

Farben des Grand Canyons

Drei Beispiele zum Thema Licht und Farben in der Natur: Fotos des Grand Canyons, aufgenommen zu verschiedenen Tageszeiten. Wenn von Licht und Farbe in der Natur die Rede ist, sollte der Hinweis auf *M. Minnaerts* Buch *Light and Color in the Outdoors*¹ nicht fehlen. Das Buch ist ein Klassiker. Thema ist alles, was sich an optischen Erscheinungen unter freiem Himmel abspielt. Hier ein Versuch, die Bilder im Sinne dieses außergewöhnlichen Physikbuchs zu erläutern.



Grand Canyon. links: morgens, rechts: mittags, Mitte: abends

Beim Foto *links* steht die Sonne trotz der frühen Tageszeit schon recht hoch am Himmel. Der ist, jedenfalls im oberen Bereich, erwartungsgemäß blau. Der leichte türkis-Einschlag könnte durch die spektrale Empfindlichkeit des verwendeten (Dia-)Films bedingt sein. Das Himmelsblau kommt zustande durch die Rayleigh-Streuung des Sonnenlichts an den Molekülen der Luft. Rayleigh-Streuung setzt voraus, dass die Streuzentren kleiner sind als etwa $1/10$ der Wellenlänge des Lichts. Das ist bei Luftmolekülen der Fall. Die Wahrscheinlichkeit für die Streuung an derart kleinen Partikeln geht mit der vierten Potenz der Frequenz. Daher ist im gestreuten Licht der Anteil des Sonnenspektrums mit den hohen Frequenzen, das ist der blaue Anteil, stark vertreten.

Weiter unten ist der Himmel aufgehellt, in der Nähe des Horizonts sogar weiß. Auch dafür ist die Rayleigh-Streuung verantwortlich: Betrachte einen Sehstrahl, der von einem Punkt des Himmels in der Nähe des Horizonts auf das Auge zu läuft. Licht, das weitab vom Auge in den Sehstrahl gestreut worden ist, wird mit großer Wahrscheinlichkeit weiterhin gestreut, ein oder mehrere Male – und verliert dabei jedes Mal einen Anteil an blauer Farbe. Es wird roter. Licht, das näher am Auge in den Sehstrahl gerät, wird weniger stark gestreut und bleibt daher blau. Addiert man alle Lichtanteile, die längs des Sehstrahls erzeugt werden, hebt sich das Rot des aus der Ferne kommenden Lichts gegen das Blau des näher am Auges entstehenden auf. Das ergibt weißes Licht.

Die Farben der Felswände sind erstaunlich gesättigt. Das liegt nicht nur daran, dass die Sonne im Rücken des Beobachters steht (Frontalbeleuchtung). Die Luft ist klar, sie scheint wenig Schwebeteilchen (Aerosole) zu enthalten – vielleicht hatte es in der Nacht zuvor geregnet.

Aerosole sind wesentlich größer als Luftmoleküle und streuen wegen ihrer Größe das Licht unabhängig von der Wellenlänge (*Mie*-Streuung). Sind sie in größerer Zahl vorhanden, wird von der Seite her Licht in den Sehstrahl hinein gestreut, das viele unterschiedliche Farben enthält. In der Summe ergeben sie weiß oder grau und erzeugen den bekannten Dunstschleier, der sich über eine

Landschaft legt und beim Fotografieren stört. Schweben sehr viele Wassertröpfchen in der Luft, geht der Dunst in Nebel über.

Es sind also kaum Aerosole in der Luft, nur die Luftmoleküle selber. Die sind, wie oben erwähnt, Rayleigh-Streuer. Sie bringen, wiederum von der Seite her, vor allem blaues Licht in unser Auge (unsere Kamera) hinein. Der Effekt ist unter dem Name *Luftperspektive* bekannt: Weiter entfernte Landschaftsteile treten im Bild zurück, weil sie zunehmend bläulicher erscheinen. Das ist hier aber nur andeutungsweise der Fall.

Das Foto *rechts* wurde um die Mittagszeit aufgenommen. Die Luft ist extrem klar und das Sonnenlicht fällt seitlich von rechts oben ein. Das gesamte Bild ist in ein fast unnatürliches Violett getaucht – Rayleigh-Streuung „life“ so zu sagen. Dass es so intensiv ausfällt, könnte wiederum auf die spektrale Empfindlichkeit des Films zurückzuführen sein. Der Himmel in Horizontnähe ist, wie auch auf dem Foto links, aufgehellt.

Im *mittleren* Foto (abends) steht die Sonne tief in der Nähe des Horizonts und beleuchtet die Canyonwände seitlich von links. Ihr Licht hat die Atmosphäre auf einer langen Wegstrecke durchquert und deshalb schon auf dem „Hinweg“ viel von seinem blauen Anteil verloren. Das von den Felsen zurückgeworfene Licht, das in die Kamera gelangt, ist deshalb von einem gesättigten orange-roten Farbton. Selbst die Wolken am Horizont, die tagsüber in reinem Weiß erstrahlen würden, haben einen gelblichen Schimmer. Zur Abendstimmung gehört auch, dass der Horizont nicht aufgehellt ist, sondern beige-grau erscheint. Die Streuung an den verhältnismäßig großen Aerosolteilchen spaltet das Licht nicht in seine Spektralfarben auf, sondern reflektiert es einfach. Ein Hauch von Luftperspektive wird in den Schattenzonen des Fotos erkennbar: Das dunkle Grau der Schatten hat einen deutlich blau-violetten Einschlag. Der Gegensatz zum Orange-Rot der Felswände macht den ästhetischen Reiz des Bildes aus.

¹ *Marcel G.J. Minnaert: Light and Color in the Outdoors, Springer-Verlag New York, 1993 (5. Auflage)*