

Dipl.-Ing. Johann G. Löwenstein

Stürzende Linien aufrichten

ViCADO-Visualisierung mit Shift-Objektiv-Kompensation

Im Unterricht lernt man perspektivische Verzerrungen und den Unterschied zwischen Parallel- und Zentralperspektive kennen, wenn die Zeichnung möglichst realistisch und am besten wie ein Foto aussehen soll. Beim Fotografieren selbst, spätestens in der Architekturfotografie, beschäftigt man sich wieder mit der Zentralperspektive, oft im Zusammenhang mit den unerwünschten stürzenden Linien. Um diesen Effekt bereits bei der Aufnahme zu verhindern, werden Balgengeräte oder spezielle Shift-Objektive eingesetzt. Auch nachträglich, beim Entwickeln in der analogen Fotografie, können Verzerrungen durch entsprechende Belichtungsanordnungen behoben werden. Heute, in der digitalen Fotografie, erfolgt die Korrektur oft mit einem Griff in die Photoshop-Trickkiste.

Der folgende Artikel beschreibt die optischen Zusammenhänge, gibt Tipps zum Verhindern stürzender Linien bereits beim Fotografieren und beschreibt, wie ein modernes CAD-System wie ViCADO in der Visualisierung stürzende Linien direkt vermeidet.



Fotografieren und Visualisieren mit Licht

Das klingt trivial, gibt aber auf die meisten Probleme in diesem Metier bereits einen entscheidenden Hinweis auf den richtigen Lösungsansatz.

Von allen beleuchteten Körpern werden auftreffende Lichtstrahlen in alle Richtungen reflektiert. Nur die reflektierten Lichtstrahlen, die genau durch die Linse des Fotoapparates gelangen, erzeugen eine Abbildung. Nach dem Durchgang durch die Linse erzeugen sie ein Bild, heute auf der Sensorebene der digitalen Fotografie.

Die Lichtstrahlen stammen von Körpern, die einen jeweils anderen Abstand zur Linse haben können. Die Sensorebene hat einen festen Abstand zur Linsenebene und beide stehen zentriert und parallel zueinander.

Das Bild auf einer Bildebene hinter der Linse ist seitenverkehrt und steht auf dem Kopf, das gilt für das Bild auf dem Sensor der analogen und digitalen Fotografie, genauso wie für das Bild auf der sphärischen Netzhaut in unserem Auge.

Zeichnen mit Lichtstrahlen

Wenn man sich nun die Bildebene nicht hinter der Linse, sondern vor der Linse denkt, also zwischen dem Objekt und der Linse, erhält man ein aufrecht stehendes Bild.

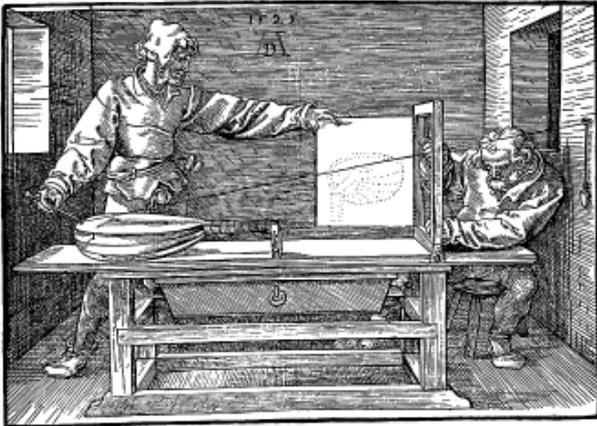
Blickrichtung entgegen der Lichtstrahlen

Genau diese Anordnung nutzte bereits Albrecht Dürer zur Kopie komplizierter perspektivischer Szenen aus, indem er mit dem Auge durch eine Öffnung eines fixierten Stabes, quasi als feststehende Linse, schaute und als Bildebene ein Gitternetz nutzte, von dem aus er die beobachtete Szene auf eine vor ihm liegende und ebenfalls mit einem Gitternetz gerasterte Zeichnung übertrug.



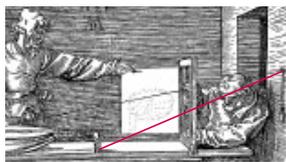
Lichtstrahlverfolgung mittels einer Schnur

Eine zweite Anordnung basiert ebenfalls auf der Strahlverfolgung. Die einzelnen Lichtstrahlen vom Objekt zum Augpunkt des späteren Bildbetrachters werden mit einer gespannten Schnur simuliert.



Das Auge des Betrachters wird zu einer in der Wand fixierten Öse, durch welche eine Schnur läuft, die von einem Gewicht stets straff und nahezu gerade gehalten wird. Mit dem anderen Schnurende werden einzelne Bildpunkte am Objekt abgetastet. Der Durchdringungspunkt der Lichtstrahl-Schnur mit der Bildebene wird zunächst in der Bildebene durch einen Assistenten festgehalten, der ihn dann auf das in die Bildebene hineingeschwenkte Bild überträgt. Am Ende gibt das Bild den Eindruck eines Betrachters wieder, dessen Augpunkt exakt dem Ort der Öse an der Wand entspricht. In diesem Fall entspricht das Bild, gemessen an der Augenhöhe, dem Blick eines Kindes, das die auf einem Tisch liegende Laute betrachtet.

Anscheinend ist Dürer bei der Abbildung der Laute ein Fehler unterlaufen. Er lässt sich leicht über die Konstruktion des Bildpunktes vom Auflagepunkt des Wirbelbretts auf dem Tisch erkennen. Vielleicht war Dürer auch nur die prinzipielle Darstellung wichtig.



Computersimulation mittels Raytracing

Die mittelalterliche Strahlverfolgung heißt in der Computergrafik „Raytracing“. Hier werden nicht mehr nur einzelne markante Punkte am realen Objekt abgegriffen und in die Bildebene übertragen, sondern im virtuellen Gebäudemodell werden Augpunkt, Blickpunkt und Bildebene definiert. Dann werden vom Augpunkt aus, je nach gewünschter Auflösung, durch jeden einzelnen Pixelpunkt der Bildebene, Strahlen auf die Geometrie des Gebäudemodells geschickt und je nach Oberflächenbeschaffenheit, Transparenz oder Reflexionsvermögen weiter einzelne oder neue aufgeteilte Strahlen weitergeleitet, bis hin zur Lichtquelle. Von dort kommen sie zurück mit neuen Informationen zur Helligkeit und Farbe des Lichtes. Das Verfahren ist nur der Vollständigkeit halber genannt, es wird in ViCADO aus Performancegründen nicht eingesetzt.

Zentralperspektive

Das zugrunde liegende Abbildungsgesetz in der Fotografie, in den mittelalterlichen Zeichenhilfen und in der Computergrafik wird Zentralperspektive genannt. In den beiden Stichen von Albrecht Dürer verrät der Künstler seine Hilfsmittel für die Anwendung der Zentralperspektive und muss sie zugleich für das eigentliche Bild angewendet haben. Das Abbildungsgesetz der Zentralperspektive ist in der Mathematik als Strahlensatz bekannt. Auch für die Visualisierung in ViCADO wird eine Zentralperspektive zugrunde gelegt. Mathematisch gesehen wendet ViCADO für jeden einzelnen Bildpunkt den Strahlensatz an.

Alle weiteren Betrachtungen in diesem Artikel beziehen sich deshalb auch auf die Zentralperspektive, als das in der Architektur am häufigsten verwendete Abbildungsgesetz.

Exkurs: Objektive

Abbildungsfehler

Das mathematisch korrekte Abbildungsgesetz unterliegt in der Fotografie der technischen Umsetzung im Objektiv, welches i.d.R. aus einem ganzen Linsenpaket besteht. Dadurch hat jedes normale Objektiv in gewissem Umfang Abbildungsfehler. Exakte Objektive für Aufnahmen zur fotogrammetrischen Auswertung sind entsprechend teuer.

Verzerrungen

Ähnlich wie das Problem der Kartographie, aus einer Kugeloberfläche eine ebene Karte zu fertigen, unterliegt auch die Konstruktion der Objektive einem vorgegebenen Abbildungsgesetz.

Am deutlichsten wird das bei extremen weitwinkligen Objektiven. Hier trifft der Fotograf bereits mit der Wahl des Objektivs eine elementar wichtige Entscheidung: Mit einem Superweitwinkel erreicht man eine linientreue Zentralperspektive, während ein Fisheye immer eine starke Krümmung gerader, nicht radialer Objektkanten auf dem Bild zur Folge hat, dafür aber eine winkeltreue Abbildung erreicht.

Für die Architekturfotografie eignet sich das Superweitwinkelobjektiv deutlich besser, auch wenn es in den Außenbereichen wegen der Zentralperspektive eine deutliche Streckung der Flächen und Kanten aufweist.



Flächenverzerrung bei einer Superweitwinkel Aufnahme, Tür links.

Das Problem der stürzenden Linien

Im Folgenden soll dem Problem der stürzenden Linien nachgespürt werden. Zuerst mit Visualisierungen aus ViCADO, danach analog bei der Fotografie.

Bild 1: schlechte Blattausnutzung

Bei diesem Bild befindet sich der Augpunkt in 1,65 m Höhe und die Blickrichtung ist horizontal.



Als Blickwinkel musste ein starker Weitwinkel eingestellt werden, um die obere Gebäudeecke noch abbilden zu können. Es treten keine stürzenden Linien auf, aber weder die starke Betonung des Bodens im Vordergrund, noch die leeren Bildbereiche rechts und links sind gewünscht.

Bild 2: stürzende Linien

Oft wird zur besseren Bildausnutzung in der Fotografie, wie auch bei den Einstellungen zur Visualisierung, der Blick erhoben. Der Blick verläuft also nicht mehr horizontal, sondern in diesem Fall von einer Augenhöhe in 1,65 m auf eine Blickpunkthöhe in 3,25 m auf der Außenfassade.



Dadurch wird die Überbetonung des Vordergrundes vermieden, das Bild wird in der Breite besser ausgenutzt. Wieder wurde der Bildwinkel so eingestellt, dass die vordere obere Gebäudeecke noch abgebildet werden kann. Aber sofort fallen auch die stürzenden Linien auf. Sogar die Menschen im Vordergrund drohen zu stürzen.

Auch wenn man diesen Effekt manchmal gestalterisch einsetzen möchte, wird im Folgenden beschrieben, wie man genau diese stürzenden Linien vermeiden kann.

Bild 3: über die Köpfe hinweg

Die stürzenden Linien werden durch eine Neigung der Blickachse hervorgerufen, weil dadurch die Bild- und Objektebenen nicht parallel sind. Deshalb kann man auf die Idee kommen, den Augpunkt anzuheben, um die Blickrichtung wieder horizontal auszurichten. Im dritten Bild verläuft die Blickrichtung auf einem Niveau von 3,20 m horizontal.



Jetzt ist die Bildausnutzung sehr gut und der Effekt der stürzenden Linien konnte vermieden werden. Allerdings bietet diese Perspektive keinen Einblick mehr in das Erdgeschoss und kann dem Betrachter keinen natürlichen Bildeindruck vermitteln.

Bild 4: nicht zentrischer Bildausschnitt aus Bild 1

Die Lösung liefert ein Ausschnitt vom ersten Bild. Zur Zeit der analogen Fotografie erfolgte das durch eine Ausschnittvergrößerung oder den manuellen Beschnitt eines entsprechend größeren Abzuges. Beide Male wurde ein ausreichend weitwinkliges Ausgangsmaterial benötigt.

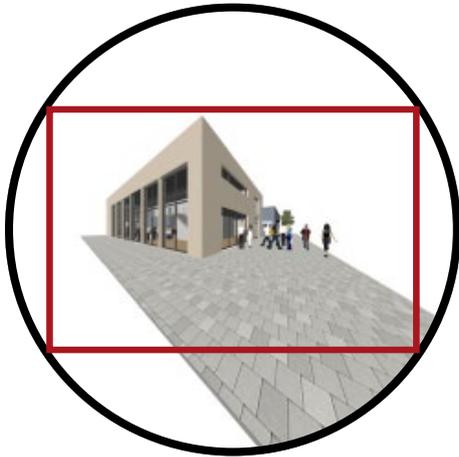


Auch in der digitalen Zeit wird ein weitwinkligeres Bild benötigt. Damit das später zugeschnittene Bild noch genügend Auflösung besitzt, muss das Ursprungsbild mit einer höheren Pixelanzahl erstellt werden. Dieses Problem trat auch in der analogen Fotografie auf, indem bei einer Ausschnittvergrößerung die Körnung des Filmmaterials sichtbar wurde. Die Lösung sind sogenannte Balgengeräte und Shift-Objektive.



Das Shift-Objektiv in der Fotografie

Jedes Objektiv erzeugt in der Bildebene einen Bildkreis. Das Bild selbst ist immer ein Ausschnitt aus diesem Bildkreis. Ein klassischer Bildausschnitt hat die Proportionen 3:2, wie beim Kleinbildformat 36x24 mm oder neuerdings die Proportionen 16:9, wie bei den Full HD-Auflösungen.

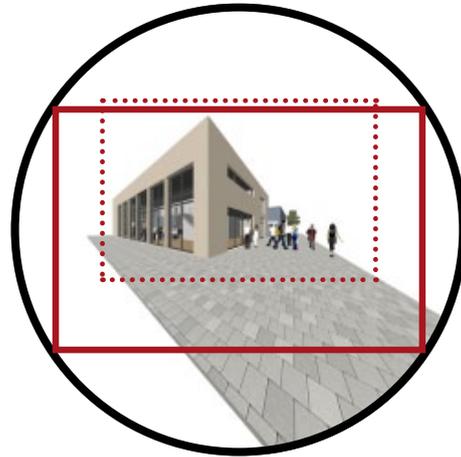


Durch die parallele und zentrierte Lage der Linsenebene zur Bildebene ergibt sich prinzipiell, dass alle Fernpunkte der horizontalen parallelen Objektkanten im Horizont in halber Bildhöhe liegen. Dadurch erscheinen alle Bilder von Motiven, die deutlich höher als die doppelte Augenhöhe sind, mit einer überbetonten Grundfläche.

Alle Versuche, diese Überbetonung durch ein Anheben der Blickrichtung zu vermeiden, führen zwingend zu stürzenden Linien.

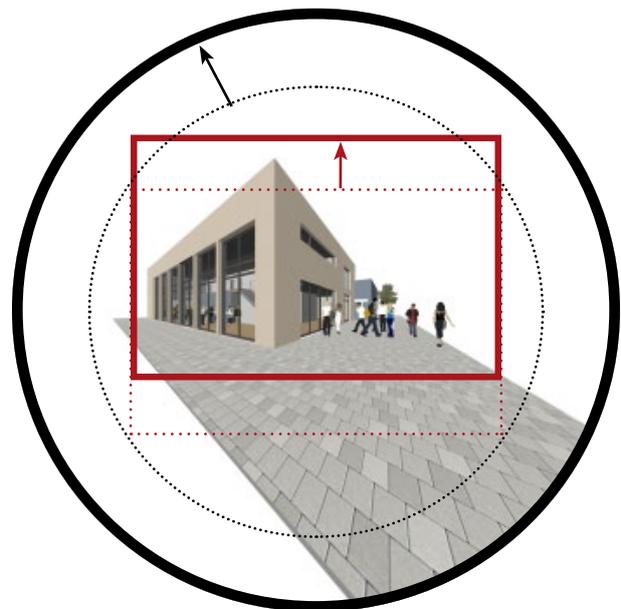


Eine Ausschnittvergrößerung aus dem vorhandenen Bildkreis führt zu Auflösungsverlusten. Für die Berechnung einer Visualisierung müssten zunächst viele Bildpunkte aufwändig berechnet werden, die danach ohnehin durch den Beschnitt entfallen.



Die Lösung ist die Vergrößerung des Bildkreises und die Aufhebung der Zentrierung von Linse und Bildebene durch ein Shift-Objektiv. Der Sensor oder die Bildfläche – und damit die Auflösung bzw. die Anzahl der zu berechnenden Pixel – wird nicht vergrößert, sondern bleibt konstant.

Ein Shift-Objektiv verfügt über eine geringere Brennweite, ist also weitwinkliger und es kann den Bildausschnitt aus der zentrierten Lage parallel verschieben.



Exkurs: Crop-Faktor

Mit der digitalen Fotografie taucht ein neuer Begriff auf: der Crop-Faktor. Reicht der Sensor einer Digitalkamera bis an den Rand des Bildkreises, ist der Crop-Faktor = 1. Ist der Sensor kleiner als der Bildkreis des Objektivs, ergibt sich:

$$\text{Crop-Faktor} = \text{Bildkreisdurchmesser} / \text{Sensordiagonale}$$

Über den Crop-Faktor einer Objektiv/Kamera-Kombination lässt sich die Brennweite auf eine Kleinbildformat-äquivalente Brennweite umrechnen.

Albrecht Dürer und das Shift-Objektiv

Mit diesem Hintergrundwissen fällt in den Stichen von Albrecht Dürer auf, dass er ebenfalls mit einer lotrecht stehenden, aber nicht zentrierten Bildebene arbeitet. Hätte Dürer fotografiert, hätte er für diesen Effekt ein Balgengerät oder ein Shift-Objektiv verwendet.



*Stark stürzende Linien:
Typischer Effekt für eine
Zentralperspektive bei nach
oben geneigter Kamerahaltung*



Neue Möglichkeiten in ViCADO 2015

Zu jeder Visualisierung können umfangreiche Einstellungen in den Sicht-Eigenschaften vorgenommen werden. Dazu gehört seit ViCADO 2015.030 nun auch eine Einstellung zur Kompensation der stürzenden Linien bei einer Zentralperspektive.

Kompensation der stürzenden Linien

Im Vergleich zum Aufwand in der Fotografie ist es in ViCADO geradezu spielerisch möglich, den Effekt der stürzenden Linien durch einen einzigen Schieberegler von 0-100% auszugleichen.

Möglich ist das nur, weil die Abbildungsvorschrift der Computergrafik durch keine Abmessungen von Kameragehäuse, Bildkreis oder Sensorgröße wie in der Fotografie beschränkt ist.

Die Lösung in ViCADO entspricht zwar den komplexen optischen Zusammenhängen eines Shift-Objektivs, ist aber ungleich eleganter in der Anwendung. Das einmal eingestellte Maß der Kompensation bleibt auch beim Durchwandern der Szene oder beim Drehen und Neigen der Blickrichtung erhalten.

Exkurs: Tipps zur Fotografie ohne stürzende Linien

Shift-Objektiv

Durch Parallelverschiebung der Linse können leichte Untersichten oder horizontale Fehlstände direkt ausgeglichen werden.



Bild: Samyang

Das ist die teuerste Variante, liefert aber die besten Ergebnisse und ermöglicht Bilder mit vollständiger Ausnutzung der vorhandenen Sensorauflösung in der Kamera.

Nachbearbeitung mit digitaler Bildbearbeitung

Motiv möglichst formatfüllend aufnehmen, um die Kameraauflösung auszunutzen. Stürzende Linien nachträglich in Photoshop, Lightroom, NShift o.ä. korrigieren.



Durch die nachträgliche Entzerrung werden Bildbereiche gedehnt bzw. gestaucht. Die zuvor vorhandene Auflösung geht dabei in erheblichem Maß verloren.



Ohne stürzende Linien:
Durch vollständige Kompensation
entspricht dieses Bild einer
klassischen 2-Punkt-Perspektive



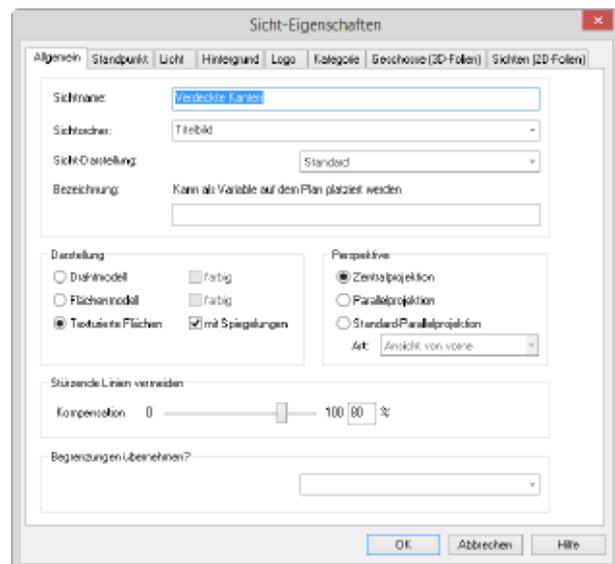
Wenig stürzende Linien:
Mit einer Kompensation von 80%
wird ein harmonischer Bildeindruck
trotz niedrigem Augpunkt erreicht



Dialog Sicht-Eigenschaften

Im Zuge der Erweiterung um die Kompensation der stürzenden Linien wurde auch der Dialog zur Einstellung der Sicht-Eigenschaften umfangreich überarbeitet.

Viele Einstellungen wirken sich nun sofort auf die entsprechende Visualisierung aus und können bereits kontrolliert werden, bevor die Änderungen in den Sicht-Eigenschaften mit dem Schließen des Dialogs übernommen werden. Außerdem wurden die Einstellungsmöglichkeiten neu auf die verschiedenen Karteikarten des Dialogs aufgeteilt.



Dialog „Sicht-Eigenschaften“

Nachträglicher Beschnitt

Fotografieren in horizontaler Blickrichtung. Um das gesamte Motiv auf das Bild zu bekommen, wird ein Objektiv mit sehr kleiner Brennweite benötigt.



Das Bild wird einfach beschnitten. Dabei geht ein großer Teil des Bildes und der Auflösung verloren, aber der Ausschnitt verbleibt im Originalzustand.

Fazit

Die neue Technik der Kompensation erlaubt es, die oft als störend empfundenen stürzenden Linien zu vermeiden, ohne auf die manchmal unnatürlich steif wirkende 2-Punkt-Perspektive zurückzufallen. Durch eine einfache und intuitive Einstellung der Kompensation erreicht man mit ViCADO schnell einen angenehmen und gefälligen Bildeindruck. Dabei hilft die direkte optische Kontrolle bereits während der Justage der Parameter. Das gilt jetzt auch für die Einstellungen der übrigen Parameter der Sicht-Eigenschaften.

Dipl.-Ing. Johann G. Löwenstein
Geschäftsführer Entwicklung
mb AEC Software GmbH