentralprojektion

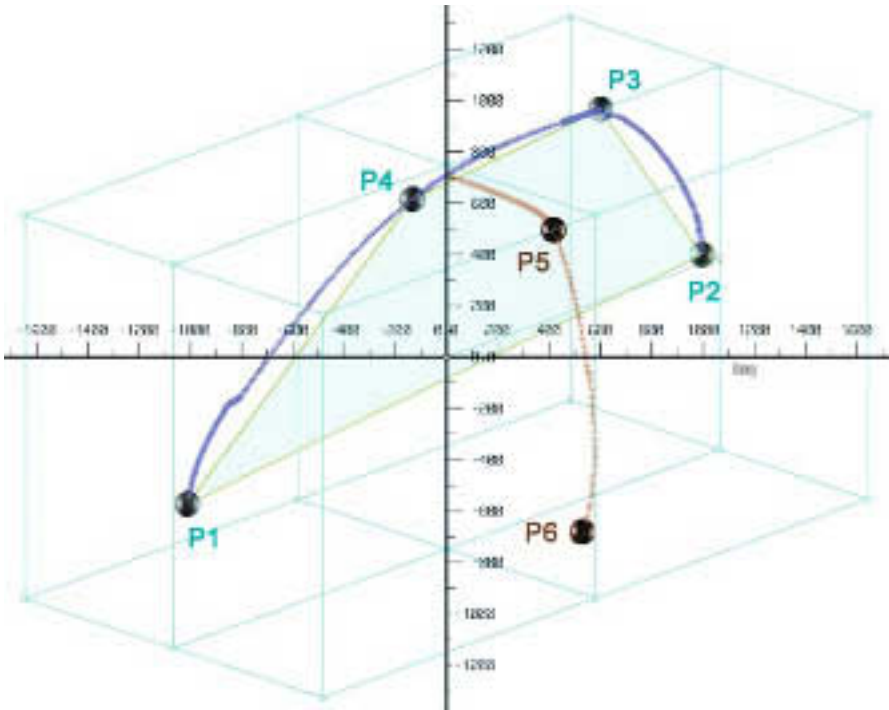


Abb. 88. Wie in Abb. 86, nur in Parallelprojektion (Schrägbild)

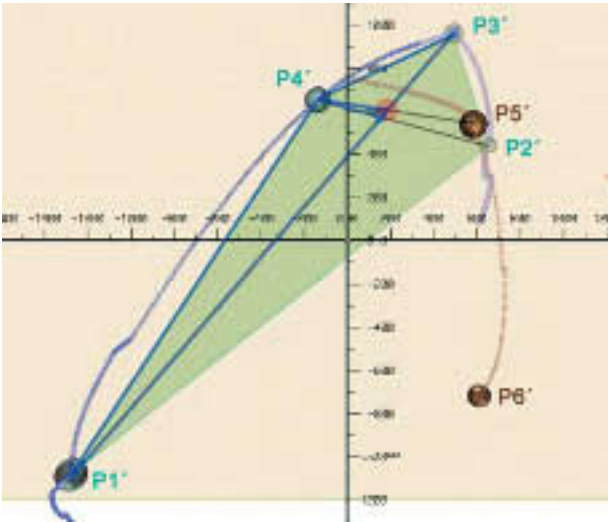


Abb. 89. Doppelverhältnis DV 51

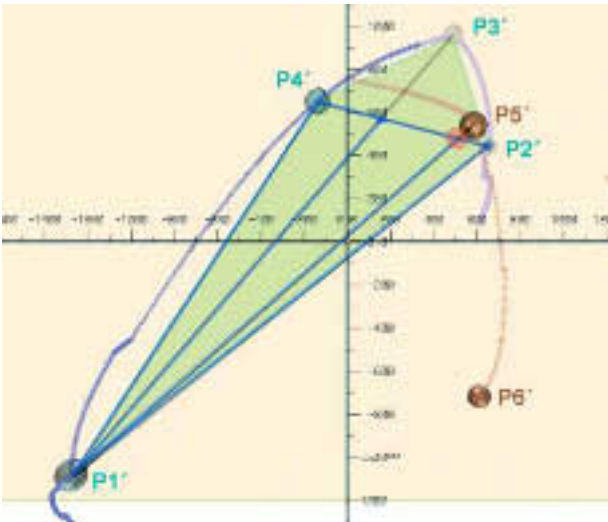


Abb. 90. Doppelverhältnis DV 52

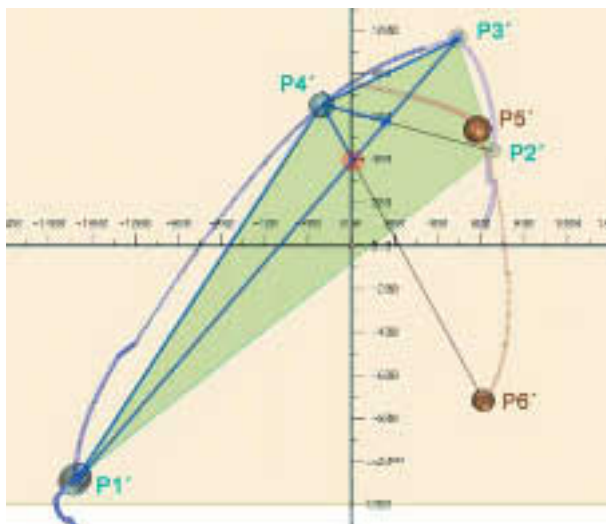


Abb. 91. Doppelverhältnis DV 61

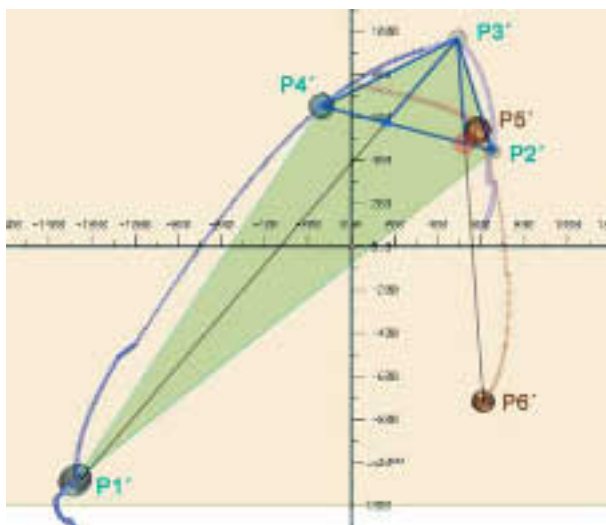


Abb. 92. Doppelverhältnis DV 62



Abb. 93. Aufruf der Schnittstelle

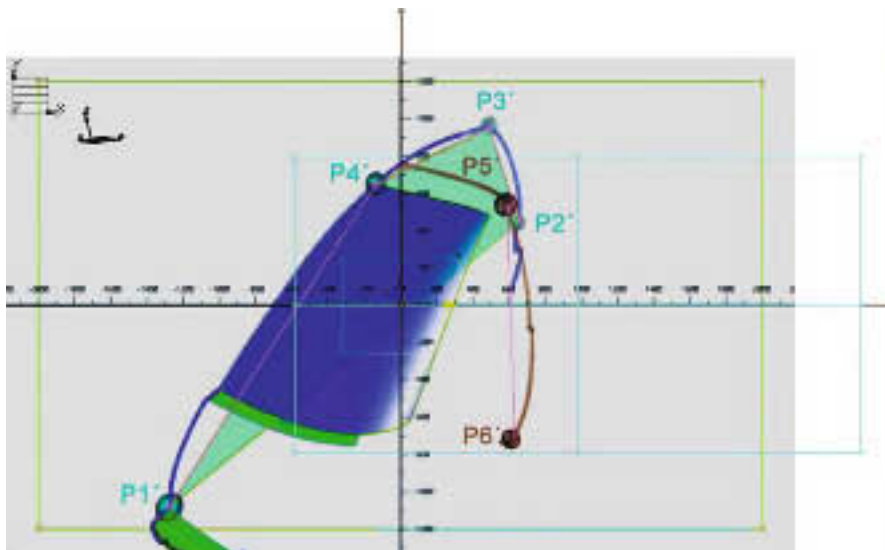


Abb. 94. Messpolygon

2.2.2.4 Perspektive Kollineation

2.2.2.4.1 Grundgedanken der Perspektiven Kollineation, Entzerrung des Bildes der Grundfläche der Hüllbox – Schritt 2

Zur Einführung s. auch Anhänge A.2, 192 und A.3, S. 192.

Das Projektionszentrum haben wir bereits im vorangegangenen Abschnitt bestimmt. Um die Entzerrung des perspektivischen Bildes der Grundfläche in der Bild- bzw. Zeichenebene selbst vornehmen zu können, bedienen wir uns des Tricks der Umwandlung der räumlichen in eine ebene Situation. Wir nutzen dabei die Geradentreue bei der Zentralprojektion im Allgemeinen und bei der Perspektiven Kollineation im Besonderen aus:

Durch eine erste Drehung um den Bildhorizont h (sog. Gegenachse) wird der Augpunkt O (Projektionszentrum Z) in die Bildebene geklappt und gleich-

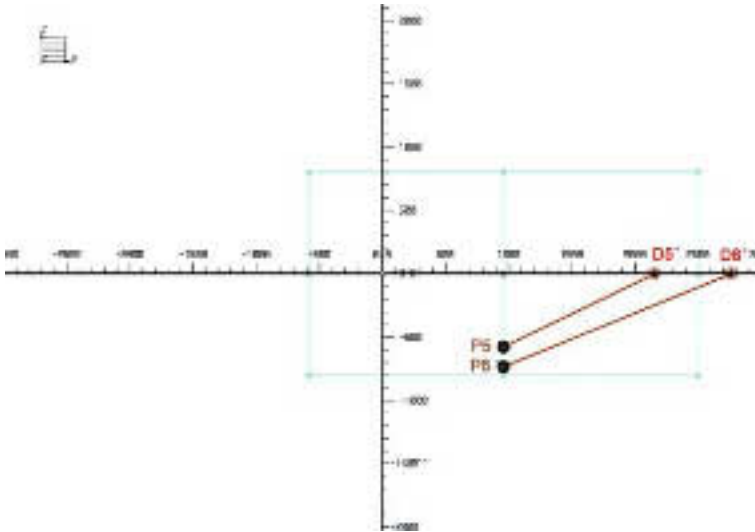


Abb. 95. Hier sind die Durchstoßpunkte $D5'$ und $D6'$ in der Hilfsebene XZ zu sehen

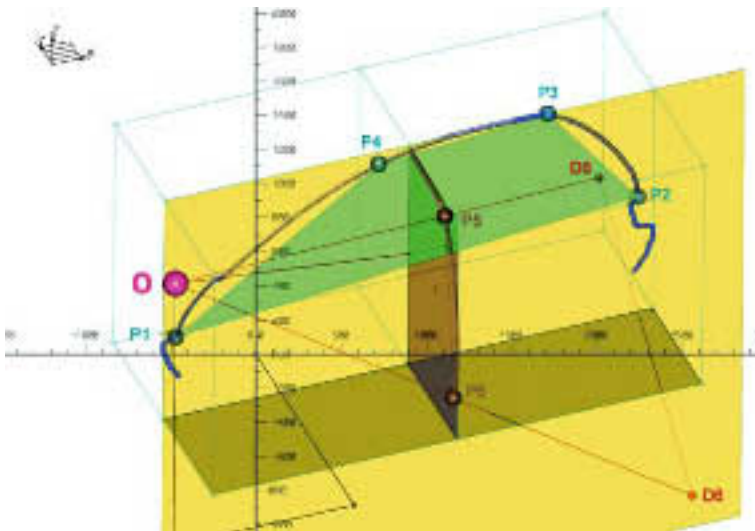


Abb. 96. Die Strahlen von $D5$ nach $P5$ und von $D6$ nach $P6$ schneiden sich im Augpunkt O

zeitig folgt der (hier erst zu bestimmende) Raumpunkt P durch gleichsinnige Drehung um die 2. Drehachse (sog. Kollineationsachse h_1) dieser Bewegung. Dadurch wird der räumliche Projektionsstrahl vom Augpunkt O nach einem

Punkt im 3D-Modell in den ebenen Strahl in der Bildebene vom umgeklappten Augpunkt (Drehsehnenfluchtpunkt) nach dem umgeklappten (noch zu bestimmenden entzerrten) Punkt in der Bildebene umgewandelt. Beide Strahlen schneiden sich im zentralperspektivischen Bild des Punktes in der Bildebene, s. Abb. 98. Als Raumpunkt P haben wir dort den Eckpunkt G_3 der Grundfläche ausgewählt.

Wir verlängern in der Bildebene den ebenen Strahl vom umgeklappten Augpunkt nach dem zentralperspektivischen Bildpunkt und ermitteln den entzerrten Punkt in der Bildebene mit Hilfe von weiteren geometrischen Eigenschaften. Zum Beispiel hilft uns die Kenntnis von der Parallelität der Fluchtgeraden zu den Hüllboxseiten und vom rechten Winkel zwischen benachbarten Seiten und Fluchtgeraden mehrfach, um die entzerrte Grundfläche zu bestimmen.

Durch ein Zurückdrehen um den gleichen Drehwinkel wie bei der Umklappung in die Ebene schwenkt man zuletzt die zunächst in der Bildebene liegende entzerrte Grundfläche in die ursprüngliche räumliche Lage der Grundfläche, welche hier zu bestimmen ist.

Der allgemeine Punkt P wird im folgenden Text durch die Eckpunkte der Grundfläche der Hüllbox ersetzt.

In Abb. 97 wird die gleichzeitige Drehung um die 1. und 2. Drehachse und die Umwandlung der räumlichen Projektionsstrahlen in ebene Strahlen in der Bildebene demonstriert.

Wir blicken in Richtung der Kollineationsachse g . Der Sichtstrahl führt vom Augpunkt O zum Bildreferenzpunkt R im Objektschwerpunkt. Der Abstand beträgt d . Die Bildebene (Spur grün) steht normal zur Sichtrichtung und ist gegen die Standebene des Beobachters – Spur schwarz – um den Winkel ϕ geneigt. Bei horizontaler Sichtrichtung auf eine vertikale Bildebene wäre der Winkel $\phi = 90^\circ$. Dieser Fall kommt aber im Fahrzeugdesign seltener vor. Meistens blickt man aus der normalen Beobachterposition mit etwa 1,70 m Augenhöhe leicht schräg von oben auf das Fahrzeug, so dass sich drei endliche Fluchtpunkte ergeben.

Anwendungsbeispiele für den Sonderfall $\phi = 90^\circ$ finden wir in der Malerei, wie z. B. bei *Albrecht Dürer's* Gemälden.

Zunächst folgen Übersichten zu den Teilschritten:

Umklappung des Projektionszentrums Z und Konstruktion des Strahlenbüschels durch das umgeklappte Projektionszentrum Z – Schritt 2.1

Wir klappen das Projektionszentrum Z in die Bildebene um. Bei dieser Umklappung hilft uns der Thaleskreis in der Bildebene. Dadurch gewinnen wir auch die umgeklappten Fluchtgeraden durch Z zu den beiden Fluchtpunkten $F1$ und $F2$ des Horizontes. Wir bezeichnen diese Geraden in der Bildebene mit x_0 und y_0 . Die Geraden legen die Richtung der Seiten der Grundfläche

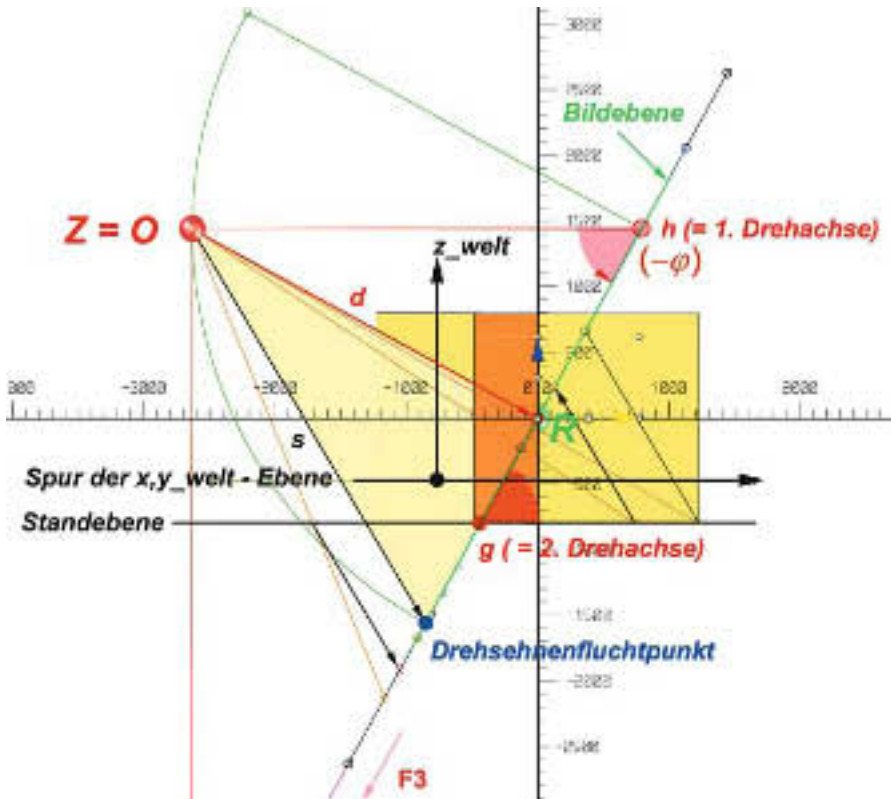


Abb. 97. Perspektive Kollineation, Darstellung im Fahrzeugkoordinatensystem, Normalprojektion

fest, nämlich parallel zu x_0 bzw. zu y_0 . Wir bezeichnen das umgeklappte Projektionszentrum als Drehsehnenfluchtpunkt. In diesem Punkt finden wir den rechten Winkel zwischen der kurzen und der langen Seite des Grundrissrechtecks wieder. Wir ziehen vom Drehsehnenfluchtpunkt aus in der Zeichenebene Strahlen zu den Bildern der Eckpunkte der Grundfläche. Damit ist der 1. geometrische Ort zu den entzerrten Eckpunkten in der Bildebene gefunden.

Konstruktion des entzerrten Grundrisses in der Bildebene – Schritt 2.2

Ein ähnliches entzerrtes Bild ist bereits durch die o. g. Strahlen festgelegt. Die genaue maßstäbliche Kartierung der entzerrten Grundfläche in der Bildebene gelingt genau dann, wenn man ein Vergleichsmaß, z. B. die wahre Länge oder Breite der Grundfläche kennt.

Zurückdrehen der entzerrten Grundfläche in die echte räumliche Lage – Schritt 2.3

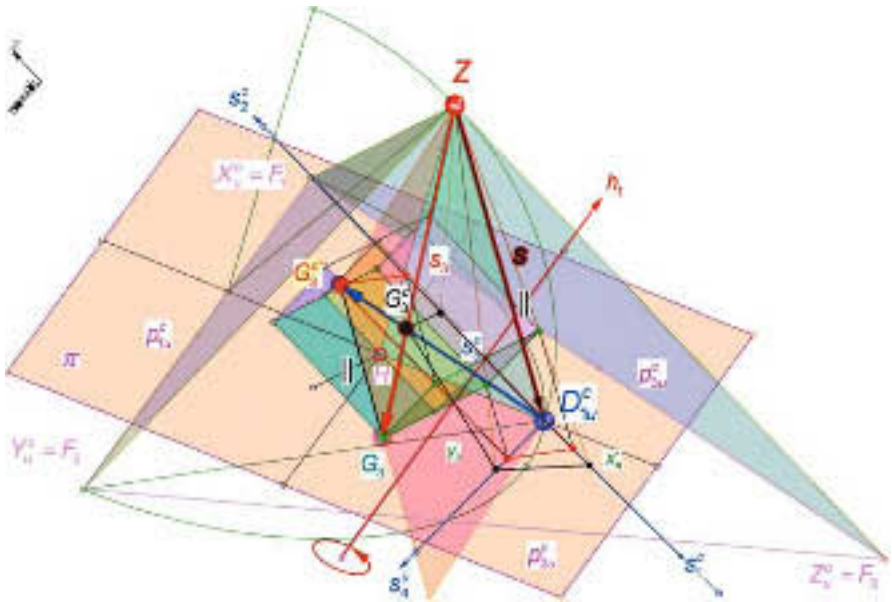


Abb. 99. Prinzip der Perspektiven Kollineation

- das zentralperspektivische Bild der Grundfläche in der Bildebene als schwarzes Viereck (ohne Flächeneinfärbung) mit schwarzen Vollkreis-Eckpunktsignaturen in der Bildebene π
- die entzerrte Grundfläche in der Bildebene als rotes Parallelogramm (ohne Flächeneinfärbung) mit roten Vollkreis-Eckpunktsignaturen in der Bildebene π .

In Abb. 100 erkennt man das Büschel der Projektionsstrahlen noch besser.

Die Projektionsstrahlen von Z nach den Eckpunkten der Hüllboxgrundfläche (grau) durchschneiden die Bildebene. Diese Schnittpunkte bilden das zu entzerrnde Viereck (schwarz dargestellt) in Abb. 100.

Betrachten wir nun in Abb. 99 z. B. den Quadereckpunkt G_3 .

Der Projektionsstrahl S_3 von Z nach G_3 geht über in den Strahl s_3^c von D_{1u}^c nach G_3^c . Beide Strahlen schneiden sich im Bildpunkt G_3^c in der Bildebene π .

Die genannten Strahlen s_3 und s_3^c liegen in einer Hilfsebene, welche sich im Strahl s_3^c mit der Bildebene π schneidet. Zu den Bezeichnungen beachte man auch Anhang A.3, Tabelle 2 auf S. 195. Der Strahl s_3^c ist der erste geometrische Ort für den entzerrten Bildpunkt G_3^c .

Da die räumlichen Eckpunkte der Grundfläche der Hüllbox noch nicht bekannt sind, müssen wir uns den jeweiligen zweiten geometrischen Ort für die entzerrten Bilder der Eckpunkte auf anderem Wege beschaffen.

Siehe Teilschritt 2.2.

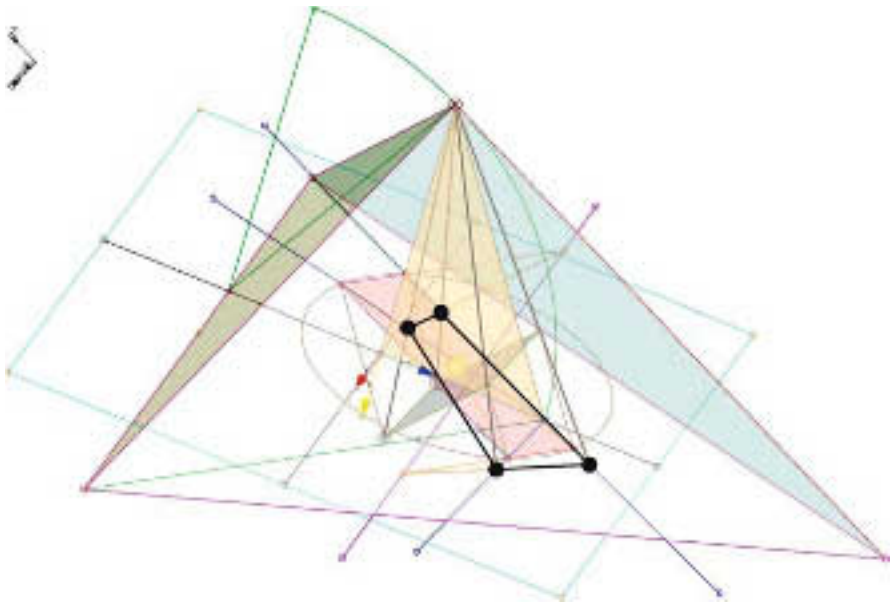


Abb. 100. Zu entzerrendes Viereck

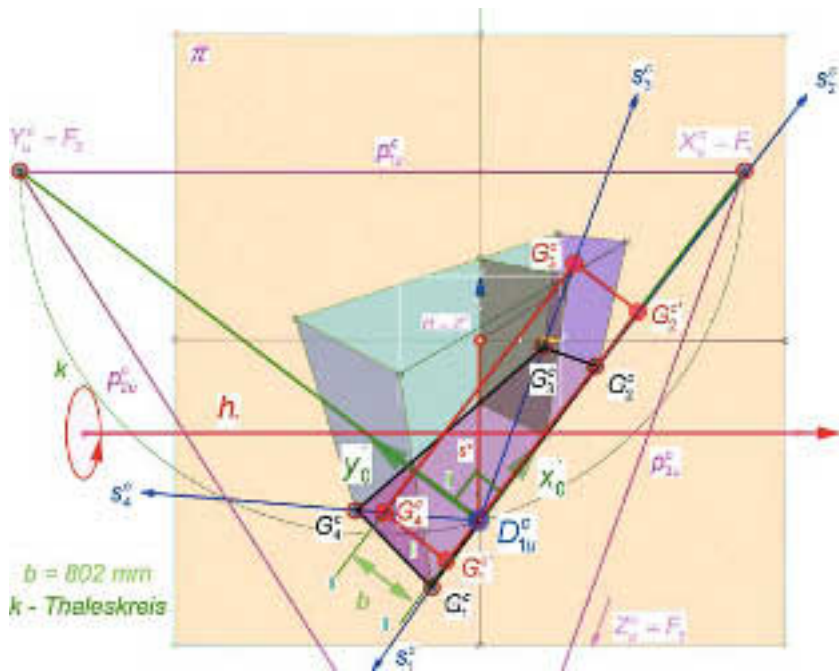


Abb. 101. Ablauf der Entzerrung der Grundfläche der Hüllbox

2.2.2.4.3 Konstruktion der entzerrten Grundfläche in der Bildebene – Schritt 2.2

Die Projektion der Hüllquadergrundfläche (schwarzes Viereck mit den Eckpunkten G_1^c bis G_4^c) auf die Bildebene ist gegeben. Gesucht ist das entzerrte rote Rechteck mit den Eckpunkten $G_1^{c'}$ bis $G_4^{c'}$. Die Überführung des schwarzen Vierecks in das rote Rechteck gelingt mit Hilfe der blauen Projektionsstrahlen vom Drehsehnenfluchtpunkt D_{1u}^c zu den Eckpunkten G_1^c bis G_4^c . Unter Ausnutzung der bekannten wahren Breite b (hellgrün) wird zunächst $G_4^{c'}$ bestimmt. Wir wissen auch, dass die schmale bzw. die lange Seite des roten Rechtecks parallel zu y'_0 bzw. x'_0 liegen müssen. Der Schnittpunkt zwischen dem Strahl s_4^c und der Parallelen zu x'_0 im Abstand b ist der gesuchte Punkt $G_4^{c'}$. Alle weiteren roten Eckpunkte $G_1^{c'}$ bis $G_3^{c'}$ ergeben sich ausgehend vom ersten Punkt $G_4^{c'}$ durch Parallelverschiebung (in Bezug auf die Hilfsachsen x'_0 und y'_0) und Markieren des jeweiligen Schnittpunktes mit den zugehörigen blauen Projektionsstrahlen s_1^c bis s_3^c .

2.2.2.4.4 Zurückdrehen der entzerrten Grundfläche in die echte räumliche Lage – Schritt 2.3

Vergleichen wir die entzerrte Grundfläche mit dem perspektivischen Grundriss (in der Bildebene), s. Abb. 102, so erkennen wir die Konstruktionsmöglichkeit für die Kollineationsachse h_1 : Die paarweise korrespondierenden schwarzen und roten Seiten schneiden sich in der Kollineationsachse h_1 . Der gegebene perspektivische bzw. gesuchte entzerrte Grundriss ist grau bzw. rosa dargestellt.

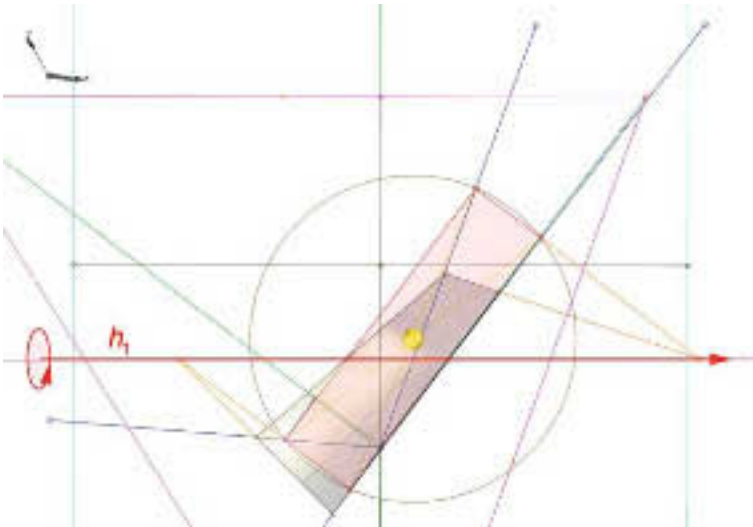


Abb. 102. Kollineationsachse, Darstellung in Zentralprojektion

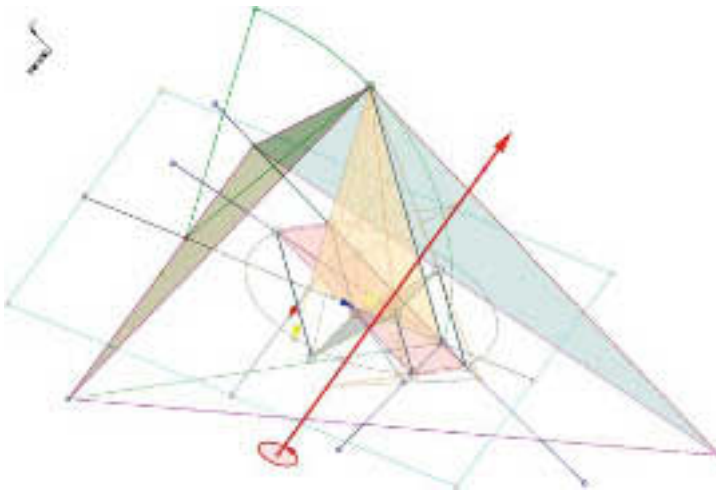


Abb. 103. Kollineationsachse im Schrägbild bei Normalprojektion

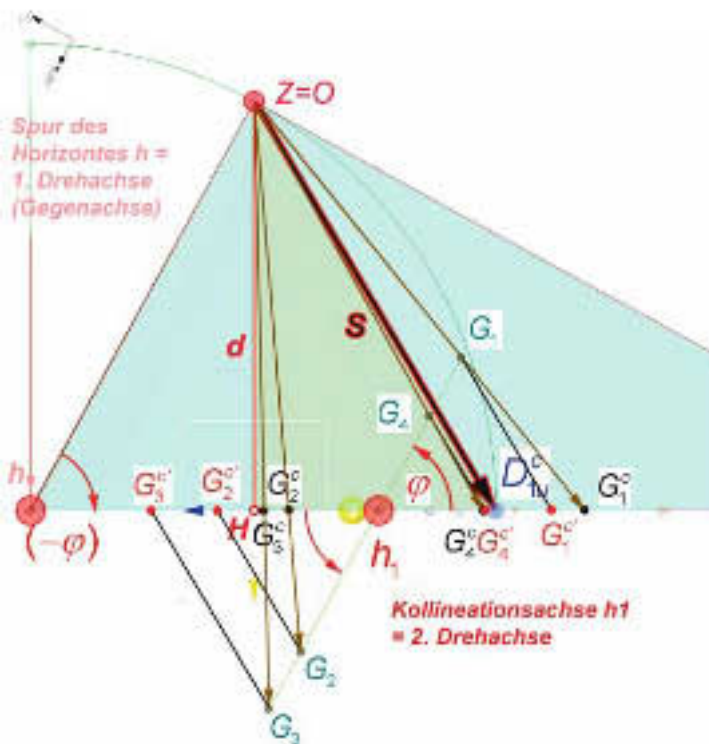


Abb. 104. Blick (in Normalprojektion) in Richtung der Kollineationsachse mit den Parallelen zur Drehsehne s

Die Parallelen zur Drehsehne s durch die Eckpunkte der entzerrten rosa Fläche verbinden das entzerrte Rechteck in seinen Eckpunkten in der Bildebene mit den Eckpunkten der Grundfläche der Hüllbox. Daraus folgt die Rekonstruktionsmöglichkeit der Original-Grundfläche (graue Fläche) aus der rosa Fläche in der Bildebene mittels der Parallelen zur Drehsehne. Es erfolgt eine Drehung um die rote Kollineationsachse, s. Abb. 104. Die Parallelen durchschneiden eine Ebene, welche parallel zur Grundrissebene des Fahrzeugkoordinatensystems (Standebene) liegt und durch die Kollineationsachse (in der Bildebene) geht. Die roten Eckpunkte in der Bildebene werden zu den grauen Eckpunkten in der auffangenden Grundflächenebene des Hüllquaders (Drehung um den Winkel ϕ). Damit haben wir den Kreis geschlossen und die Originalgeometrie der Grundfläche der Hüllbox reproduziert: Die grauen Eckpunkte der grünen Grundfläche wurden zunächst als schwarze Bildpunkte auf die Bildebene projiziert, deren Spur in Türkis zu sehen ist. Die schwarzen Eckpunkte konnten in der Bildebene durch die Geradentreue der Projektionsstrahlen bei Umklappung um minus ϕ in die roten verwandelt werden und diese nun durch die entgegengesetzte Drehung um die Kollineationsachse h_1 wiederum in die Originaleckpunkte.

2.2.2.4.5 Entzerrung des Bildes einer Seitenfläche der Hüllbox – Schritt 3

Für die Reproduktion der vollständigen Geometrie der Hüllbox reicht es nun, eine Seitenfläche der Box hinzuzunehmen. Die restlichen vier Boxflächen erge-

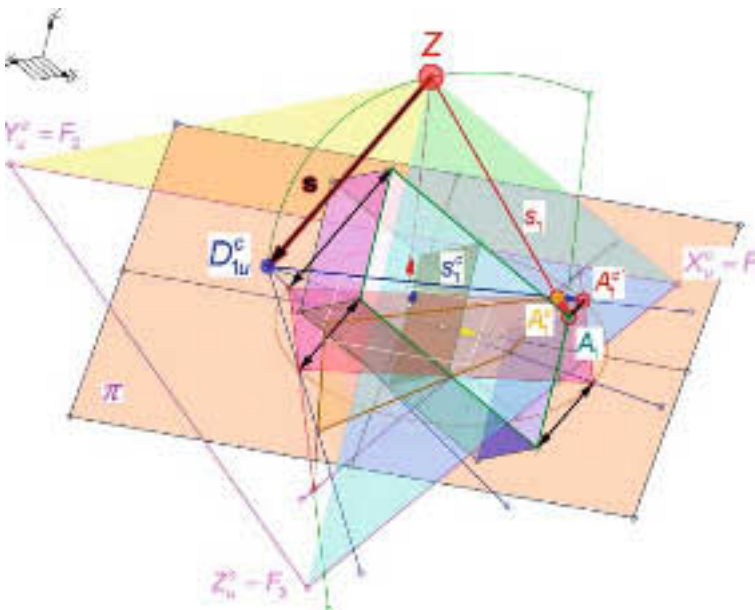


Abb. 105. Prinzip der punktweisen Entzerrung der Seitenfläche im Schrägbild

ben sich dann durch Parallelverschiebung. Für die Entzerrung des Bildes der Seitenfläche (Viereck mit brauner Berandung) benötigen wir den Drehsehnenfluchtpunkt D_{1u}^c , der sich aus der Umklappung des Projektionszentrums Z in die Bildebene π ergibt. Drehachse ist die Verbindungsstrecke zwischen den Fluchtpunktbildern $X_u^c = F_1$ und $Z_u^c = F_3$.

In Abb. 105 sind dargestellt:

- Die Hüllquader-Seitenfläche (grünes Parallelogramm)
- Die zentralperspektivische Projektion der Hüllquader-Seitenfläche auf die Bildebene π – braun umrandetes Viereck mit beiger Flächeneinfärbung. Die Projektionsstrahlen wurden hier bis auf s_1 weggelassen.

Gesucht ist das entzerrte rote Rechteck, welches im Schrägbild als Parallelogramm mit karminrotem Flächencolorit erscheint und dessen entzerrter Eckpunkt der Punkt $A_1^{c'}$ ist.

In Abb. 105 demonstrieren wir die Perspektive Kollinearität am Beispiel des Eckpunktes A_1 der vorderen Seitenfläche.

Der Strahl s_1 von Z nach A_1 geht über in den Strahl s_1^c von D_{1u}^c nach $A_1^{c'}$. Beide Strahlen schneiden sich im Bildpunkt A_1^c .

Wie der Punkt $A_1^{c'}$ in der Bildebene π kartiert wird, geht aus Abb. 106 hervor. Die Konstruktion läuft analog zur Vorgehensweise bei der Grundfläche der

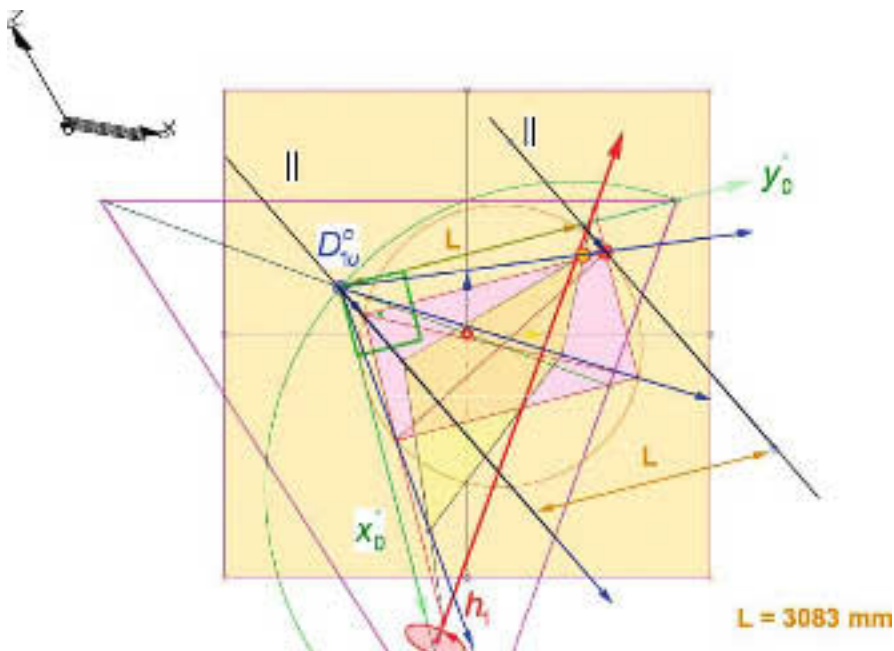


Abb. 106. Konstruktion der entzerrten Seitenfläche in der Bildebene π

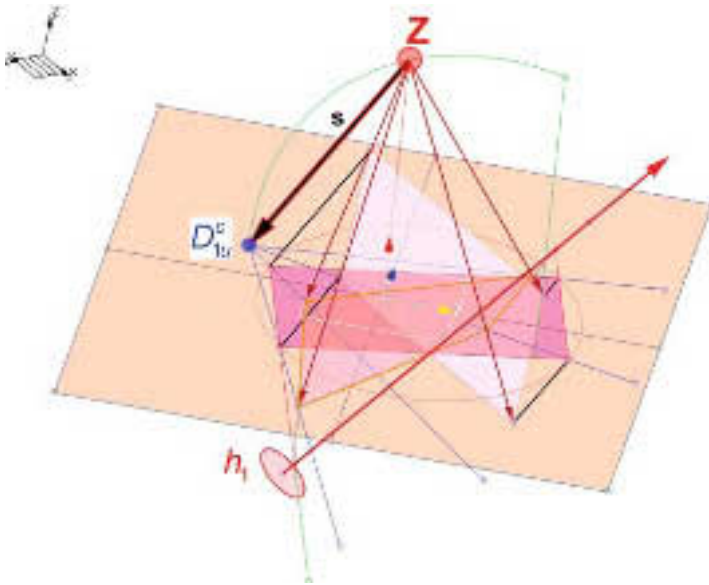


Abb. 107. Drehung um die Kollineationsachse h_1

Hüllbox ab. Hier wird die Länge (in mm) $L = 3083$ der Hüllbox als bekanntes Maß verwendet.

In Abb. 108 erkennen wir wiederum die Möglichkeit, mittels der Parallelen zur Drehsehne s die entzerrten roten Bildpunkte auf eine XZ -Ebene im Fahrzeugkoordinatensystem zu projizieren, um damit die Originalseitenfläche zu reproduzieren.

2.2.2.5 Manuelle Entzerrung

2.2.2.5.1 Punktweise Entzerrung des Längsmittelschnittes $Y = 0$ mittels Doppelverhältnis – Papierstreifenmethode – Schritt 4

Nachdem wir mit Hilfe der Perspektiven Kollineation die sechs Seiten der Hüllbox entzerrt haben, fehlt nun noch die Entzerrung der charakteristischen Profile in den Hüllboxseiten. Exemplarisch entzerren wir hier den Längsmittelschnitt $Y = 0$ unseres Beispiels mit Hilfe des Doppelverhältnisses. Wir übertragen mit Hilfe der Doppelverhältnisse DV1 und DV2 (s. Abb. 109 und 110) einen Punkt P' aus dem Bild in einen Punkt P im entzerrten Mittelschnitt $Y = 0$, s. Abb. 112 und 113.

Zunächst bestimmen wir im zentralperspektivischen Bild, s. Abb. 109, das DV 1 unter Verwendung des Zentralpunktes $P4'$ und der Schnittdiagonalen $d1'$. Die Fadenkreuzmitte markiert wiederum den Bildhauptpunkt H .

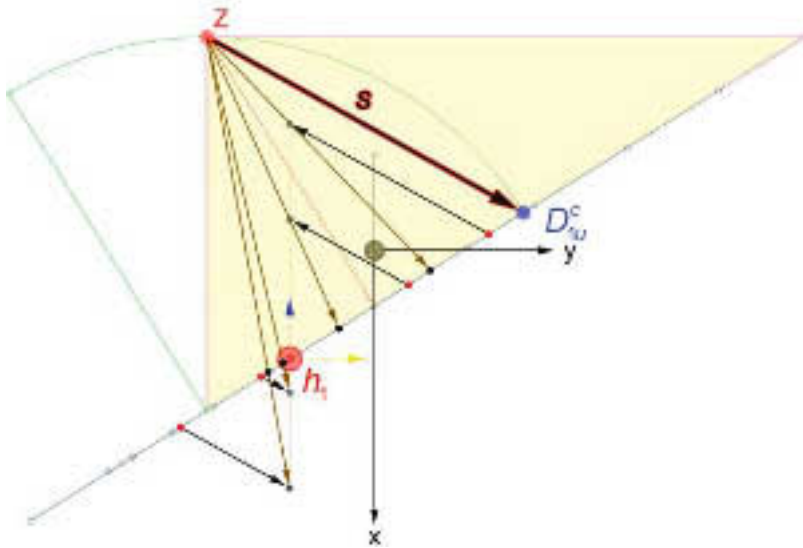


Abb. 108. Blick in Richtung der Kollineationsachse h_1

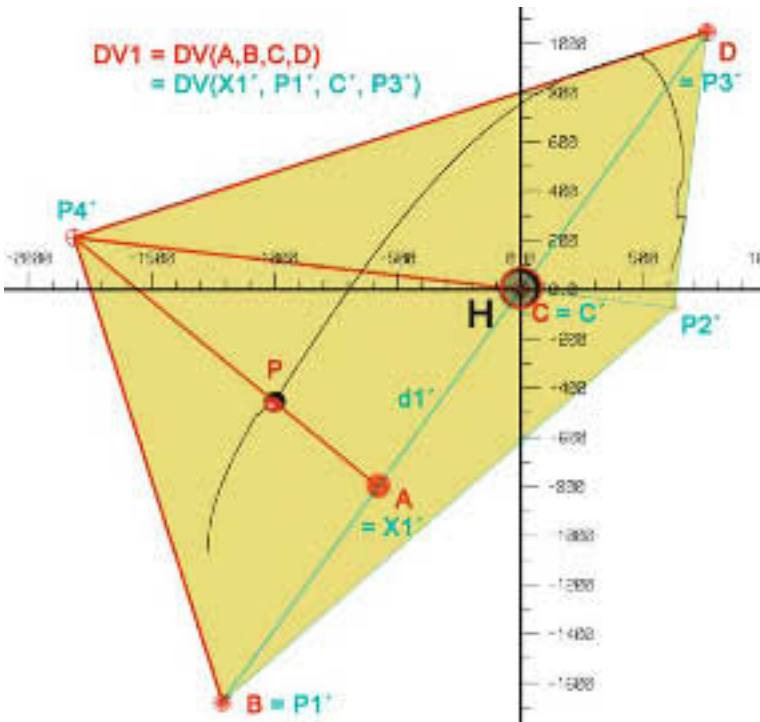


Abb. 109. Bestimmung des Doppelverhältnisses DV 1

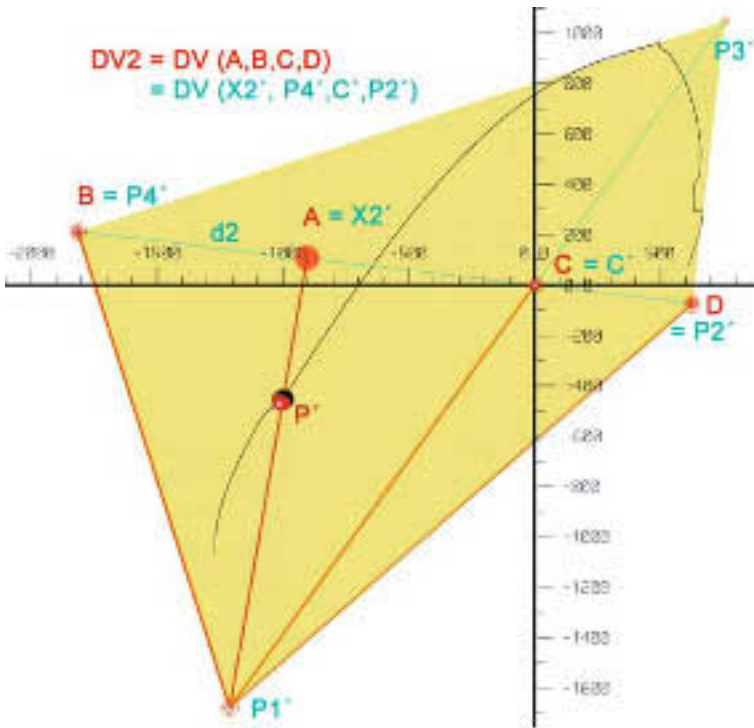


Abb. 110. Bestimmung des Doppelverhältnisses DV_2

Der Ursprung des jeweiligen ebenen lokalen Strahlenbüschels zur Ermittlung der DV's, hier mit Zentralpunkt bezeichnet, hat nichts mit dem eigentlichen Projektionszentrum der Zentralperspektive (Augpunkt O) zu tun.

In den zentralperspektivischen Bildern (Abb. 109 bzw. 110) bestimmen wir das DV_1 bzw. DV_2 unter Verwendung des Zentralpunktes P_4' bzw. P_1' und der Schnittdiagonalen d_1' bzw. d_2' .

Wir übertragen nun die ermittelten Doppelverhältnisse auf das räumliche Modell, hier in die Längsmittlebene $Y = 0$, s. Abb. 112.

Hinweis: Das beschriebene Verfahren wird in der klassischen Photogrammetrie als sog. *Papierstreifenmethode* zur Bestimmung von Neupunkten (in der entzerrten Karte) aus (verzerrten) Luftbildern benutzt.

2.2.2.5.2 Entzerrung des Längsmittelschnittes $Y = 0$ mittels eines Projektiven Netzes – Schritt 4a –

Das zentralperspektivische Bild des Längsmittelschnittes $Y = 0$, s. Abb. 115, entzerrn wir mittels eines perspektiven Netzes. Die schrittweise Konstruktion eines solchen Netzes wird in den Abb. 118 und 119 erklärt.

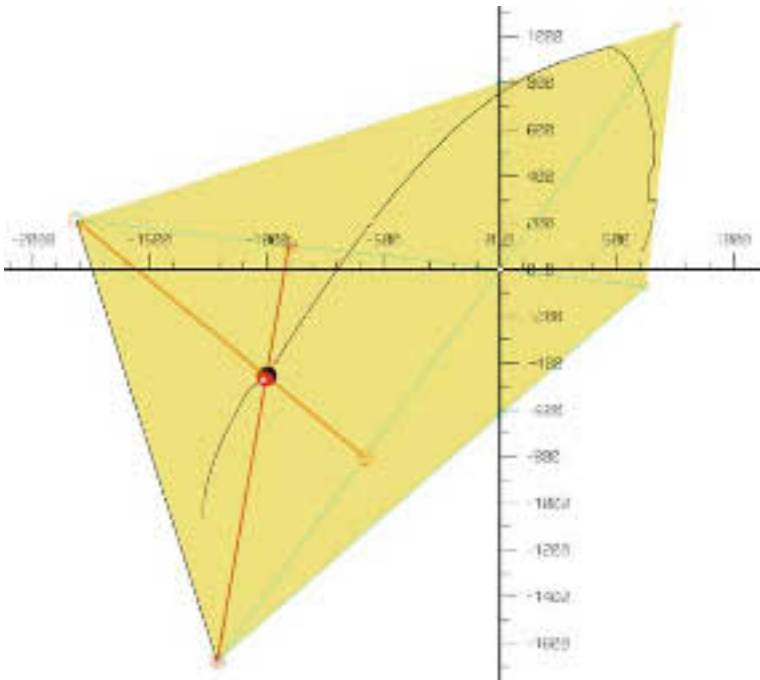


Abb. 111. Die Strahlen vom jeweiligen Zentralpunkt zu den Zwischenpunkten $X1'$ und $X2'$ schneiden sich im Bildpunkt P'

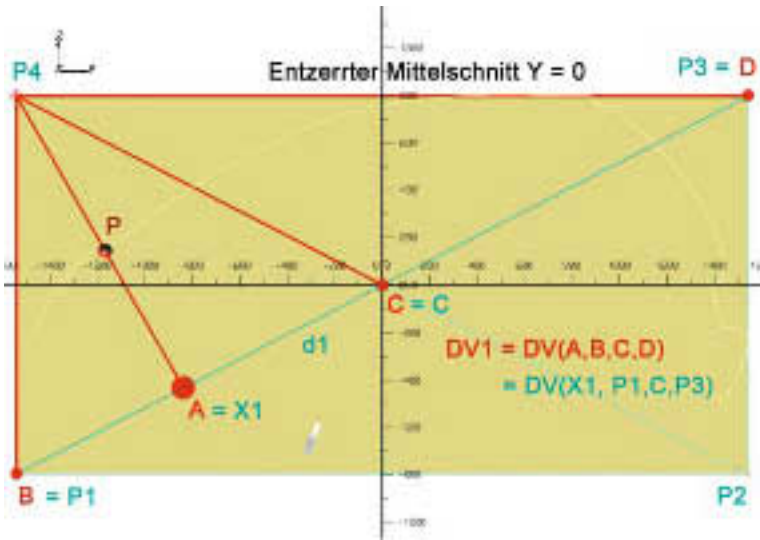


Abb. 112. Übertragung des Doppelverhältnisses DV 1

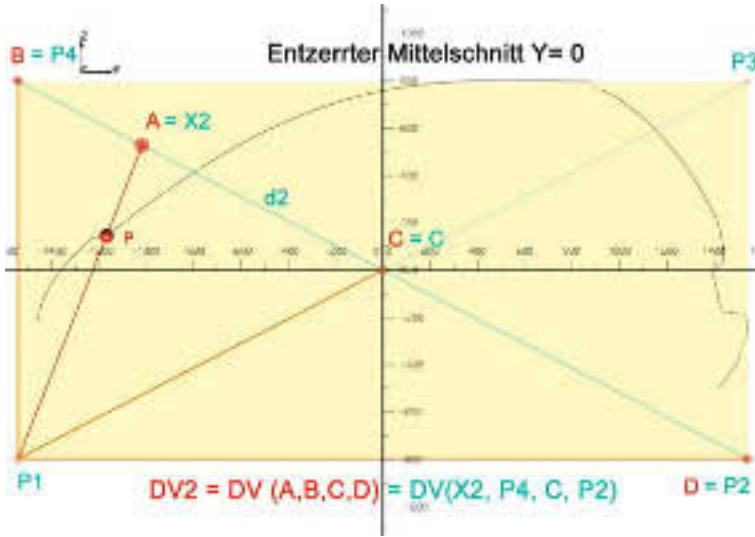


Abb. 113. Übertragung des Doppelverhältnisses DV 2

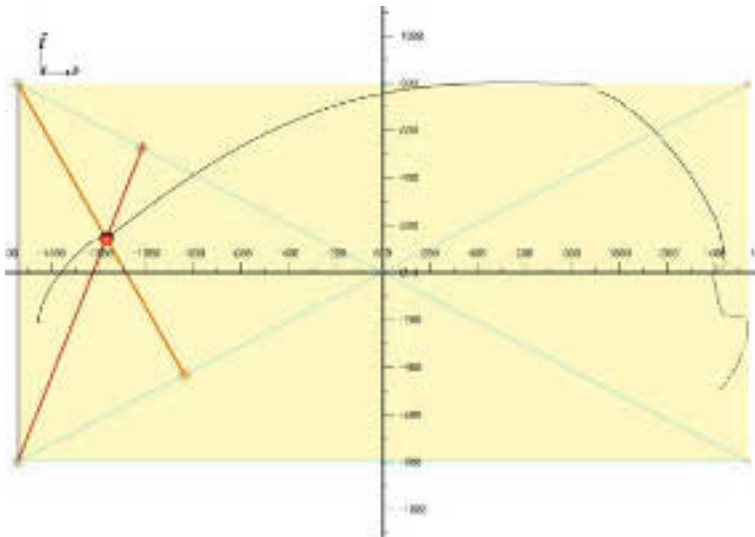


Abb. 114. Resultat

Die Abb. 116 zeigt das Ergebnis der Entzerrung. In Abb. 117 werden das zentralperspektivische Bild und die Normalprojektion des Längsmittelschnittes $Y=0$ auf die Ebene $Y=0$ übereinander gelegt.

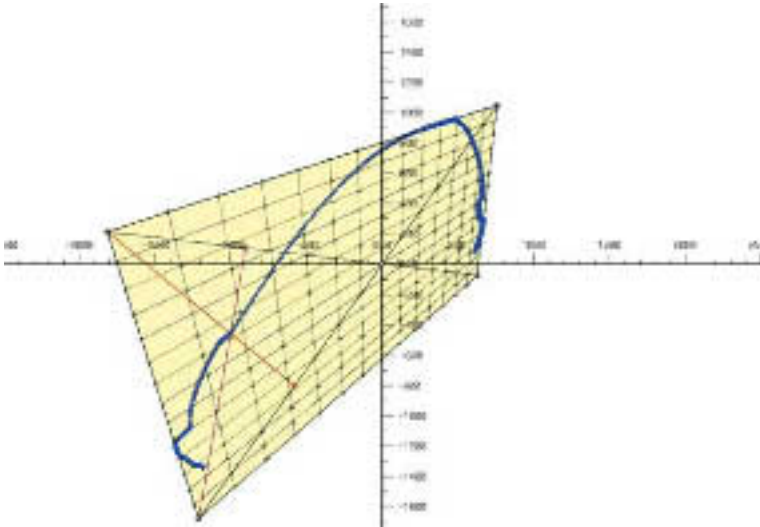


Abb. 115. Verzerrter Längsmittelschnitt

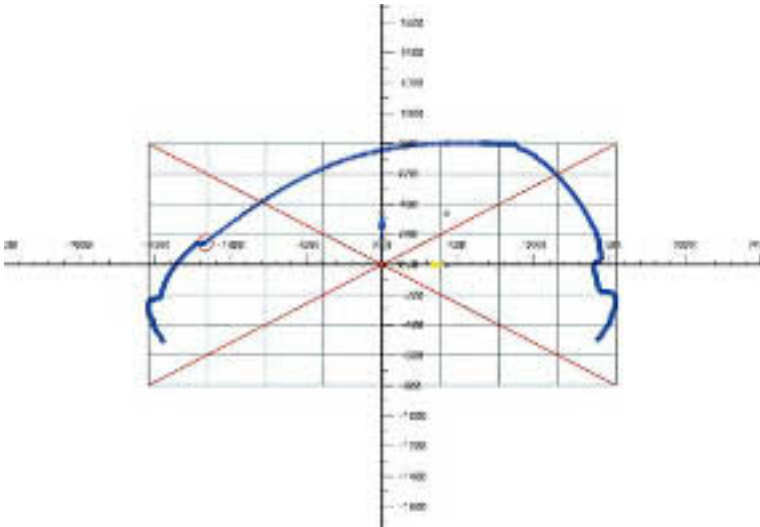


Abb. 116. Entzerrter Längsmittelschnitt

Sind die Fluchtpunkte bekannt, so lässt sich mit Hilfe der Diagonalen des Rechteckes (hier als Rastermasche betrachtet) ein beliebig dichtes Raster von Netzlinien erzeugen. Der Schnittpunkt der Diagonalen einer Rastermasche ist jeweils der neue Teilungspunkt, durch den die (im Objekt) parallelen Linien zum Rand der Masche laufen müssen. Verbindet man den aktuellen Dia-

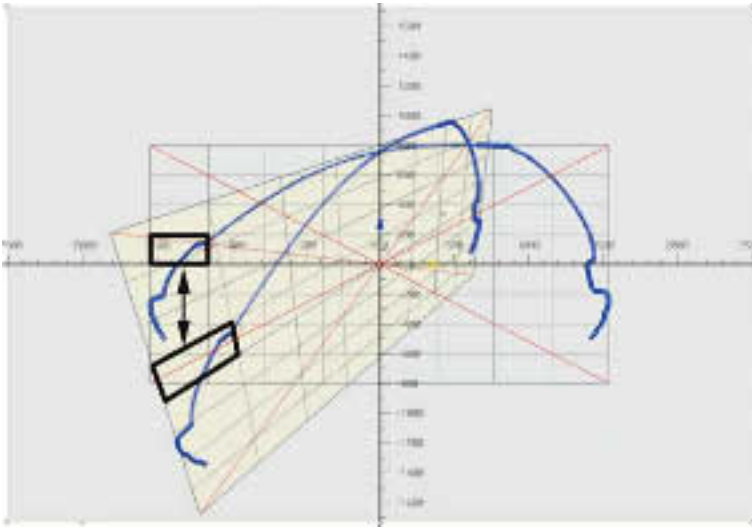


Abb. 117. Vergleich Verzerzt – Entzerzt

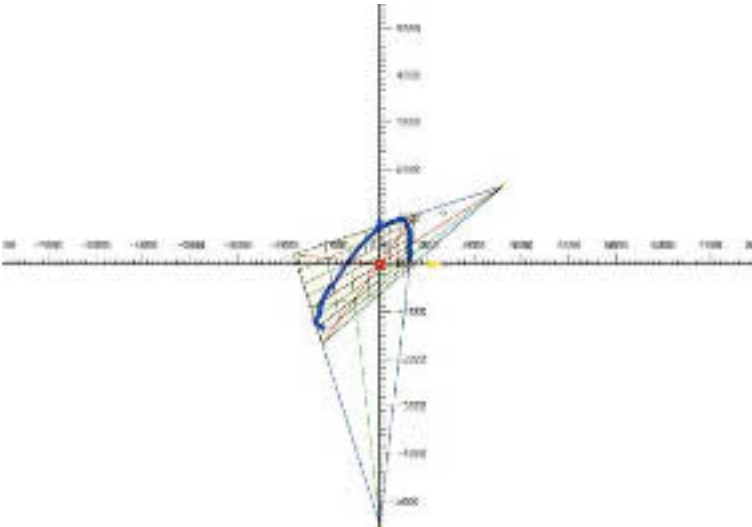


Abb. 118. Prinzip der Verdichtung zu einem perspektiven Netzlinienraster

gonalenschnittpunkt mit den zuständigen Fluchtpunkten, so erhält man die gesuchten Bilder der neuen Rasterlinien.

Hat man die zugeordneten Rastermaschen des projektiven Netzes und des unverzerrten Netzes auf dem Objekt konstruiert, so gelingt die Übertragung der

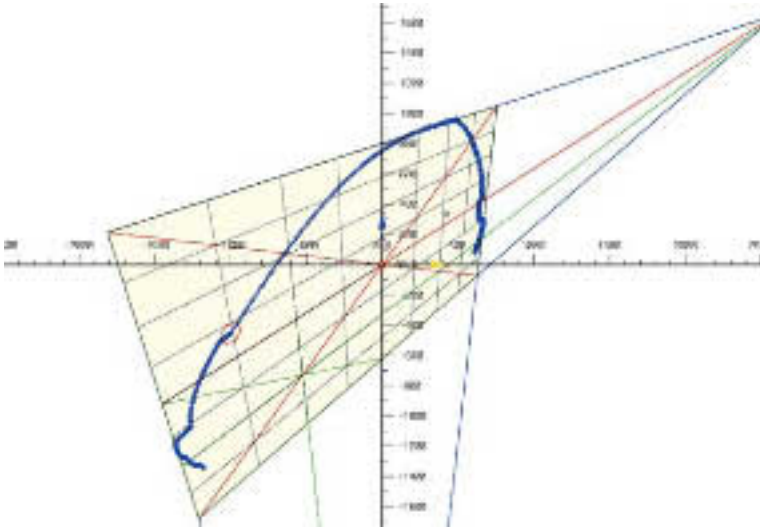


Abb. 119. Wie vorhergehende Abb., nur gezoomt

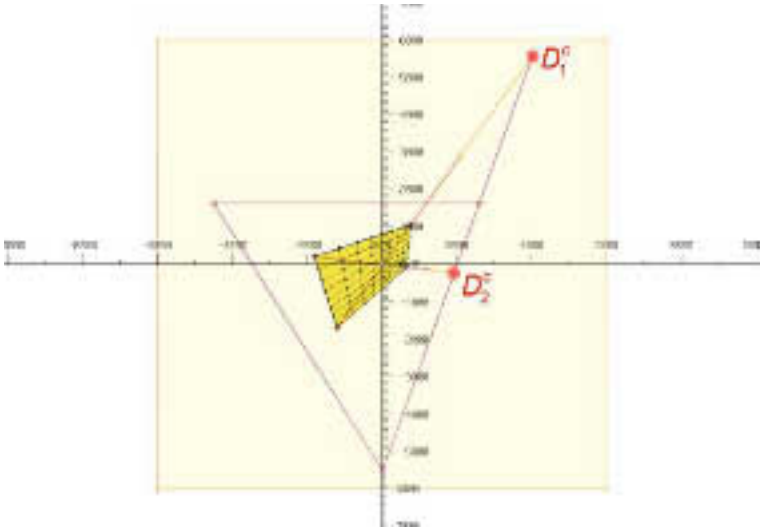


Abb. 120. Mit Hilfe der Diagonalen des Rechteckes ermitteln wir die beiden Diagonalenfluchtpunkte

Profilkontur mit Hilfe von hinreichend dicht verfeinerten korrespondierenden Maschen.

Den wahren Winkel α zwischen den Diagonalen können wir aus den beiden Diagonalenfluchtpunkten und dem Augpunkt O rekonstruieren. Zur Kontrolle

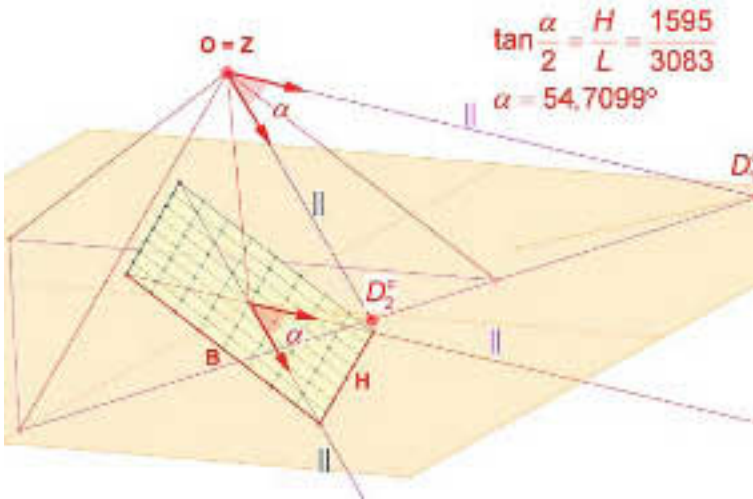


Abb. 121. Wahrer Winkel α zwischen den Diagonalen

können wir diesen Winkel auch aus den Hüllboxmaßen bestimmen, s. Formel in Abb. 121.

2.3 Entzerrung mit Hilfe eines CAD-Systems

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Lage des Augpunktes O und des Bildreferenzpunktes R im Fahrzeugkoordinatensystem ermittelt.

Übernimmt man die Orientierungsparameter für die Zentralprojektion in das CAD-System, so ergibt sich die in Abb. 122 dargestellte Ansicht.

In Abb. 122 erkennen wir die grau dargestellte Bildebene. Diese enthält das Hintergrundpixelbild mit der farbigen Designzeichnung. Wir wählen die Fahrzeugmittelebene XZ (gelb) als aktuelle Arbeitsebene und kartieren die markanten Knickpunkte auf dem verzerrten Längsprofil der Designzeichnung. Die Schnittpunkte der Projektionsstrahlen werden von der Fahrzeugmittelebene XZ im CAD-Modellraum aufgefangen. Die Bildpunkte der Designzeichnung und die entzerrten Punkte im 3D-Modellraum liegen hier im Bild genau übereinander. Das Auge des Betrachters befindet sich im Projektionszentrum Z . Deshalb sieht man auch die Projektionsstrahlen nur als Punkt.

Betrachtet man diesen Abbildungsvorgang nicht mehr in Zentralprojektion, sondern in Parallelprojektion schräg von der Seite, so erkennt man die Projektionsstrahlen als solche, s. Abb. 123 bis 125.

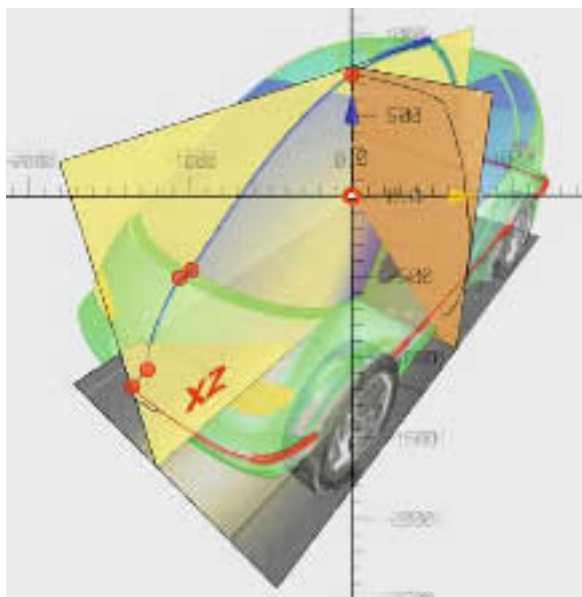


Abb. 122. Zu entzerrendes Profil, Zentralprojektion

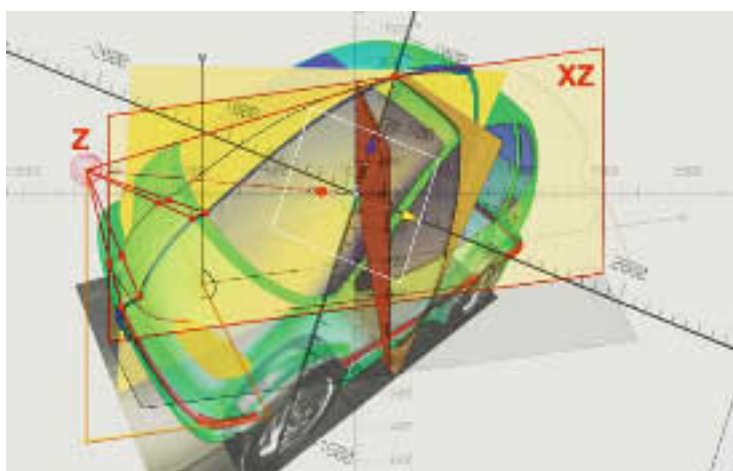


Abb. 123. Schrägansicht der Bildebene mit dem Pixel-Hintergrundbild

Die Projektionsstrahlen vom Augpunkt O (= Projektionszentrum Z) zu den markanten Punkten auf dem Längsprofil durchschneiden die gelbe Fahrzeugmittelebene XZ in den gesuchten entzerrten Punkten.

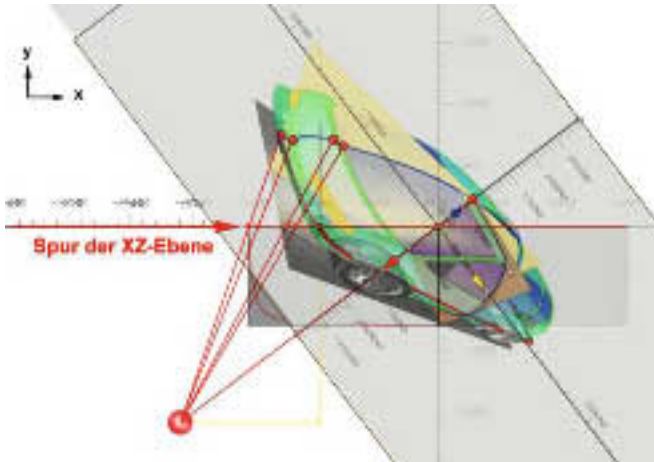


Abb. 124. Riss XY des Abbildungsvorganges. Die auffangende Arbeitsebene XZ ist nur als Spur zu erkennen

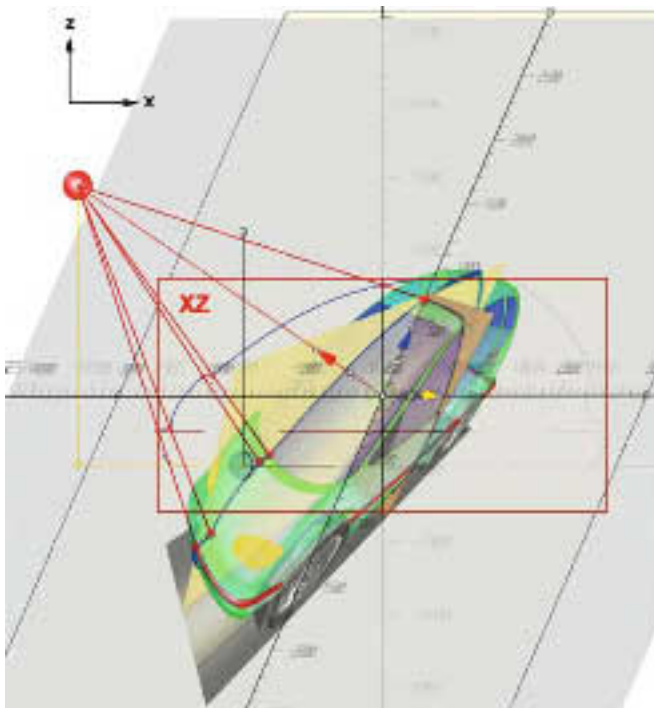


Abb. 125. Riss XZ des Abbildungsvorganges. Die auffangende Arbeitsebene XZ ist in wahrer Größe zu sehen

Die Konturen zwischen den entzerrten markanten Punkten in der Ebene XZ kann man mit Hilfe des CAD-Systems leicht nachkonstruieren. Wir beginnen mit einer Bézierkurve der Ordnung 2 (Gerade – Abb. 126) und erhöhen auf Ordnung 3, s. Abb. 127.

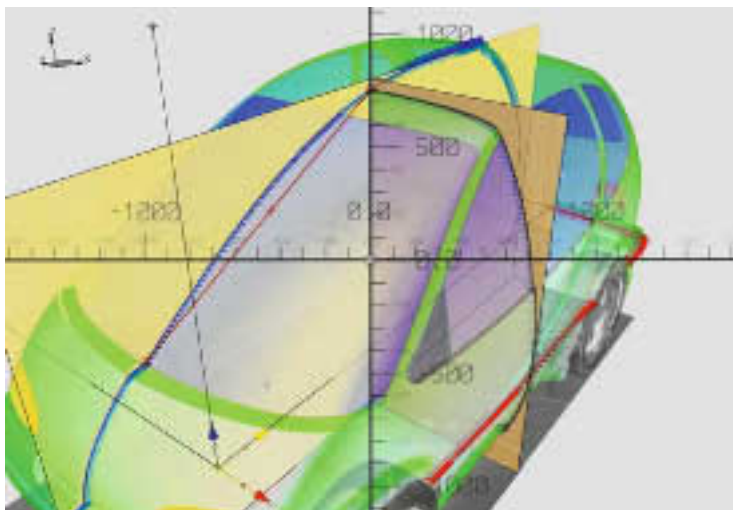


Abb. 126. Start mit einer Geraden

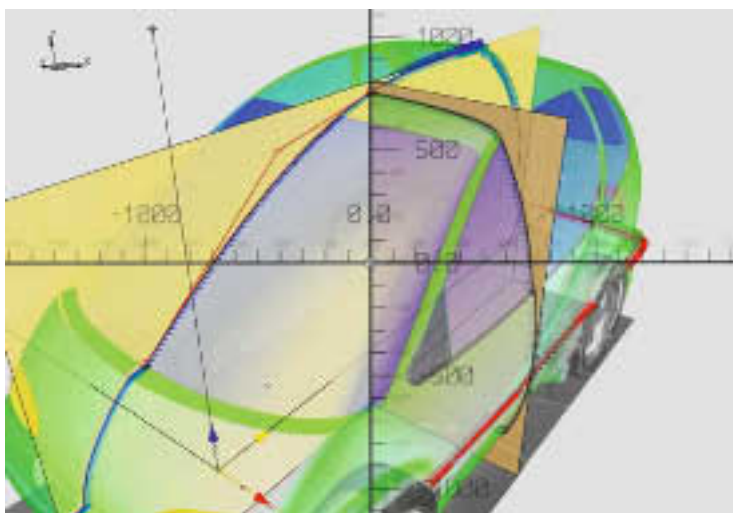


Abb. 127. Die Kurve der Ordnung 3 ziehen wir mit Hilfe des mittleren Kontrollpunktes bei fixierter Koordinate y in die gewünschte Form

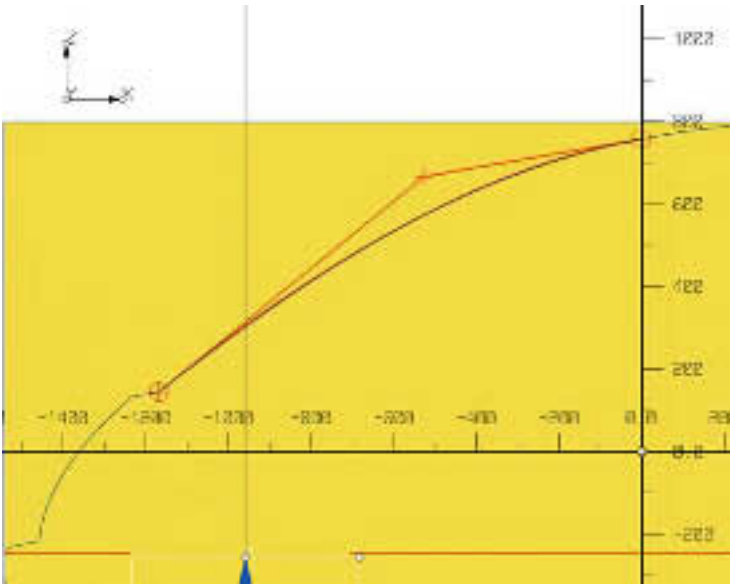


Abb. 128. Die resultierende entzerrte Kurve liegt genau in der Ebene XZ

Hinweis: Die Bézierkurven und deren Modifikationsmöglichkeiten (Grad- bzw. Ordnungserhöhung und Ziehen an den Kontrollpunkten zwecks Formänderung) werden im Abschn. 4.2.1 ab S. 115 erklärt.

2.4 Zusammenfassung

Auch wenn kein CAD-Programm zur Auswertung von perspektivischen Zeichnungen vorhanden ist, kann man verzerrte Profilschnitte prinzipiell entzerren. Die abgehandelten Beispiele sind aber nur zum Trainieren des räumlichen Vorstellungsvermögens und zur Erklärung der theoretischen Zusammenhänge bei Zentralprojektion geeignet. Denn das manuelle Verfahren erfordert viel Aufwand und ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Sind diese nicht erfüllt, so wird die Lösung schwierig, wenn nicht sogar aus rein praktischen Gründen unlösbar. Nicht immer fallen die drei Fluchtpunkte auf das Zeichenblatt. In diesem Falle kann man Hilfskonstruktionen bemühen, um die benötigten Seitengeraden des Fluchtpunktedreiecks zu bestimmen, s. dazu [14]. Auch die in der Architektur oft vorkommenden Sonderfälle mit nur zwei Fluchtpunkten oder (seltener) mit einem Fluchtpunkt werden dort abgehandelt. Das manuelle Verfahren setzt beim Fluchtpunktverfahren die Hüllbox des Objektes voraus. Ist aber nur das Designobjekt selbst mit seinen Hauptprofilen ohne den umhüllenden Quader gezeichnet worden, dann versagt das Verfahren.

Die Bestimmung des Augpunktes gelingt aber bei folgenden Voraussetzungen auch ohne Hüllbox: Man kennt zumindest die Koordinaten von vier Punkten des zu entzerrenden Profils in einer Hilfsebene des Objektes, z. B. in der Längsmittlebene, die ein nicht entartendes Viereck aufspannen müssen. Dazu seien noch zwei weitere Punkte des Designobjektes außerhalb dieser Ebene, also entweder davor oder dahinter, z. B. in einer Querebene $X = \text{const.}$ bekannt. Dann lassen sich mit Hilfe des Doppelverhältnisses die Bilder der beiden zusätzlichen Punkte in der Hilfsebene (hier die Längsmittlebene) identifizieren und die Bestimmung des Augpunktes wird mit Hilfe eines räumlichen Vorwärtseinschnittes möglich.

Die zeichnerische Bestimmung o. g. Bildpunkte ist umständlich, sodass auch dieser manuelle Weg nicht praktikabel ist. Zumal man auch nicht ohne Rechnung oder aufwändige graphische Hilfskonstruktionen auskommt, um den Augpunkt mit Hilfe eines Vorwärtseinschnittes zu bestimmen.

Programmiert man jedoch die o. g. Hilfskonstruktionen und stellt sie in einer Art Vorbibliothek [22, 23] für das passpunktbasierende numerische Iterationsverfahren RWS zum räumlichen Rückwärtseinschnitt [18, 19, 20, 22, 23] zur Verfügung, dann können Näherungswerte für die Daten der inneren und äußeren Orientierung bestimmt werden. Damit lässt sich die Konvergenz des Verfahrens beschleunigen. Für den CAD-Anwender läuft dies unbemerkt im Hintergrund ab, da er selbst nur die Passpunkte anwählt, die Rechnung aber dem CAD-Programm überlässt. Das Programm RWS liefert vollautomatisch die Orientierungsdaten einer Designzeichnung auf der Basis von fünf angemessenen Passpunkten oder halbautomatisch bei drei Passpunkten (reine Sichtrichtungsbestimmung) mit einem interaktiven Zusatzvorgang (Abgleich der Augdistanz).

Der anschließende Teil des Verfahrens, nämlich die eigentliche Entzerrung, fällt praktisch als Nebenprodukt sofort im CAD-System mit ab.

Freiformflächen in der rechnerunterstützten
Karosseriekonstruktion und im Industriedesign
Grundlagen und Anwendungen

Bonitz, P.

2009, XIV, 322 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-79439-4