

## ■ Rundherum statt nur frontal

360°-Kameras arbeiten mit mehreren Objektiven und zeigen das gesamte Umfeld einer Kamera. Die spezielle Art der Fotografie gibt es nun auch für den kleinen Geldbeutel.

Quasi jedes Smartphone ermöglicht Panoramaaufnahmen: die entsprechende Funktion aufrufen, sich einmal mit ruhiger Hand um die eigene Achse drehen, die automatische Bildverarbeitung werkeln lassen – fertig! Doch während solche Aufnahmen nur aus einem schmalen, langen Streifen bestehen, also einen relativ geringen Winkel in der Höhe abdecken, gibt es inzwischen auch Kameras, die ihr Umfeld gleichzeitig in alle Richtungen (omnidirektional) ablichten. Kurzfristige Berühmtheit erlangten sie auf dem jüngsten Bundesparteitag der CDU in Essen, als Bundeskanzlerin Angela Merkel sich vor den wartenden Journalisten für „den Apparat“ interessierte, der da in einigen Metern Entfernung neben ihr stand: Er entpuppte sich als die CDU-eigene 360°-Kamera.

Günstige Modelle gibt es bereits für wenige hundert Euro zu kaufen. Sie verfügen über zwei extreme Weitwinkelobjektive, die im Gehäuse in entgegengesetzte Richtungen zeigen (Abb. 1, links). Umgerechnet auf das Kleinbildformat besitzen diese Objektive typischerweise eine Brennweite von 8 mm mit einer festen Blende von 2. Üblicherweise besteht das Objektiv aus sieben Einzellinsen in unterschiedlichen Anordnungen. Zum Vergleich: Ein typisches Weitwinkelobjektiv mit 20 mm Brennweite und einer Blende von 2,8 hat elf Einzellinsen.

Bei der 360°-Kamera erfasst jedes Objektiv ein Blickfeld von etwas mehr als 180°, sodass zwei aufgenommene Bilder an den Rändern



Bildet man die Kugel einer 360°-Ansicht so in die Ebene ab, dass einer der Pole im Mittelpunkt des Bildes liegt (Himmel),

entstehen extrem verzerrte Ansichten, weil sich der zweite Pol (Meeressoberfläche) auf den Rand des Bildes verteilt.

überlappen. Das ist notwendig, um mittels Stitching aus den beiden Einzelaufnahmen ein 360°-Panorama zu erzeugen. Bei der Bildverarbeitung müssen dazu die beiden Aufnahmen an den Rändern möglichst gut übereinstimmen. Effekte wie Verzeichnung, Randlichtabfall und Vignettierung, die bei jedem optischen System auftreten, sowie Parallaxe erschweren dies.

Die Verzeichnung ist ein geometrischer Abbildungsfehler. Sie entsteht, weil die endliche Ausdehnung von Blenden und Linsen verhindern kann, dass das abzubildende Strahlenbündel vollständig

auf die Bildebene trifft. Merkmal einer Verzeichnung ist ein nicht konstanter Abbildungsmaßstab. Bei extremen Weitwinkelobjektiven wie in der 360°-Kamera wird der Abbildungsmaßstab zum Bildrand hin kleiner, sodass es zu einer tonnenförmigen Verzeichnung kommt.

Die Helligkeit eines Bildes nimmt zum Rand hin wegen Randlichtabfall und Vignettierung ab: Randlichtabfall entsteht, weil bei der Abbildung die meisten Oberflächenelemente des Objekts nicht auf der optischen Achse liegen. Dadurch ist jedes Oberflächenelement perspektivisch verkürzt. Zudem verkleinert sich der Lichtkegel, der von ihm ausgeht und auf das Bild trifft. Beides führt dazu, dass umso weniger Licht in die Randbereiche der Bildebene gelangt, je kürzer die Objektivbrennweite ist. Die Vignettierung bewirkt eine zusätzliche Abschattung an den Rändern. Ähnlich wie bei einem beleuchteten Gegenstand Kern- und Halbschatten entstehen, tritt Vignettierung auf, weil einfallendes Licht nicht



Abb. 1 Die günstigsten 360°-Kameras arbeiten mit zwei Objektiven (links). Für Profis gibt es auch Modelle mit sechs (Mitte) oder gar 36 Objektiven (rechts).

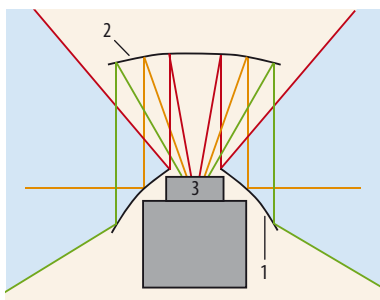
oder nicht mehr vollständig auf die Bildebene trifft, wenn ein Objektpunkt einen zu großen Abstand von der optischen Achse hat.

Verzeichnung, Randlichtabfall und Vignettierung lassen sich rechnerisch korrigieren, wenn vom Objektiv ein Abbildungsmodell existiert. Viele Bildverarbeitungsprogramme bieten diese Funktion für Wechselobjektive von Spiegelreflexkameras an. Bei einer 360°-Kamera leistet eine separate Software oder ein Cloud-Server die entsprechende Korrektur.

Um die Bilder der beiden Objektive aneinanderzusetzen, muss auch die Parallaxe korrigiert werden. Sie entsteht durch den räumlichen Abstand der beiden Objektive: Die relative Position eines Gegenstands im Vordergrund zum Bildhintergrund unterscheidet sich. Was unser Gehirn zum dreidimensionalen Sehen ausnutzt, stört beim Stitching und erzeugt Artefakte, weil der Bildanschluss nicht eindeutig ist.

Die Korrektur der drei störenden Effekte führt dazu, dass die Pixelzahl eines 360°-Panoramas geringer ausfällt, als die Summe der Pixel aus beiden Einzelbildern erwarten lässt. Bei einem 360°-Video sinkt die erreichbare Auflösung weiter, weil die Informationen mit hoher Bildrate aus den Pixeln auszulesen sind. Diese Situation ist von konventionellen Digitalkameras bekannt, bei denen statische Aufnahmen ebenfalls höhere Pixelzahlen besitzen als bewegte Bilder.

Einige 360°-Kameras verfügen über Beschleunigungs- und Lage Sensoren, um ihre Orientierung im Raum zu erkennen. Das erleichtert



**Abb. 2** Ein erhabener Spiegel (1) und ein Hohlspiegel (2) lenken bei einer katadioptrischen Kamera das Licht so in das Kameraobjektiv (3), dass ein großes Gesichtsfeld (hellblau) aufgenommen wird.

die Bildverarbeitung, wenn die Kamera in allen Freiheitsgraden bewegt wird wie bei einem Fallschirmsprung oder einem Salto. Für das 360°-Panorama ist die Sensorik nicht zwingend erforderlich, weil Standort und Orientierung der Kamera auch in den Bildinformationen enthalten sind.

### Mehr Objektive – bessere Bilder?

Um die Auswirkung der Parallaxe zu mindern und mehr Licht für das 360°-Panorama aufzunehmen, gibt es omnidirektionale Kameras mit mehr als zwei Objektiven (**Abb. 1**, Mitte und links). Für diese Kameras, deren technische Ausführung und Bedienung sich deutlich voneinander unterscheiden, zählt man vierstellige Beträge. Die einzelnen Objektive sind symmetrisch so angeordnet, dass der Überlapp ihrer Aufnahmen größer ausfällt als bei zwei Objektiven. So gibt es weniger Bildartefakte, aber der Rechenaufwand beim Stitching steigt. Abhängig vom Aufnahmeszenario gibt es für die beste Bildqualität eine optimale Anzahl von Objektiven – mehr ist nicht automatisch besser!

Grundsätzlich lassen sich omnidirektionale Kameras auch als katadioptrische Systeme ausführen, also als Kombination aus Spiegeln und Linsen (**Abb. 2**). Im Beispiel befindet sich ein Hohlspiegel über einer nach oben gerichteten Kamera. Ein zweiter, erhabener Spiegel umgibt die Kamera. Das Licht aus der Umgebung fällt zunächst auf den erhabenen Spiegel, der es zum Hohlspiegel reflektiert. Von dort fällt es ins Kameraobjektiv. Eine solche Konstruktion ist viel größer als eine 360°-Kamera aus reinen Linsensystemen, sodass katadioptrische Systeme für Normalnutzer keine Rolle spielen. Weil sie große Bereiche der Umgebung ohne aufwändige Bildkonstruktion schnell erfassen können, sind sie aber interessant für die mobile Robotik oder für Überwachungskameras.

\*

Ich danke Dietmar Wüller von der Image Engineering GmbH & Co. KG, Frechen, für hilfreiche Erläuterungen.

**Michael Vogel**