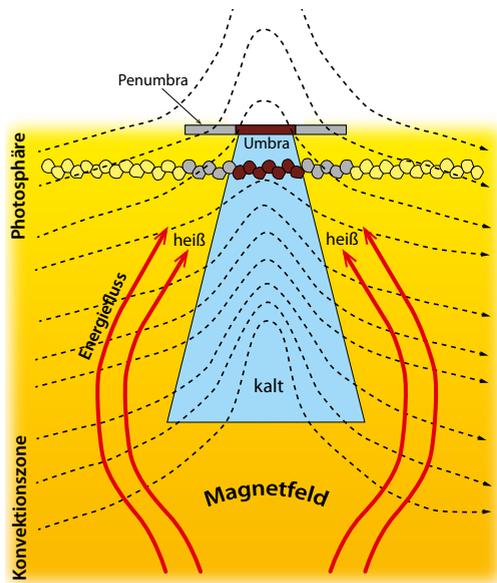


Außerhalb des Kegels fließt heißere Materie und damit die Energie, angetrieben durch den magnetischen Auftrieb und die Supergranulation, entlang des Kegelmantels nach oben. Es bildet sich um die Pore eine rudimentäre Penumbra. Gleichzeitig treten die Magnetfeldlinien aus der Oberfläche heraus (→ Abbildung 22.7).

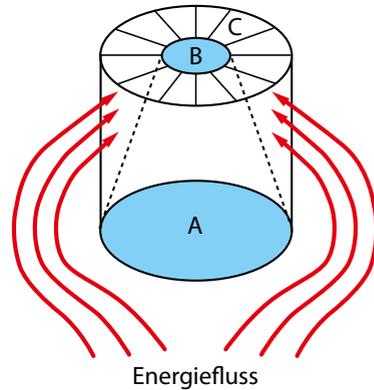
Im weiteren Verlauf wird die Konvektion in der Tiefe gehemmt und damit auch der Energiefluss in den Kegel, der weiterhin kälter bleibt als die Umgebung. Die Energie muss weiterhin außen am Kegel vorbei fließen. Da die Spitze des Kegels bereits außerhalb der Photosphäre liegt, bleibt innerhalb der Sonne nur ein *Kegelstumpf* übrig. Der Sonnenfleck mit Umbra und Penumbra bildet sich vollständig aus (→ Abbildung 22.8).



**Abbildung 22.8** Im Endstadium haben sich Umbra und Penumbra gebildet. Die Magnetfeldlinien ragen fast senkrecht aus der aktiven Region heraus. Es kann (muss aber nicht) zu Flares und Eruptionen kommen.

**Zusammenfassung** | Ein sich in der Tiefe (15 000 – 25 000 km) bildendes Magnetfeld verhindert den konvektiven Energietransport

in dem darüber liegenden Zylinder (AB). Dadurch beträgt die Temperatur nach Modellrechnungen in einer Tiefe von 5000 km im Kegel nur  $\approx 14\,000\text{ K}$  im Gegensatz zur Umgebung mit  $\approx 34\,000\text{ K}$ . Die Energie umfließt diesen Zylinder und verengt ihn nach oben hin, sodass ein Kegelstumpf (AC) entsteht.



**Abbildung 22.9** Kegelstumpfmodell zur Erklärung des Aufbaus eines Sonnenflecks.

**Energiedefizit** | Damit die Energiebilanz wieder stimmt, muss die dem Kegel entzogene Energie anderweitig ›verbraucht‹ werden. Die in der Nähe solcher Flecken befindlichen heißeren Fackeln strahlen 1–2 Größenordnungen zu wenig ab. Auch der deutlich effektivere Evershed-Effekt reicht nicht gänzlich aus. Die Wissenschaftler haben noch Forschungsbedarf.

### Evershed-Effekt

Als Evershed-Effekt bezeichnet man die auswärts gerichtete Gasströmung innerhalb der Penumbra eines Sonnenflecks (engl. *Evershed stream*).

Die Geschwindigkeit nimmt von 1 km/s an der Innengrenze zur Umbra auf 2 km/s in der Mitte der Penumbra zu. Danach nimmt die Geschwindigkeit der Strömung wieder ab und verschwindet an der Außengrenze zur ungestörten Photosphäre (= 0 km/s). Die Strömung transportiert einen Großteil des Energiedefizits, dass durch den kalten Kegelstumpf verursacht wird.