

ALPA[®]

OF SWITZERLAND

Parallelverschiebung und Scheimpflug-Schwenkung

Anwendung und optimale konstruktive Auslegung
technischer Kameras

ALPA Capaul & Weber Ltd.
Neptunstrasse 96
POB 1858
8032 Zürich / Switzerland

Phone: +41 44 383 92 22
Fax: +41 44 382 01 80

Web: www.alpa.ch
Mail: alpa@alpa.ch

Parallelverschiebung und Scheimpflug-Schwenkung

Anwendung und optimale konstruktive Auslegung technischer Kameras

von Walter E. Schön

Verstellbare **technische Kameras** sollen dem Fotografen auf einfache und schnelle Art ermöglichen, perspektivische Verzerrungen (meistens „stürzende Linien“) bei Aufnahmen mit schräger Sicht zu beheben und mehr Schärfentiefe für den abzubildenden Gegenstand zu gewinnen, ohne übermäßig abzublenken, also um Beugungsunschärfe zu vermeiden.

Deshalb bieten solche technische Kameras eine mechanische **Parallelverschiebung** des Rückteils und/oder des Objektivs zur Korrektur perspektivischer Verzerrungen sowie eine mechanische **Schwenkeinrichtung** des Rückteils und/oder des Objektivs zur Verlagerung der Schärfentiefe im Raum zur besseren Anpassung an die Motivausdehnung.

Was bedeutet „Perspektive“ bei einem Foto und wodurch wird sie beeinflusst?

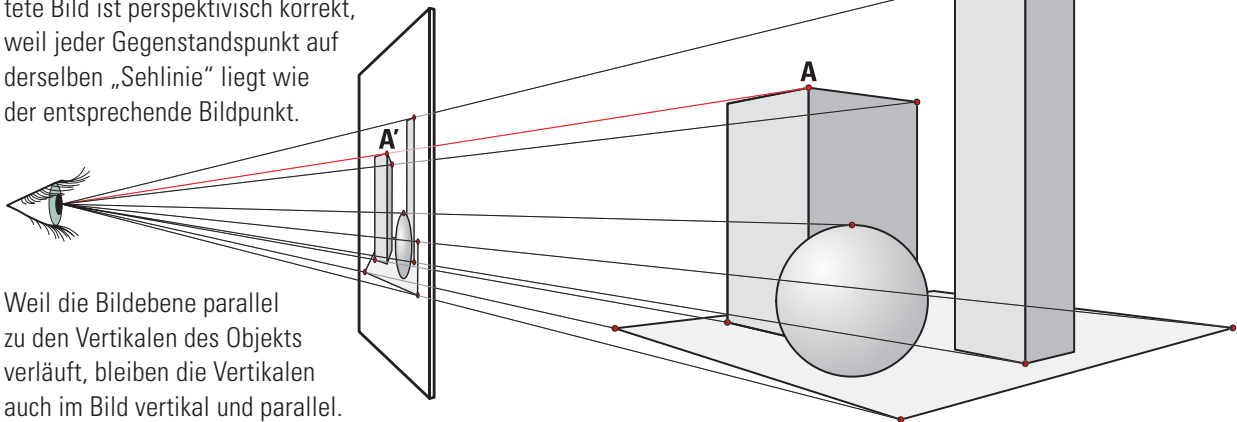
Der Begriff „Perspektive“ ist von lateinisch *perspicere* = *hindurchsehen* abgeleitet und bedeutet im fotografisch-geometrischen Sinn die Art und Weise, wie ein dreidimensionaler Gegenstand in einer Ebene so abgebildet wird, dass sein Betrachter dennoch eine räumliche Vorstellung davon erhält.

„Standort“ gilt dabei nicht der Ort, auf dem der Betrachter steht, sondern an dem sich sein Auge befindet, genauer der Mittelpunkt der Pupille seines betrachtenden Auges. Je nach Neigung der Bildebene sieht das Bild verschieden aus.

Um dieses Ziel optimal zu erreichen, muss der Betrachter jeden Gegenstandspunkt **A'** im Bild in derselben Blickrichtung sehen, in der er den entsprechenden Punkt **A** des wirklichen räumlichen Gegenstandes von einem bestimmten (möglicherweise anderen) Standort aus gesehen hätte. Als

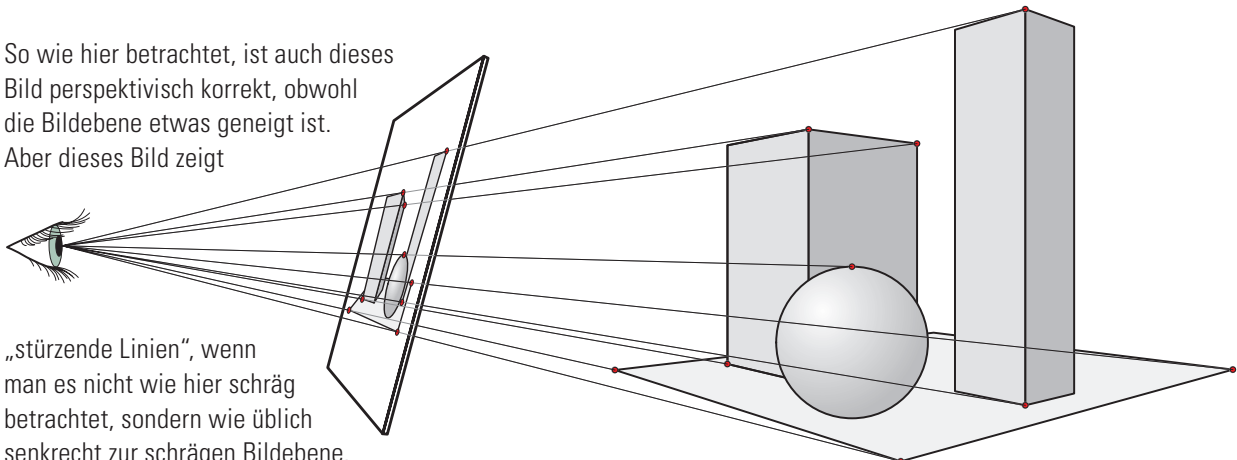
Wenn wir das auf eine Kamera übertragen, ist für die Perspektive des Gegenstandes im Foto maßgeblich, wo sich die **Mitte der Objektiv-Eintrittspupille** (oder Blendenöffnung = „Standort“) befindet und wie die **Bildebene** relativ zum Gegenstand (parallel oder schräg) und zur Blickrichtung (senkrecht oder schräg) orientiert ist.

Dieses senkrecht zur Bildebene betrachtete Bild ist perspektivisch korrekt, weil jeder Gegenstandspunkt auf derselben „Sehlinie“ liegt wie der entsprechende Bildpunkt.



Weil die Bildebene parallel zu den Vertikalen des Objekts verläuft, bleiben die Vertikalen auch im Bild vertikal und parallel.

So wie hier betrachtet, ist auch dieses Bild perspektivisch korrekt, obwohl die Bildebene etwas geneigt ist. Aber dieses Bild zeigt



„stürzende Linien“, wenn man es nicht wie hier schräg betrachtet, sondern wie üblich senkrecht zur schrägen Bildebene.

Wie funktioniert und wozu dient die Parallelverschiebung technischer Kameras?

Wenn z. B. ein hohes Gebäude mit schräg nach oben gerichteter Kamera fotografiert wird, um es vollständig aufs Bild zu bekommen, entstehen **stürzende Linien**: Die vertikalen Kanten konvergieren im Bild nach oben zu einem Fluchtpunkt hin, das Gebäude wird oben schmaler und wird zugleich in der Höhe (relativ zu seiner Breite) gestaucht dargestellt.

Wenn das Gebäude so fotografiert wird, dass die **Bildebene** (= Sensor- oder Filmebene) der Kamera **parallel zu diesen senkrechten Kanten** ausgerichtet ist, dann bleiben sie auch im Bild senkrecht und damit zueinander parallel. Mit nicht verstellbaren Kameras ist das nur bei horizontaler Aufnahme (= vertikaler Bildebene) möglich.

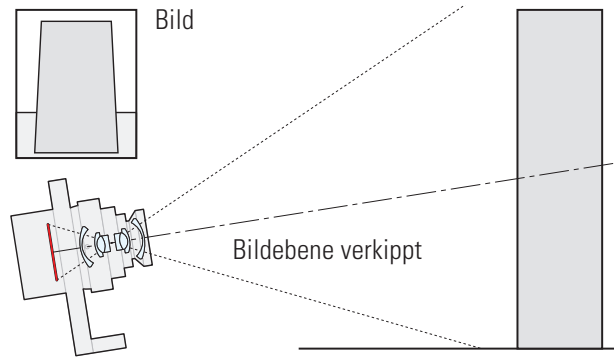
Bei Architekturaufnahmen wäre dann aber oft der obere Teil des **Gebäudes abgeschnitten und zuviel Vordergrund** im Bild. Um das gesamte Gebäude mit weniger Vordergrund aufzunehmen, muss eine nicht verstellbare Kamera schräg ausgerichtet werden oder der Aufnahmestandort auf etwa halber Höhe des Gebäudes liegen, statt entsprechend der natürlichen Sichtweise eines Fußgängers bodennah zu sein.

Bei Sachaufnahmen von Gegenständen mit senkrechten Kanten, die meistens schräg von oben aufgenommen werden, treten genau dieselben Probleme auf, nur dass dann die senkrechten Kanten im Bild nach unten hin konvergieren.

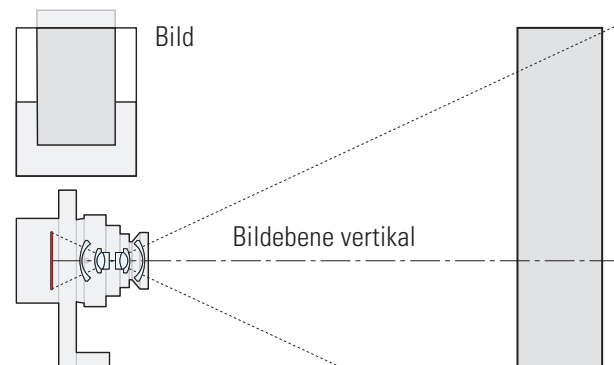
Falls die Kamera aber eine Möglichkeit bietet, das **Objektiv oder Rückteil nach oben und unten zu verschieben**, lässt sich mit der Kamera in gewissen Grenzen (die vom maximalen Verschiebeweg und dem Bildwinkel des Objektivs abhängen) schräg nach oben oder unten fotografieren und trotzdem die **Bildebene weiterhin senkrecht** halten. Die entsprechenden Aufnahmen zeigen den Gegenstand **ohne stürzende Linien**. Das Verhältnis zwischen Höhe und Breite bleibt korrekt, also **naturgetreu proportioniert**.

Ob hierbei für eine Aufnahme schräg nach oben das **Objektiv nach oben** oder das **Rückteil nach unten** verschoben wird, ist zunächst gleichgültig, weil es nur darauf ankommt, dass die Mitte des Objektivs höher liegt als die Mitte der Bildfläche (des Formatrahmens im Rückteil). Analog gilt das auch für eine Aufnahme schräg nach unten. Daher ist es **zunächst gleichgültig, ob** die technische Kamera eine **Parallelverschiebung des Objektivs oder des Rückteils** oder eventuell sogar beider bietet.

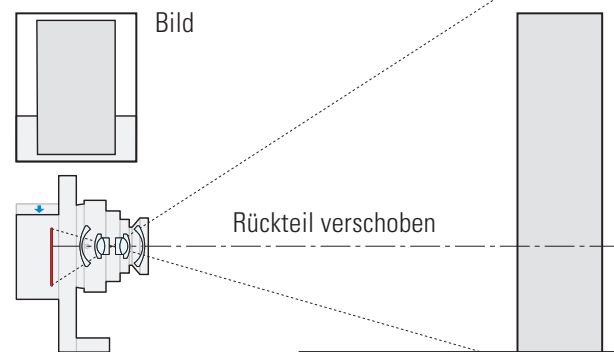
Da eine **Höhenänderung des Objektivs** bei Nahaufnahmen eine sichtbare **Änderung der Perspektive** zur Folge hat, ist es zumindest im Nahbereich oder bei sehr nahem Vordergrund **günstiger, das Rückteil zu verschieben**. Ist nur das Objektiv verschiebbar (z. B. bei Kleinbildkameras mit „Shiftobjektiv“), muss darum bei Nahaufnahmen nach der Objektivverschiebung zur Korrektur der stürzenden Linien eventuell die gesamte Kamera am Stativ um den Höhenversatz des Objektivs abgesenkt bzw. angehoben werden, um das **Objektiv in die ursprünglichen Position** zu bringen.



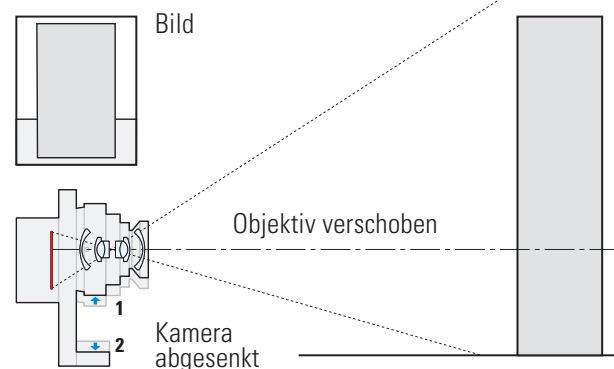
Die schräg nach oben gerichtete Kamera bildet zwar das Gebäude vollständig und wie gewünscht mit nur wenig Vordergrund ab, zeigt aber stürzende Linien.



Die horizontal ausgerichtete Kamera bildet das Gebäude aus normaler Augenhöhe zwar unverzerrt, aber nicht vollständig ab und zeigt zuviel Vordergrund.



Wenn das Rückteil nach unten (oberes Bild) oder das Objektiv nach oben verschoben wird (unteres Bild), ist eine vollständige und unverzerrte Abbildung möglich.



Wie lässt sich mit Scheimpflug-Schwenkung die Schärfentiefe besser nutzen?

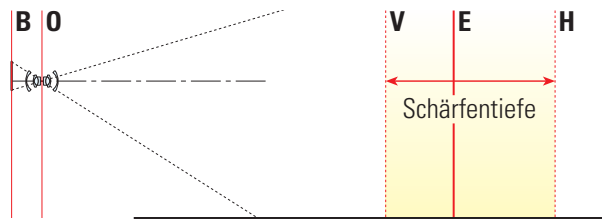
Die meisten fotografierten Gegenstände sind dreidimensional. Aber das Objektiv liefert je nach seiner Fokussierung **nur für eine bestimmte Entfernung ein scharfes Bild**. Der Bereich beiderseits der Einstellentfernung, in dem die zunehmende Unschärfe noch zu gering ist, um störend sichtbar zu sein, wird als **Schärfentiefe** bezeichnet. Ihre Grenzen definiert der **maximal zulässige Zerstreuungskreis-Durchmesser z** , der seit etwa 80 Jahren in der analogen Fotografie **1/1400 der Bilddiagonale** beträgt. Beim Sensorformat 24 mm x 36 mm ist das ca. **0,03 mm**. Darauf basieren alle üblichen Schärfentiefe-Skalen und -Tabellen.

Je besser die Objektive und Filme wurden, desto fraglicher wurde dieser Wert, weil ein Punktbild von 0,03 mm Durchmesser bei Betrachtung stark vergrößerter Bilder relativ zur heute maximal erzielbaren Auflösung schon als unscharf empfunden wird. Aktuelle hochauflösende Digitalrückteile und Objektive verlangen eher den halben Wert, also etwa **0,015 mm bei Kleinbild**. Das erfordert für dieselbe Schärfentiefe eine **um zwei Stufen stärkere Abblendung!**

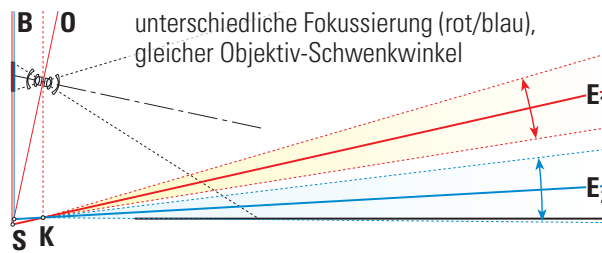
Leider nimmt beim Abblenden die **Beugungsunschärfe** stark zu (bei zwei Blendenstufen um den Faktor 2). Das setzt dem Abblenden Grenzen: **Wer höchste Ansprüche an die Bildschärfe stellt und darum weniger stark abblendet, muss mit geringerer Schärfentiefe auskommen.**

Einen Ausweg aus diesem Dilemma hat bereits vor mehr als 100 Jahren Theodor **Scheimpflug** gewiesen: Durch Verkippen des Objektivs oder des Rückteils lässt sich zwar **nicht mehr Schärfentiefe gewinnen, aber** sie lässt sich anders (schräg) im Raum anordnen und auf diese Weise in vielen Fällen (leider nicht immer) **besser an die räumliche Ausdehnung des scharf abzubildenden Motivs anpassen.**

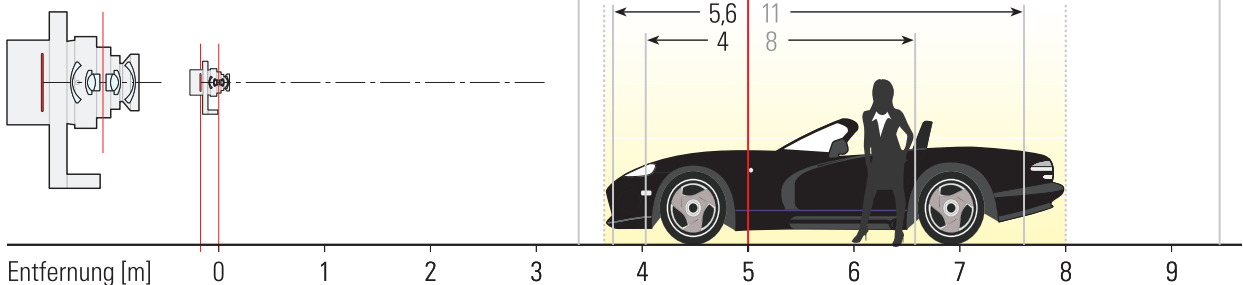
Wenn die Bildebene **B** und die bildseitige Objektiv-Hauptebene **O** (näherungsweise können wir dafür die Blendenlamellenebene betrachten) zueinander parallel sind, sind es auch die scharf abgebildete Ebene **E** sowie die vorn und hinten die Schärfentiefe begrenzenden Ebenen **V** und **H**:



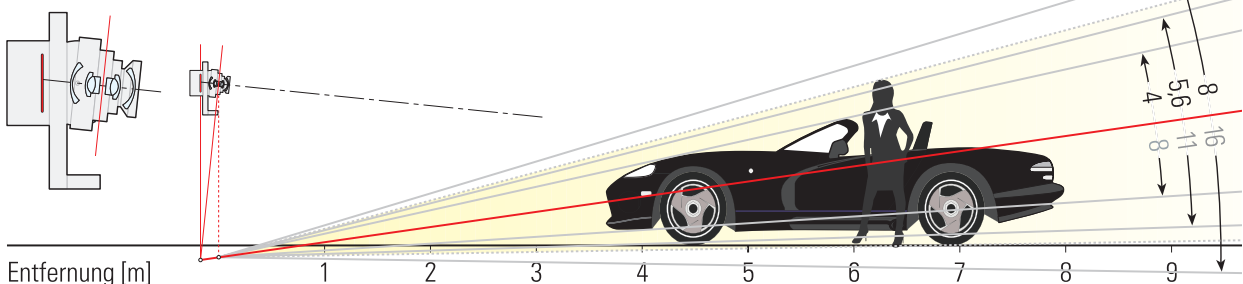
Bei manchen technischen Kameras kann das Objektiv so geschwenkt werden, dass die Objektiv-Hauptebene **O** die Bildebene **B** in der Geraden **S** schneidet (Bild unten). Die scharf abgebildete Ebene **E** verläuft dann schräg ebenfalls durch die Gerade **S**, und die zuvor durch parallele Ebenen begrenzte Schärfentiefe (gelbe Zone) wird keilförmig. Die Keilkante **K** liegt vor **S** dort, wo die ungeschwenkte Objektivenebene die Ebene **E** schneidet. Bei Änderung der Fokussierung dreht sich der Schärfentiefe-Keil um die Keilkante **K**: Fokussieren auf größere Entfernung (Bildebene **B** wird von der roten zur blauen Position verschoben) verkippt den Keil nach unten. Wie die **Scheimpflug-Schwenkung** praktisch durchzuführen ist, erfahren Sie **auf Seite 5 in Absatz 7**.



Blende und Schärfentiefe ($z = \text{Zerstreuungskreis-}\varnothing$) ohne Scheimpflug-Schwenkung



Blende und Schärfentiefe (schmäler Keil, aber bis unendlich!) mit Scheimpflug-Schwenkung



Wie muss scharfgestellt werden, um die optimale Schärfentiefe sicherzustellen?

Ohne Scheimpflug-Schwenkung sind die Bildebene **B** und die Objektivenebene **O** zueinander sowie auch zu der im Bild scharf wiedergegebenen Ebene **E** im Motiv parallel.

Auf welche Ebene **E** zu fokussieren und auf welche Blende abzublenzen ist, um Schärfentiefe über das gesamte scharf abzubildende Motiv zu erhalten, ist zunächst unbekannt. Die populäre Regel, dass die Ebene **E** am Ende des ersten Drittels zwischen der vorderen Grenze **V** und der hinteren Grenze **H** der Schärfentiefe liege, ist leider meistens falsch.

Ein Drittel Schärfentiefe vor und zwei Drittel hinter Ebene **E** gibt es nur, wenn die hintere Grenze **H** genau doppelt so weit entfernt ist wie die vordere Grenze **V**. Andernfalls ergeben sich andere Teilungsverhältnisse von fast 1:1 (bei Makroaufnahmen) bis $1:\infty$ (bei Schärfentiefe bis unendlich)!

Abgesehen von der Ungültigkeit der obigen Regel wäre sie auch selten praktikabel, weil man den Abstand zwischen vorderer Grenze **V** und hinterer Grenze **H** kennen, die Lage der Einstellebene **E** daraus ermitteln und an dieser Stelle auf einen Gegenstand zum Scharfstellen haben müsste.

Das ist die richtige Fokussiermethode: An der vorderen Grenze **V** und an der hinteren Grenze **H** der Schärfentiefe gibt es immer Gegenstände zum Fokussieren (andernfalls wären die Grenzen **V** und **H** nicht genau dort). Es wird nun zunächst einmal auf **V** und einmal auf **H** fokussiert.

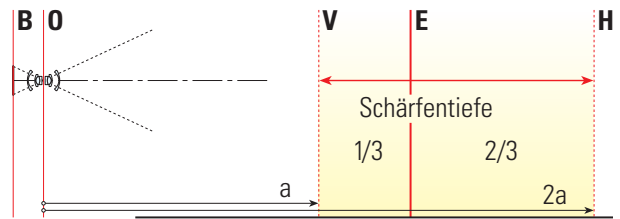
1. Bei Kameras auf optischer Bank und Fokussierung durch Verschieben der Rückteilstandarte lassen sich beide Einstellpositionen markieren oder an einer Skala als Zahlenwerte ablesen und merken, z.B. 37 und 40. Die optimale Scharfeinstellung ist **in der Mitte dazwischen**, in diesem Beispiel mit 37 und 40 also beim Skalenwert 38,5.

2. Bei Kameras mit Fokussierung am Objektiv lassen sich nach dem Fokussieren auf **V** und auf **H** beide Einstellpositionen auf der Entfernungsskala des Objektivs ablesen. Auch hier ist die richtige Einstellposition die **in der Mitte zwischen den beiden Einstellpositionen** (nicht auf den Mittelwert der angegebenen Entfernungswerte!).

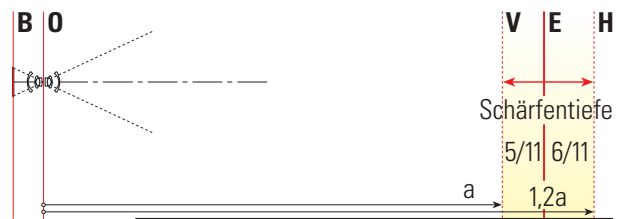
Die richtige Blende ist anhand von Tabellen, mit einer Rechenscheibe oder auf einer Schärfentiefeskala zu finden.

Fokussieren nach einer Scheimpflug-Schwenkung: Die Schärfentiefe hat die Form eines Keils, der beim Fokussieren um die Keilkante **K** kippt (siehe Bild auf S. 3). Zum Scharfstellen auf **V** und auf **H** ist je ein Gegenstandspunkt zu nehmen, der diese Ebenen berührt (im Bild unten auf S. 3 und S. 5 z.B. oben der Kopf und unten ein Schuh der Frau) und anschließend **auf die Mitte dazwischen** einzustellen.

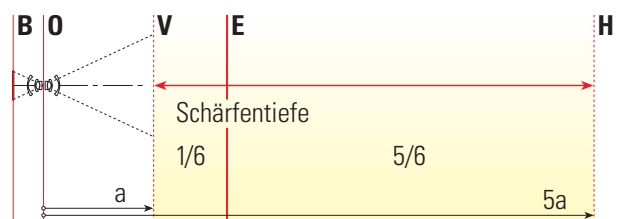
Die richtige Blende kann bei fokussierbaren Objektiven auf deren **Schärfentiefeskala** abgelesen werden (die dort angezeigten Entfernungswerte stimmen jedoch nach der Scheimpflug-Schwenkung nicht mehr und dienen nur als Merkhilfe für die jeweilige Nah- und Fernpunkteinstellung).



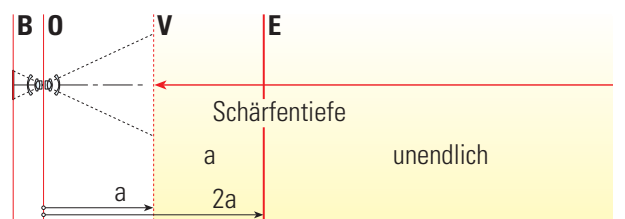
Die Schärfentiefe liegt nur dann zu 1/3 vor und 2/3 hinter der Einstellebene **E**, wenn die hintere Schärfentiefe-Grenze **H** doppelt so weit entfernt ist wie die vordere Grenze **V**.



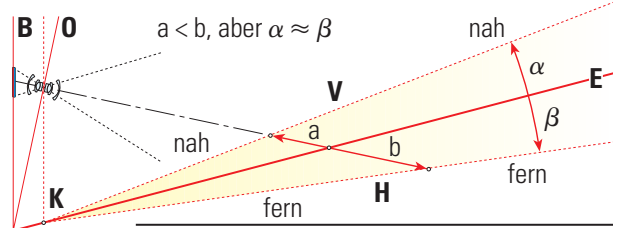
Ist die Schärfentiefe (hier $0,2a$) kleiner als der Abstand a zur vorderen Schärfentiefe-Grenze **V**, dann ist die Schärfentiefe hinter der Einstellebene **E** nur (sehr) wenig größer als davor.



Ist die Schärfentiefe (hier $4a$) größer als der Abstand a zur vorderen Schärfentiefe-Grenze **V**, dann ist die Schärfentiefe hinter der Einstellebene **E** sehr viel größer als davor.



Die Schärfentiefe reicht dann genau bis unendlich, wenn die Einstellebene **E** genau doppelt so weit entfernt ist ($2a$) wie der Abstand a zur vorderen Schärfentiefe-Grenze **V**.



Auch nach einer Scheimpflug-Schwenkung ist die Schärfentiefe a vor der Einstellebene **E** stets kleiner als die Schärfentiefe b hinter der Einstellebene **E**, wobei das Verhältnis $a:b$ ebenfalls variiert. Aber der Schärfentiefe-Keil teilt sich in **zwei annähernd gleich große Winkel** α und β auf.

In welcher Reihenfolge und wie sind die einzelnen Einstellungen vorzunehmen?

Wenn sowohl stürzende Linien zu entzerren sind als auch für „erweiterte“ Schärfentiefe eine Scheimpflug-Schwenkung nötig wird, muss **erst entzerrt und dann geschwenkt** werden. Mit dieser Reihenfolge aller Arbeitsschritte kommt man am schnellsten und sichersten zum besten Ergebnis:

1. Festlegen der optimalen Kameraposition

Wie Ihr Motiv auf dem Bild aussehen wird, welcher Vordergrund welchen Hintergrund verdeckt, wie das Größenverhältnis zwischen Vorder- und Hintergrund ist und viele weitere Aspekte hängen hauptsächlich vom Kamerastandort ab.

2. Gegenstände möglichst in Keilform anordnen

Falls Sie das Motiv selbst gestalten (z. B. Sachaufnahmen), versuchen Sie, alle höheren Gegenstände so anzuordnen, dass sie innerhalb eines gedachten Schärfentiefe-Keils liegen, um eine Scheimpflug-Schwenkung für geringe Abblendung mit minimaler Beugungsunschärfe zu ermöglichen.

3. Aufstellen der Kamera mit senkrechter Bildebene

Wenn „stürzende Linien“ vermieden werden sollen, muß die Bildebene der Kamera parallel zu den senkrechten Kanten des Motivs verlaufen, auch wenn die Aufnahme richtung am Ende schräg nach oben oder unten verlaufen soll.

4. Parallelverschiebung vornehmen

Eine eventuell nötige schräge Aufnahme richtung wird nun durch Parallelverschiebung des Rückteils hergestellt. Wenn die (z. B. SLR-)Kamera nur eine Parallelverschiebung des Objektivs gestattet, kann es bei Nahaufnahmen oder sehr nahem Vordergrund danach nötig sein, die ganze Kamera zur Wiederherstellung der ursprünglichen Objektivposition und Perspektive entsprechend abzusenken oder anzuheben.

5. Falls erwünscht: Restperspektive einstellen

Falls stürzende Linien nicht vollständig entzerrt werden sollen, sondern für natürlichere Wirkung etwas „Restperspektive“ bleiben soll, wird die zunächst für die schräge Aufnahme richtung vorgenommene Parallelverschiebung um ca. 1/4 reduziert und danach die ganze Kamera so weit verkippt, dass sich wieder der gewünschte Bildausschnitt ergibt. Die so entstehende leichte Schräge erzeugt die Restperspektive.

6. Fokussieren und Schärfentiefe ermitteln

Wenn die Kamera keine Scheimpflug-Schwenkung gestattet oder das Motiv keine Scheimpflug-Schwenkung benötigt oder zulässt, muss nun so fokussiert und abgeblendet werden,

dass die Schärfentiefe das gesamte scharf abzubildende Motiv umfasst. Dazu ist je ein Motivdetail als Nahpunkt **N** in der vorderen Ebene **V** und als Fernpunkt **F** in der hinteren Ebene **H** zu definieren, zwischen denen alles scharf sein soll und außerhalb derer Unschärfe zulässig ist.

Auf das Ende des ersten Drittels zwischen Nahpunkt **N** und Fernpunkt **F** zu fokussieren, ist falsch. Richtig ist, nacheinander auf beide zu fokussieren und dann auf die Mitte zwischen beiden Einstellpositionen einzustellen. Die erforderliche Blende wird aus der Einstelldifferenz (zwischen den Einstellpositionen für **N** und **F**) anhand einer Tabelle oder Rechenscheibe ermittelt bzw. bei Kameras mit Scharfstellung am Objektiv an der Schärfentiefeskala abgelesen.

7. Scheimpflug-Schwenkung ausführen

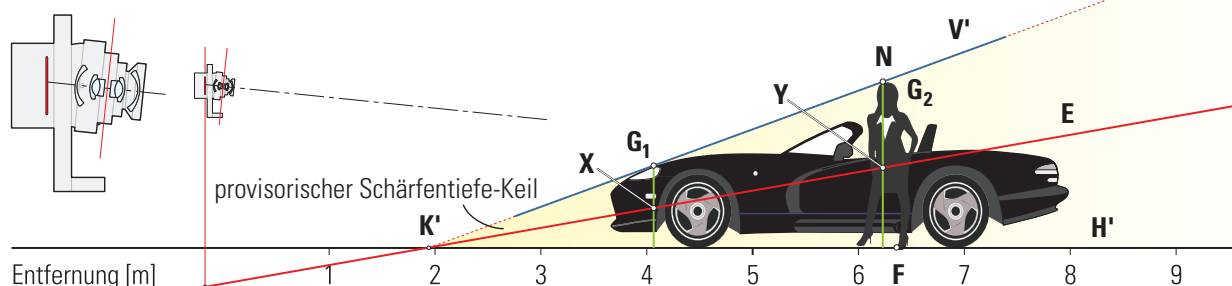
Wenn die räumliche Tiefe des scharf abzubildenden Motivs deutlich größer ist als seine Höhe und Sie sich einen das gesamte Motiv umfassenden Schärfentiefe-Keil vorstellen können, nutzen Sie die Scheimpflug-Schwenkung. Denken Sie sich dazu (wie im Bild unten) eine locker auf dem scharf abzubildenden Motiv liegende Ebene **V'**. Sie berührt je einen „höchsten“ näher und weiter entfernten Gegenstand **G₁** bzw. **G₂**. Verlängern Sie die Ebene **V'** bis zur Schnittgeraden **K'** mit dem Untergrund **H'**. Die Ebene **V'** und **H'** (Untergrund) bilden nun unseren **provisorischen Schärfentiefe-Keil**.

Die Winkelhalbierende dieses Keils gibt an, wie die Scharfstellenebene **E** verlaufen soll. Da Sie nicht wissen, um welchen Winkel das Objektiv dafür zu schwenken ist, schwenken Sie es einfach um einen kleinen geschätzten Winkel, z. B. um 2°. **Fokussieren Sie** nun auf das in der Ebene **E** liegende Detail **X** vorn im Motiv **auf halber Höhe von G₁**. **Prüfen Sie dann, wo G₂ am schärfsten ist:** Ist das auch dort auf halber Höhe **Y**, sind sie mit dem Schwenken fertig. Liegt die beste Schärfe höher, vergrößern Sie den Schwenkwinkel, z. B. auf 3°. Liegt sie tiefer, reduzieren Sie ihn, z. B. auf 1,5° oder 1°. Fokussieren Sie neu auf **X** und prüfen Sie wieder die Schärfe bei **G₂**. Wiederholen Sie das so oft, bis Sie bei **G₁** und **G₂** die beste Schärfe jeweils auf halber Höhe erhalten.

8. Abschließendes Fokussieren nach dem Schwenken

Sie stellen so scharf wie unter Absatz 6 beschrieben, nur dass der Nahpunkt **N** der höchste Punkt von **G₂** in der Ebene **V'** und der Fernpunkt **F** ein Punkt unten in der Ebene **H'** ist. Beachten Sie dabei die Hinweise links unten auf S. 4.

Vorgehensweise bei der Scheimpflug-Schwenkung für geringe Abblendung und große Schärfentiefe



Parallelverschiebung und Scheimpflug-Schwenkung bei technischen Kameras

Eine technische Kamera, mit der stürzende Linien entzerrt werden können und sich die Schärfentiefe mit Scheimpflug-Schwenkung an die Motivausdehnung anpassen lässt, muss Einrichtungen zum Parallelverschieben bzw. Schwenken entweder des Rückteils oder des Objektivs oder beider bieten. Welche konstruktive Lösung ist für die Praxis die beste?

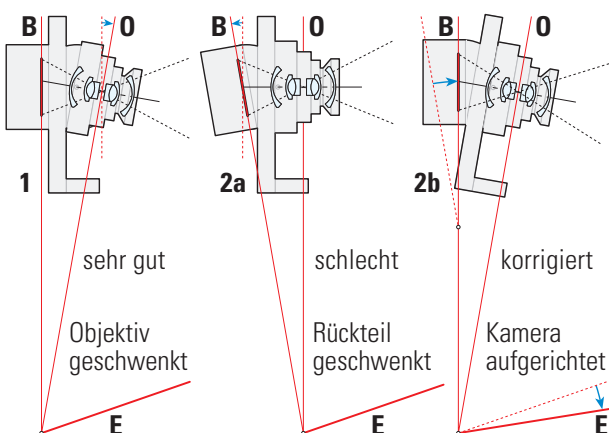
Die Parallelverschiebung soll den Bildausschnitt quer zur Aufnahme­richtung so verschieben, dass sich ohne Verkip­pung der Bildebene eine schräge Aufnahme­richtung ergibt. Prinzipiell ist das mit dem Rückteil oder Objektiv möglich. Um dabei die Bildschärfe nicht zu verändern, muß man das Rückteil bzw. Objektiv parallel zur Bildebene verschieben.

Die Rückteilverschiebung ist besser, weil sich die Position des Objektivs nicht ändert, also im Nahbereich kein vertikaler Versatz zwischen Vorder- und Hintergrund entsteht, der eventuell eine nachträgliche Höhenänderung der Kamera (durch Säulenverschiebung am Stativ) erfordert.

Die Scheimpflug-Schwenkung durch eine Verkip­pung der Objektiv­ebene **O** zur Bildebene **B** (im Rückteil) oder umgekehrt soll die sonst durch zwei parallele Ebenen begrenzte Schärfentiefe in eine an die Form und Ausdehnung des Motivs besser anpassbare schräge Keilform bringen.

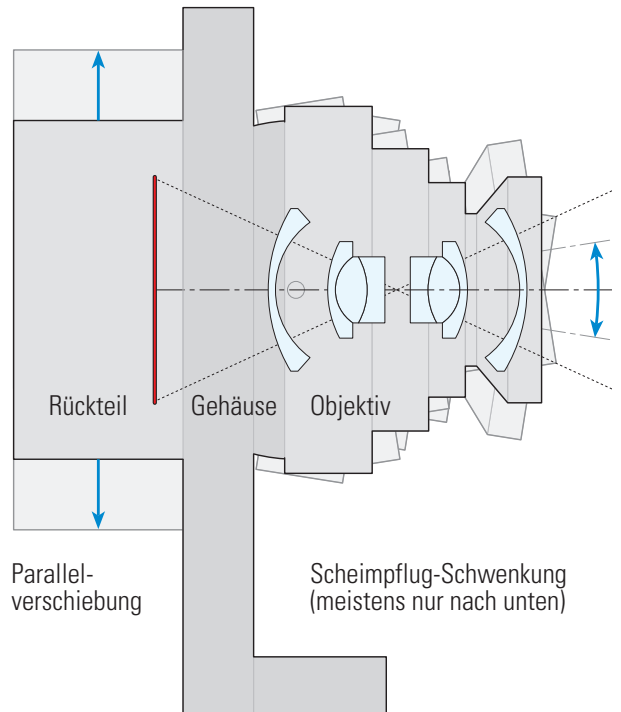
Die Objektivschwenkung ist besser, weil die zur Entzerrung stürzender Linien senkrecht (oder für Restperspektive fast senkrecht) ausgerichtete Bildebene unverändert bleibt. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei einer nachträglichen, also nach der Objektivschwenkung erfolgenden Ausschnittkorrektur durch weitere Parallelverschiebung die Bildschärfe sich nicht ändert, weil das Bild in derselben Ebene bleibt.

Falls das Rückteil geschwenkt werden muss, weil die Kamera aus konstruktiven Gründen die Objektivschwenkung nicht zulässt, gerät die anfangs zur Vermeidung stürzender Linien senkrecht (für Restperspektive fast senkrecht) ausgerichtete Bildebene in Schräglage: Es würden wieder stürzende Linien auftreten, bei Aufnahmen schräg nach unten sogar in falscher Richtung! Daher muss nach der Rückteilschwenkung die Kamera mit dem Neiger so verkippt werden, dass die Bildebene wieder senkrecht (oder fast senkrecht) steht.



Allerdings lässt die Verkip­pung der Kamera die zuvor bei der Schwenkung des Rückteils an das Motiv angepasste Ebene **E** um denselben Winkel kippen. Erst Nachfokussieren auf kürzere Entfernung (größerer Abstand zwischen Bildebene und Objektiv, siehe zweites Bild auf S. 3) lässt die Ebene **E** wieder in die Ausgangslage (punktiert) zurückschwenken.

Rückteilverschiebung und Objektivschwenkung sind deshalb grundsätzlich die besten Voraussetzungen für ein **einfaches, schnelles Arbeiten ohne Nachkorrigieren** von Bildausschnitt, Bildschärfe und Kameraposition. Das Prinzip einer guten technischen Kamera sieht dann so aus:



Eine weitere Lösung wäre die **Parallelverschiebung und Schwenkmöglichkeit vorn am Objektiv** (wie bei SLR-Kamera-Shiftobjektiven). In diesem Fall sollte die Parallelverschiebung kameraseitig und die Schwenkmöglichkeit davor angeordnet sein, weil nur dann eine nach der Objektivschwenkung zur Bildausschnittkorrektur erfolgende weitere Parallelverschiebung die Bildschärfe nicht verändert.

Falls der Schwenkbereich des Objektivs aus Platzmangel **eng begrenzt ist**, z. B. auf 4°, ließe sich bei Bedarf ein keilförmiges **Zwischenstück mit Keilwinkel** (so groß wie der maximale Schwenkwinkel) zwischen Kameragehäuse und Objektiv oder zwischen Kameragehäuse und Rückteil einfügen, das den **Schwenkbereich verdoppelt**. Wenn es nur zwischen Gehäuse und Rückteil eingesetzt werden kann, ist die Kamera zur Vermeidung stürzender Linien damit vor allen anderen Kameraverstellungen so auszurichten, dass die Bildebene senkrecht steht. Allerdings wird sich dann (wie bereits für die Rückteilschwenkung beschrieben) bei einer eventuell nachträglich erforderlichen Parallelverschiebung die Schärfe ändern und Nachfokussieren nötig. ■

