

## ■ Eine Antenne für den Regen

Lohnt es sich, noch Schwimmen zu gehen? Könnte die geplante Grillfeier wegen eines Sommergewitters ins Wasser fallen? Bei solchen Fragen hilft das Regenradar.

„Abendrot – Gutwetterbot, Morgenrot – Schlechtwetter droht.“ Traditionelle Bauernregeln bieten oft hilfreiche Fingerzeige für die Entwicklung des Wetters. Doch wer es genauer wissen möchte, der braucht die exakteren Prognosen der Meteorologen.<sup>1</sup> Ein dichtes Netz von Mess-Stationen liefert dafür Werte für Lufttemperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeiten und Niederschlagsmengen, während Satelliten großflächig die obere Erdatmosphäre beobachten.



Corbis Digital Stock

### Das Regenradar

Noch kurzfristige Vorhersagen erlauben Regenradarsysteme, die ihre Umgebung in einem Umkreis von etwa 100 Kilometern vom Boden aus abtasten. Mit einer Auflösung im Kilometerbereich suchen sie nach möglichen Niederschlagsgebieten. Anhand der Radardaten kann nicht nur die Lage, sondern auch die Intensität und Zugrichtung von Niederschlagszonen ermittelt werden. Meteorologen sind dadurch im Stande, vor möglicherweise gefährlichen Unwettern kurzfristig zu warnen.

Radarsysteme nutzen elektromagnetische Wellen zur Ortung und Entfernungsmessung von Objekten. Neben vielen anderen Anwendungen eignen sie sich auch für die Meteorologie, um Wolkenformationen zu detektieren.

Ein Radar funktioniert in der Regel nach folgendem Prinzip: Eine mit konstanter Geschwindigkeit rotierende Parabol-Richtantenne strahlt periodische Impulsfolgen in einem schmalen Raumwinkel ab. Diese Impulse werden auf ihrem Weg von den unterschiedlichsten Objekten reflektiert. Im Fall des Regenradars handelt es sich um Niederschlagspartikel wie Regen, Schnee, Graupel oder Hagel. Das von ihnen reflektierte Echo wird von der ebenfalls als Empfänger arbeitenden Richtantenne detektiert, bevor der nächste Impuls gesendet wird. Aus der zeitlichen Verzögerung zwischen Signal und Echo wird die Entfernung der Niederschlagszone und über den Antennenwinkel deren Richtung berechnet. Grundsätzlich bestimmt die Impulsfrequenz, die beim Regenradar bis zu 1,5 kHz betragen kann, die Reichweite.

Während eines Umlaufs tastet das Regenradar verschiedene Höhen ab: Der „Elevationswinkel“ liegt dabei in der Regel zwischen 0 und 40 Grad. In unseren Breiten arbeiten die meisten Regenradarstationen mit einer Wellenlänge um 5 cm (C-Band, um 5 GHz). Das bietet einen Kompromiss zwischen Reichweite und Empfindlichkeit, denn mit wachsender Frequenz nimmt die Dämpfung des Radarsignals durch die Atmosphäre zu. Kürzere Radarwellen, d. h. höhere Frequenzen, werden an kleinen und großen Tropfen sehr gut gestreut, allerdings ist ihre Reichweite durch die starke Dämpfung eher gering. Regenradare mit einer größeren Wellenlänge zeichnen sich dagegen durch große Reichweite aus, allerdings ist Nieselregen damit kaum zu detektieren.

<sup>1</sup> Seit ihren Anfängen vor mehr als 150 Jahren hat die Wettervorhersage durch die Entwicklung meteorologischer Modelle und den Einsatz von Computern an Zuverlässigkeit zugenommen. 1851 erschien erstmals zur Londoner Weltausstellung eine tägliche Wetterkarte für Europa.



Das Regenradar zeigt, wie sich innerhalb weniger Stunden (8, 12 und 15 Uhr) eine Regenfront ausbildet. Im Radarbild ist



kaum zu Regen neigende Bewölkung gelb markiert, leichter Regen hellblau, Regen violett, starker Regen grün; die



Farben rot und dunkelblau zeigen sehr starken Regen und Hagel an. (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

## Reflektivität und Niederschlag

Für die Wetterprognosen muss die Niederschlagsintensität, die angibt, wie viel Regenwasser pro Flächeneinheit fällt, räumlich und zeitlich genau erfasst werden. Mit dem Regenradar lässt sich diese für die Meteorologen wichtige Größe zwar nicht direkt messen, sie kann aber über die Größe der Reflektivität indirekt ermittelt werden. Jede Niederschlagsart besitzt ein charakteristisches Streuverhalten: Wasser reflektiert Mikrowellen deutlich stärker als (trockenes) Eis oder Schnee; nasser Hagel erzeugt deshalb starke Echos. Schneeflocken und kleine Tropfen reflektieren nur schwach. In die Reflektivität gehen die Anzahl und der Durchmesser der Niederschlagspartikel ein. Je mehr Tropfen sich im vom Radarstrahl erfassten Beobachtungsvolumen befinden und je größer sie sind, desto stärker ist ihr zurück gestreutes Echo. Mit Hilfe vordefinierter Tabellen ergibt sich aus der Reflektivität eine Niederschlagsintensität. Da allerdings nicht jedes an Partikeln gestreute Echo automatisch einen Niederschlag am Boden bedeutet (die Tropfen können während des Falls verdunsten oder durch starke Aufwinde wieder nach oben getrieben werden), ist eine Kalibrierung der Radarwerte mit Hilfe von Niederschlagsmessern vor Ort unumgänglich. Die so abgeleiteten Niederschlagsarten und ihre Intensitäten werden im Radarbild bzw. in der Wettergrafik in einer mehrstufigen Farbdarstellung klassifiziert.

Eine Weiterentwicklung des einfachen Regenradars ist das Doppler-Radar. Indem man die Frequenzverschiebung zwischen Sendesignal und Echo misst und den Doppler-Effekt ausnutzt, erhält man damit Informationen zur radialen Geschwindigkeitskomponente der Regengebiete und kann somit ihre Bewegung verfolgen.

## Dem Hagel auf der Spur

Da die Messung der Reflektivität oft nicht ausreicht, um z. B. große Regentropfen eindeutig von Hagel zu unterscheiden, wurden komplexere Radarsysteme entwickelt. Die so genannten polarimetrischen Systeme senden linear polarisierte Signale aus. Sie schalten entweder schnell zwischen horizontaler und vertikaler Polarisation um oder senden beide Polarisationsrichtungen gleichzeitig.

Regentropfen und Hagelkörner zeigen im freien Fall nämlich ein unterschiedliches Verhalten: Während flüssige Tropfen aufgrund der Luftreibung verflachen und diese Form bei einer horizontalen Polarisation für ein stärkeres Echo sorgt, taumeln die festen Hagelkörner beim Fallen und reflektieren die senkrecht polarisierte Strahlung deutlich besser. Dies gilt als sicheres Indiz für Hagel.

Eine andere Methode ist das Mehrfrequenz-Radarverfahren, das mit zwei verschiedenen Wellenlängen (typischerweise 3 und 10 cm) arbeitet. Da Hagelkörner im Gegensatz zu Regentropfen

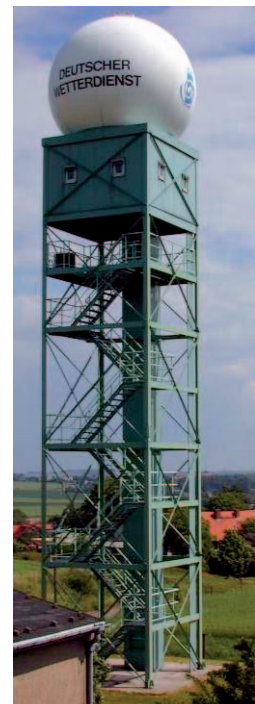
durchaus einige Zentimeter groß sein können, ändert sich bei ihnen das Streuverhalten: Aus der Rayleigh-Streuung ( $d < \lambda$ ) wird eine Mie-Streuung ( $d \approx \lambda$ ) und folglich ist das Radarecho für die kürzere Wellenlänge kleiner. Bei Regentropfen, die bis zu drei Millimeter groß sein können, sind dagegen die Radarechos für beide Wellenlängen etwa gleich groß.

## Mobilfunknetz statt Regenradar?

Israelische Wissenschaftler berichteten kürzlich über wetterbedingte Übertragungsschwankungen des Mobilfunknetzes<sup>2</sup>: Regen schwächt die Signale der Sendemasten, so dass die Stationen die Leistung der jeweiligen Wetterlage anpassen müssen.

Vergleicht man die Übertragungsschwankungen mit den Daten eines Regenradars, so zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Mobilfunknetze könnten deshalb, so die Schlussfolgerung der Wissenschaftler, als weitreichendes, hochauflösendes und preiswertes Beobachtungsnetz von Niederschlagszonen dienen. Ob diese in Zukunft aber tatsächlich die Regenradare in der Beobachtung von Niederschlagszonen ersetzen oder ergänzen, wird sich noch zeigen müssen. Sicher ist: Für immer detailliertere Daten und damit zuverlässigere kurzfristige Wetterprognosen dürften wohl nicht nur die Meteorologen dankbar sein.

Katja Bammel



In Deutschland unterhält der Deutsche Wetterdienst (DWD) einen Verbund von 16 Wetterradarstationen, die kontinuierlich den Himmel auf der Suche nach Wolkenformationen abtasten

<sup>2</sup> H. Messer, A. Zinevich und P. Alpert, Science, 312, 713 (2006)

Dr. Katja Bammel, science & more redaktionsbüro, kb@science-and-more.de