

■ Erst auslösen, dann scharfstellen

Mit plenoptischen Kameras lassen sich Aufnahmen nachträglich fokussieren. Die erzielbare Auflösung beschränkt die Technologie bislang jedoch auf Nischen.

+) Zerstreungskreise entstehen, wenn ein Punkt vor oder hinter die Filmebene projiziert oder durch Beugung unscharf als Beugungsscheibchen abgebildet wird.

Jeder Hobbyfotograf kennt das Problem, und auch die Profis sind nicht davor gefeit: Motiv und Lichtverhältnisse sind perfekt, aber die Schärfentiefe erweist sich im resultierenden Bild als nicht optimal. Im Nachhinein lässt sich daran nichts mehr ändern, wenn die Aufnahme mit einer klassischen Digitalkamera entstanden ist, denn Objektivbrennweite, Blendenzahl (das Öffnungsverhältnis), Gegenstandsweite und die gewünschte laterale Auflösung – die Größe der Zerstreungskreise^{+) – legen fest, welchen Schärfentiefebereich ein Bild später aufweist. Bei weit geöffneter Blende hat das Bild nur eine geringe Schärfentiefe, bei kleiner Blende dagegen eine große. Für plenoptische Kameras dagegen gilt dies nicht. Aufnahmen, die man mit ihnen macht, lassen sich auch nachträglich in der Schärfentiefe verändern.}

Plenoptische Kameras, auch Lichtfeldkameras genannt, gehen auf Überlegungen des in Luxemburg geborenen Physikers Gabriel Lippmann zurück, der das Prinzip 1908 in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung vorstellte: Während eine gewöhnliche Kamera von einem Gegenstand lediglich ein zweidimensionales Bild aufnimmt, erfasst eine plenoptische Kamera nicht nur die laterale Position eines einfallenden Lichtstrahls, sondern auch die Strahlrichtung, die sich durch zwei Winkel beschreiben lässt. „Kennt“ die Kamera die Ein-



Bei einer klassischen Kamera-Objektiv-Kombination bestimmt die Blende die Schärfentiefe. So lassen sich zum Beispiel Vorder- oder Hintergrund betonen. Während mit einer klassischen Kamera



dafür mindestens zwei Aufnahmen erforderlich sind, genügt mit einer Lichtfeldkamera eine einzige Aufnahme. Die Schärfentiefe lässt sich nachträglich im Bild festlegen.

fallsrichtung eines jeden Strahls, lassen sich daraus in Verbindung mit der zweidimensionalen Abbildung auf der Sensorfläche räumliche Bilddaten rekonstruieren. Die Tiefeninformationen erlaubt es unter anderem, nachträglich per Rechner die Schärfentiefe eines Bildes zu verändern.

Mit Mikrolinsen räumlich sehen

Wie eine gewöhnliche Kamera besitzt auch eine Lichtfeldkamera Bildsensor und Objektiv. Nahe vor dem Bildsensor sitzt allerdings zusätzlich ein Mikrolinsen-Array. Die Brennebene des Objektivs liegt in dieser Anordnung hinter Sensor und Mikrolinsen-Array, und erst die Mikrolinsen fokussieren die einfallenden Lichtstrahlen auf den Bildsensor. Das Öffnungsverhältnis des Objektivs muss dabei so an das Öffnungsverhältnis der Mikrolinsen angepasst sein, dass einerseits die Mikrobilder auf der Sensorfläche nicht überlappen, aber andererseits auch keine Lücken zwischen benachbarten Mikrobildern entstehen. Sonst ergibt sich kein zusammenhängendes Bild.

Aus den räumlichen Tiefenschärfeinformationen der Lichtfeldkamera lässt sich dann ein Bild mit größerer Schärfentiefe rekonstruieren: Ein Algorithmus sucht dazu im Datenmodell in jeder Ebene senkrecht zur z-Achse die optimalen Pixel aus – also die Pixel mit den kleinsten Zerstreungskreisen – und setzt sie zu einem Bild

zusammen. Begrenzt wird die so erreichbare Schärfentiefe letztlich durch die Brennweite des Objektivs. Natürlich kann der Fotograf diese Funktion auch so nutzen, dass er den Schärfentiefebereich vom Vorder- in den Hintergrund des Bildes legt – der kreativen Nachbearbeitung sind also kaum Grenzen gesetzt. Von diesem „nachträglichen Scharfstellen“ profitiert der Fotograf indirekt auch bei Aufnahmen unter schlechten Lichtverhältnissen: Da die Schärfentiefe nicht so groß sein muss, kann die Blende weiter offen bleiben und die Kamera dadurch bei derselben Belichtungszeit mehr Licht sammeln.

Freilich gilt auch bei einer plenoptischen Kamera: wo Licht ist, ist auch Schatten. Ein Nachteil, den sich der Nutzer mit der Technologie einhandelt, ist die deutlich geringere Auflösung. Jede Mikrolinse verteilt das Licht eines Bildpunktes, der bei einer gewöhnlichen Kamera durch genau ein Pixel auf der Sensorfläche repräsentiert wird, auf mehrere Pixel. Die betroffenen Pixel liegen in einem kreisförmigen Bereich. Trifft ein Lichtstrahl senkrecht auf die Mikrolinse, so landet er in der Bildebene im Mittelpunkt dieses Kreises. Fällt ein Lichtstrahl dagegen schräg auf die Linse, so trifft er näher am Rand des Kreises auf. Hieraus lässt sich die Einfallrichtung rekonstruieren. Die effektive Auflösung eines Sensors sinkt dadurch jedoch. Um wie viel, lässt sich nicht pauschal sagen, denn

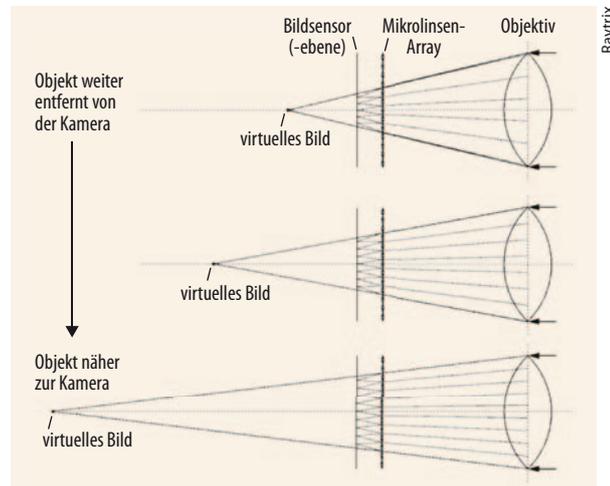


Die derzeit einzige Consumerkamera für die Lichtfeldfotografie erreicht eine Bildauflösung von 1080 mal 1080 Pixel. Sie hat eine feste Blende von 2 und ein optisches Zoomobjektiv mit der Kleinbild-Äquivalentbrennweite von 43 bis 344 mm. Das Ganze ist nicht billig – das günstigste Modell der Kamera kostet 480 Euro.

neben der Zahl der Mikrolinsen spielt hierbei auch das Verhältnis zwischen deren Brennweite und Durchmesser eine Rolle. Für einen konkreten Bildsensor müssen die Kameraentwickler zudem immer einen Kompromiss zwischen lateraler Auflösung und Winkelaufklärung eingehen: Muss die Winkelaufklärung des Arrays groß sein, so dass die plenoptische Kamera ein großes Gesichtsfeld erreicht, dann benötigt jeder Bildpunkt mehr Pixel in der Sensorebene – was zu Lasten der lateralen Auflösung geht. Kann die Winkelaufklärung des Mikrolinsen-Arrays für eine Anwendung kleiner ausfallen, wird eine größere laterale Auflösung möglich. Derzeit kommerziell erhältliche Lichtfeldkameras erreichen aufgrund dieser Limitierungen Auflösungen in der Größenordnung von ein bis sieben Megapixel.

Bewegliche Objekte aufnehmen

Angesichts der technisch-physikalischen Grenzen ist es unwahrscheinlich, dass Lichtfeldkameras klassische Digitalkameras rasch verdrängen werden. Zumal heutige plenoptische Consumerkameras auch vergleichsweise teuer sind. Vielmehr dürften sie zunächst in Anwendungsnischen eine Rolle spielen, etwa in der Forschung oder der industriellen Bildverarbeitung. So kommen Lichtfeldkameras zum Beispiel bereits bei der mikrosko-



pischen Aufnahme beweglicher Objekte zum Einsatz: Während solcher Videoaufnahmen muss das Mikroskop nicht mehr regelmäßig nachfokussiert werden, wenn die Objekte aus der Bildebene wandern – aufgrund der Tiefenschärfe der Lichtfeldkamera lassen sie sich ja nachträglich refokussieren. In der industriellen Bildverarbeitung wiederum kann die Qualitätssicherung bei komplexen Bauteilen von Lichtfeldkameras profitieren, weil sich aus der Tiefenschärfeformation einer einzigen Aufnahme ohne zusätzlichen Justieraufwand auch 3D-Bilder rekonstruieren lassen.

Mit einer Form der Lichtfeldkamera könnte jedoch auch die Masse der Verbraucher schneller in Berührung kommen, als derzeit mancher erwarten mag. Bereits seit einigen Jahren interessieren sich

nämlich die Hersteller von Smartphones für das plenoptische Prinzip – und investieren auch in diese Technologie über Risikokapital und Beteiligungen. So gibt es bereits Konzepte, mit denen sich die Bauhöhe einer integrierten Smartphone-Kamera dank einer plenoptischen Kamera weiter verringern ließe. Statt einer Linse mit einer verhältnismäßig großen Apertur kommt dabei ein Linsen-Array mit kleineren Aperturen zum Einsatz. Da dann bei gleicher Öffnungszahl auch eine geringere Brennweite genügt, schrumpft insgesamt die Bauhöhe – und die Funktion zum nachträglichen Fokussieren der Bilder bekommt man gleich noch automatisch mitgeliefert.

Michael Vogel

Ein moderner Klassiker!

 WILEY-VCH



WERNER BUCKEL und REINHOLD KLEINER

Supraleitung

Grundlagen und Anwendungen • 7., aktualis. u. erw. Aufl.

ISBN: 978-3-527-41139-9 November 2012

512 S. mit 265 Abb. und 17 Tab. Broschur

€ 69,-

Grundlegende Konzepte und Eigenschaften von Supraleitern, die Herstellung und Entwicklung von neuen supraleitenden Materialien sowie moderne Anwendungsbereiche sind die Schwerpunktthemen dieses Buches.

Das größte Potential zur Nutzung der Supraleitung liegt in der Energietechnik. Durch seine klare Sprache und zahlreiche erläuternde Abbildungen eignet sich der Band hervorragend als einführendes Lehrbuch.

Besuchen Sie uns unter
www.wiley-vch.de

Wiley-VCH • Postfach 10 11 61 • D-69451 Weinheim
Tel. +49 (0) 62 01-60 64 00 • Fax +49 (0) 62 01-60 61 84 • E-mail: service@wiley-vch.de
Irrtum und Preisänderungen vorbehalten. Stand der Daten: November 2012