

## ***Interpretation von Radarbildern von Dr. Manfred Reiber***

Jeder Pilot weiß, dass Gewitter mit extremen Fluggefahren verbunden sein können. Die Entscheidung für oder gegen einen Start bei einer Gewitterlage kann mittels systematischer Radarüberwachung deutlich objektiviert werden. Auch Schauer und Flächenniederschläge lassen sich mittels Radar orten und überwachen. Damit lassen sich nicht nur Schlussfolgerungen über Niederschlagsereignisse an sich ableiten, sondern auch die Folgeerscheinungen, wie das Absinken der Wolkenuntergrenze und der niederschlagsbedingte Sichtrückgang gut abschätzen. Leider lassen sich aber Schneefall, besonders wenn er nur leicht ist und Sprühregen (Niesel) nicht gut erfassen. Ungeübte können dann daraus schnell falsche Schlussfolgerungen ableiten. Fatale Entscheidungen wären die Folge. Mit modernen und leistungsstarken Selbstbriefingsystemen, wie z. B. pc\_met, ist eine systematische und sogar europaweite Überwachung auch sehr gut möglich. Neue, kostenfreie Angebote von Radarmeldungen aus dem Internet sind qualitativ hochwertig und gut für das Selbstbriefing zu verwenden. Das Beste ist zurzeit „NiederschlagsRadar.de“ mit der Internetadresse <http://www.niederschlagsradar.de>. Hier werden Loops von 16 lokalen Radargeräten Deutschlands (das sind die Radargeräte des DWD) mit einem Bildabstand von 5 Minuten dargestellt. Die geografische Auflösung ist ansprechend.

Falsch interpretierte Radarbilder tragen das Risiko fliegerischer Fehlentscheidungen in sich. Um das zu vermeiden, sollten sich alle Teilnehmer des Selbstbriefings unbedingt mit ihrer Interpretation genauer befassen. Für „wetter“erfahrene Piloten ganz bestimmt ein lösbares Problem. Der folgende Artikel soll dafür Unterstützung und Anleitung geben.

### *1. Wozu sind Radarbilder nützlich?*

*RADAR* ist ein Kunstwort, es leitet sich aus „*Radio Detection And Ranging*“ ab und bedeutet soviel wie Ortung und Entfernungsmessung mittels elektromagnetischer Wellen.

Eingesetzt wurden die ersten Radargeräte während des Zweiten Weltkrieges zur Ortung von Kriegsschiffen und Bombenflugzeugen. Heute sind Radargeräte in der Luftfahrt (z. B. als Landeradar, Bordwetterradar u. a.), der See- und Flussschifffahrt (z. B. als Kollisionsradar) und in anderen Wirtschaftszweigen (z. B. in der Verkehrsüberwachung) unentbehrlich.

Mit *Wetterradargeräten* werden vor allem Niederschlagsgebiete und die dazugehörigen kompakten Wolkensysteme, ihre Entwicklung (ihr Entstehen und Vergehen) und ihre Verlagerung erfasst und überwacht. Die Reichweite operationell eingesetzter Geräte beträgt etwa 200 bis 300 km.

Mittels eines Radarverbundes und digitaler Bildverarbeitung kann man sogenannte „Kompositbilder“ aus den Radarbildern mehrerer lokaler Radarstationen „zusammensetzen“. So entstehen die Radarkarten *Deutschland* und *Europa* und entsprechende Internetangebote. In Deutschland betreibt der DWD 16 lokale Radargeräte (Rostock, Hamburg, Emden, Berlin, Ummendorf, Hannover, Dresden, Neuhaus, Flechtdorf, Essen, Eisberg, Frankfurt, Neuheilenbach München, Türkheim und Feldberg im Schwarzwald).

*Vorteil der Kompositbilder:* großer räumlicher Überblick über die „Echolage“

*Nachteil der Kompositbilder:* Detaillierungsgrad gering, räumliche Zuordnung der Echos relativ ungenau

*Vorteil der lokalen Radarbilder:* hoher Detaillierungsgrad und relativ gute räumliche Zuordnung der Echos

*Nachteil der lokalen Radarbilder:* relativ kleiner räumlicher Überblick über die „Echolage“

Bei komplizierten Wetterlagen sollte man die Vorteile beider Möglichkeiten nutzen und sowohl lokale Radarbilder, als auch Kompositbilder abrufen und auswerten.

Wozu kann man Radarinformationen verwenden?

*Zur Wetterüberwachung*

*Für Nowcastingvorhersagen (das sind Wettervorhersagen bis zu 2 Stunden im Voraus)*

*Im begrenzten Maß für Kurzfristvorhersagen (dazu zählen auch Niederschlagsvorhersagen von 2 bis zu 12 Stunden im Voraus)*

Mit Radarinformationen kann man so wichtige flugmeteorologische Bedingungen erfassen, wie:

*Die räumliche Verteilung von Niederschlagsgebieten (Schauer, Gewitter und Flächenniederschläge)*

*Die Intensität des Niederschlages (ggf. können Aussagen über gefährliche Wettererscheinungen wie Graupel bzw. Hagel getroffen werden)*

*Achtung: Schnee und Sprühregen werden relativ schlecht erfasst*

*In Kombination mit Blitzkarten kann man ziemlich sicher erkennen, ob sich bereits Gewitter gebildet haben oder nicht*

Aus Bildfolgen (Loops) kann man weitere Schlussfolgerungen ableiten über:

*Die Verlagerungsrichtung und -geschwindigkeit von Niederschlagsgebieten (ggf. auch von Wetterfronten, Böenlinien, Trogachsen, Konvergenzlinien u.ä.)*

*Das Entwicklungsstadium von (konvektiven) Niederschlagsgebieten. Häufig kann man die Geschwindigkeit der Bildung und Auflösung von Schauern und Gewittern gut verfolgen und durch Extrapolation für wenige Stunden im Voraus (Nowcasting) gut prognostizieren.*

## 2. Das Prinzip der Radarmessung

Das Prinzip der Radarmessung ist denkbar einfach, man sollte es aber gut verstehen, um Fehlinterpretationen vermeiden zu können. Es funktioniert folgendermaßen:

Eine Radarstation besteht aus Sender, Empfänger und Parabolantenne. Vom Sender wird über eine rotierende Antenne ein elektromagnetischer Impuls abgestrahlt. Trifft dieser Impuls auf ein Hindernis (z.B. auf Niederschlagsteilchen in einer Wolke), wird er mehr oder weniger stark reflektiert. Die zur Antenne reflektierte Strahlung (das ist nur ein sehr geringer Bruchteil der ausgestrahlten Energie) wird aufgefangen, im Empfänger verstärkt und auf einem Bildschirm dargestellt.

Aus der Stellung der Antenne kann man die *Richtung* des Radarechos, aus der Laufzeit des Impulses die *Entfernung* und aus der Energie des reflektierten Impulses die *Intensität* des Niederschlagsgebietes bestimmen (siehe Abbildung 1).

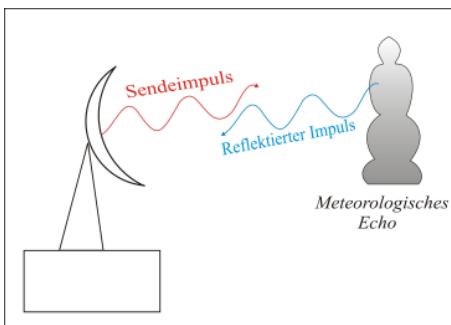


Abbildung 1: Das Prinzip der Radarmessung. Die Stellung der Antenne gibt die Richtung des Echos an, aus der Laufzeit des Impulses wird die Entfernung bestimmt, die Energie des reflektierten

*Impulses ist ein Maß für die Intensität des Echos*

### 3. *Darstellung von Radarbildern*

Wetterradarantennen sind nicht nur über 360° horizontal drehbar, sondern auch vertikal schwenkbar, um ein meteorologisches Echo auch in seiner Höhererstreckung untersuchen zu können. Daraus resultieren zwei verschiedene Darstellungsmöglichkeiten von Radarbildern:

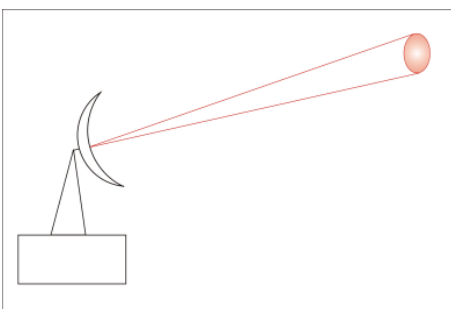
*Radarrundsidhtdarstellung* (englisch: „*Plan Position Indication*“, abgekürzt: *PPI-Darstellung*). Die meteorologischen Objekte werden hier in einer Ebene dargestellt, im Mittelpunkt befindet sich die Radarstation. Die Position der Echos wird durch die Richtung (hier wird die 360°-Skala verwendet) und die Entfernung, bezogen auf die Radarstation, bestimmt. Für die Darstellung der Intensität der Echos wird eine Farbskala verwendet. Die lokalen Radarbilder, aber auch die Kompositbilder sind PPI-Bilder. Beim Kompositbild sind die Bilder verschiedener Radarstationen (zeitsynchrone Messung vorausgesetzt) digital aufbereitet und zusammengestellt. Richtung und Entfernung von Echos bezieht man dann praktischerweise immer auf den eigenen Standort.

*Radarvertikalsidhtdarstellung* (englisch: „*Range Height Indication*“, abgekürzt: *RHI-Darstellung*). Die RHI-Darstellung erlaubt die vertikale Erstreckung der Echos (z. B. die Bestimmung der Höhe der Wolkenunter- sowie der Wolkenobergrenze von Niederschlagsgebieten oder CBs) zu untersuchen.

Moderne Radargeräte verwenden die kombinierte PPI-RHI-Darstellung. Für Kompositbilder ist die RHI-Darstellung jedoch nicht geeignet.

### 4. *Ausbreitung von Radarstrahlen*

Radarstrahlen sind kurze Impulse (ihre Dauer liegt im  $\mu\text{s}$ -Bereich) scharf gebündelter elektromagnetischer Wellen. Räumlich gesehen besteht der Radarstrahl aus einem kreisrunden oder elliptischen Kegel, der häufig auch als Radarkeule bezeichnet wird (siehe Abbildung 2).



*Abbildung: 2 Radarkeule*

#### 4.1 *Brechungsindex, Superrefraktion, Subrefraktion*

Theoretisch breiten sich Radarstrahlen geradlinig aus, sie folgen also der Erdkrümmung nicht, d.h. sie entfernen sich sogar von der Erdoberfläche (siehe Abbildung 3). Der Verlauf der Radarstrahlen hängt in der Realität aber auch stark vom momentanen physikalischen Zustand der Atmosphäre ab.

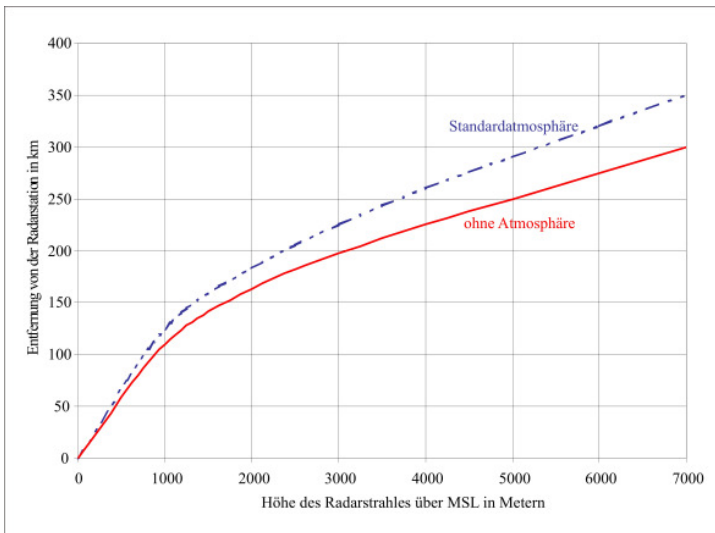


Abbildung 3: Die Ausbreitung des Radarstrahles ohne Atmosphäre und unter den Bedingungen der Standardatmosphäre.

Aus der Abbildung 3 können wir erkennen: Weit entfernte Wolken können nur erfasst werden, wenn sie genügend hoch sind (z.B. in 250 km Entfernung müssen die Wolkenobergrenzen [unter den Bedingungen der Standardatmosphäre] fast 4000 m hoch sein, damit sie vom Radargerät erfasst werden können). Daraus leiten wir die erste wichtige Schlussfolgerung für die Interpretation von Radarbildern ab:

**Merksatz 1:**

**Weiter entfernte Wolken werden vom Radarstrahl (unter atmosphärischen Normalbedingungen) nur dann erfasst, wenn sie eine bestimmte Gipfelhöhe erreichen. Ist ein CB z. B. 300 km entfernt, muss seine Obergrenze schon mindestens 5400 m sein, damit er vom Radarstrahl überhaupt erfasst wird (siehe Abbildung 3). Diesen Effekt kann man verringern, indem man Radarstationen auf hohen Türmen oder Bergen positioniert, weil man dann auch mit negativen Elevationswinkeln (Neigungswinkel der Antenne) arbeiten kann. Verlaufen aber die Radarstrahlen zu dicht über dem Erdboden, dann steigt die Dämpfung stark an und es erscheinen mehr störende Bodenfestziele (sog. ground clutter: Berge, Hügel, hohe Gebäude usw.) auf dem Bildschirm, die ggf. meteorologische Ziele verdecken oder damit verwechselt werden können.**

4.1.1 Der Brechungsindex

In der realen Atmosphäre breiten sich Radarstrahlen (wie z.B. auch Lichtstrahlen) nicht geradlinig aus. Sie werden in der Atmosphäre gebrochen. Für die Standardatmosphäre lässt sich das leicht berechnen (siehe Abbildung 3), in der realen Atmosphäre ist die Refraktion kompliziert und unterliegt außerdem ständigen Schwankungen. Der reale Brechungsindex lässt sich näherungsweise nach folgender Formel berechnen:

$$n \approx \frac{77,6 * P}{T} + \frac{64,6 * e}{T} + \frac{3,72 * 10^5 * e}{T^2}$$

- n Brechungsindex
- P Luftdruck (hPa)
- e Wasserdampfdruck (hPa)
- T Lufttemperatur (K)

Diese Formel soll niemand auswendig kennen. Sie soll nur zeigen, dass die Brechung des Radarstrahles vom Luftdruck, vom Wasserdampfgehalt und der Lufttemperatur abhängt. Diese Größen sind jedoch dauernd in Veränderung. Daraus leitet sich für die Interpretation die zweite Schlussfolgerung ab:

**Merksatz 2:**

**Die Ausbreitung des Radarstrahles kann nicht genau bestimmt werden, da die Temperatur-, Druck- sowie Feuchtwerte sowohl in vertikaler, als auch in horizontaler Richtung verschieden sind und außerdem ständigen Veränderungen unterliegen. Als Näherungswert kann man den Brechungsindex des Radarstrahles für die Standardatmosphäre berechnen. Auf dem Diagramm der Abbildung 3 ist die Ausbreitung bei Standardatmosphäre und einem Elevationswinkel von  $0^\circ$  (die Antenne ist horizontal ausgerichtet) dargestellt.**

Da die Bedingungen der Standardatmosphäre aber quasi nie erfüllt sind, weicht die Radarstrahlausbreitung in der realen Atmosphäre von der „Normalausbreitung“ immer mehr oder weniger stark ab.

Im Einzelfall ist die Ausbreitung, wie bereits gesagt, schwierig zu berechnen. Für die Interpretation von Radarbildern sollte man folgende zwei (extreme) Abweichungsvarianten von der „Normalausbreitung“ kennen und bei jeder Interpretation unbedingt berücksichtigen. Diese Abweichungsvarianten sind die *Superrefraktion* und die *Subrefraktion*.

#### 4.1.2 Die Superrefraktion

Superrefraktion tritt dann ein, wenn der Brechungsindex mit der Höhe abnimmt. Das ist dann der Fall, wenn die Temperatur mit zunehmender Höhe langsam abnimmt, gleich bleibt (Isothermie) oder sogar zunimmt (Inversion). Superrefraktion tritt also bei stabiler Schichtung auf. Der Effekt wird verstärkt durch Feuchteabnahme, abgeschwächt durch Feuchtezunahme mit der Höhe. Superrefraktion führt zur Ablenkung des Radarstrahles zur Erdoberfläche hin (siehe Abbildung 4).

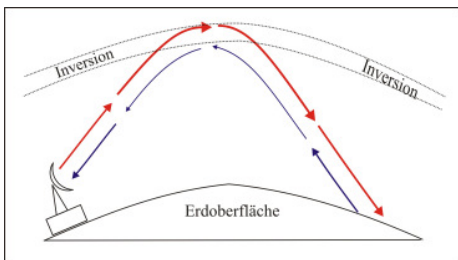


Abbildung 4: Superrefraktion. Der Brechungsindex nimmt mit zunehmender Höhe ab, der Radarstrahl wird (bei stabiler Schichtung, insbesondere bei der Existenz einer Inversion [Bodeninversion, Peplopause]) zur Erdoberfläche hin abgelenkt. Ggf. erscheinen Teile der Erdoberfläche (z. B. Berge) als meteorologisches Echo auf dem Bildschirm. Man bezeichnet diese Echos als „Ground clutter“ oder „Geisterechos“

Daraus leiten wir die dritte wichtige Schlussfolgerung für die Interpretation von Radarbildern ab:

**Merksatz 3:**

**Bei Superrefraktion (typisch für Inversionswetterlagen) passiert es, dass entfernte Bodenziele (z.B. Berge oder Gebirge) als Echos auf dem Radarbildschirm erscheinen und mit Niederschlagsechos verwechselt werden können. Solche Echos werden auch als „Ground clutter“ oder „Geisterechos“ bezeichnet. Deshalb sollten Radarechos, die man bei Inversionswetterlagen erhält, immer mit den aktuellen METAR/SYNOP-Meldungen und/oder Satellitenbildern verglichen werden. In Loops sieht man auch, dass sich diese „Geisterechos“ zwar in ihrer Form und Intensität verändern, sich aber nicht verlagern. Häufig „springen“ diese**

**Echos „hin- und her“ oder es entstehen Muster, wie z. B. Ringe (siehe Abbildung 5a und 5b). Superrefraktion tritt aber nicht nur bei Hochdruckwetterlagen auf. Kleinräumige Superrefraktion wird gelegentlich auch auf der Rückseite von Schauern oder Gewittern beobachtet. Die Ursache ist hier eine Stabilisierung der untersten Luftschichten, infolge der Verdunstungsabkühlung und der Feuchteabnahme mit zunehmender Höhe (nach Niederschlag). Solche Echos von tatsächlichen Niederschlagsechos zu unterscheiden ist nicht trivial.**

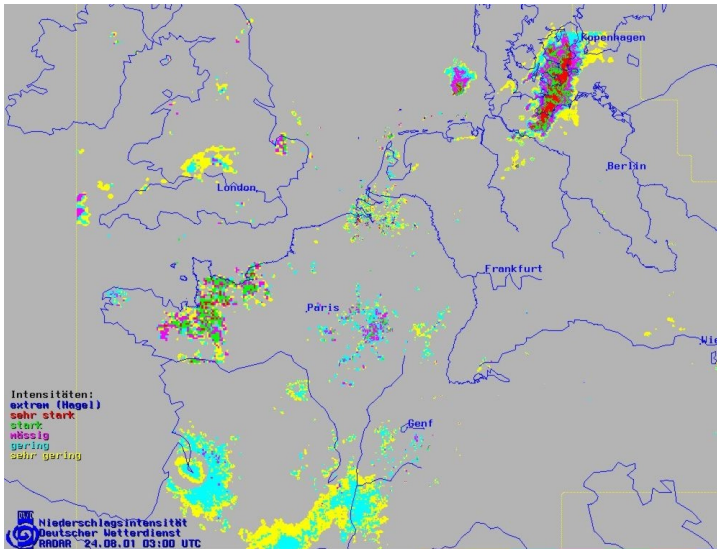
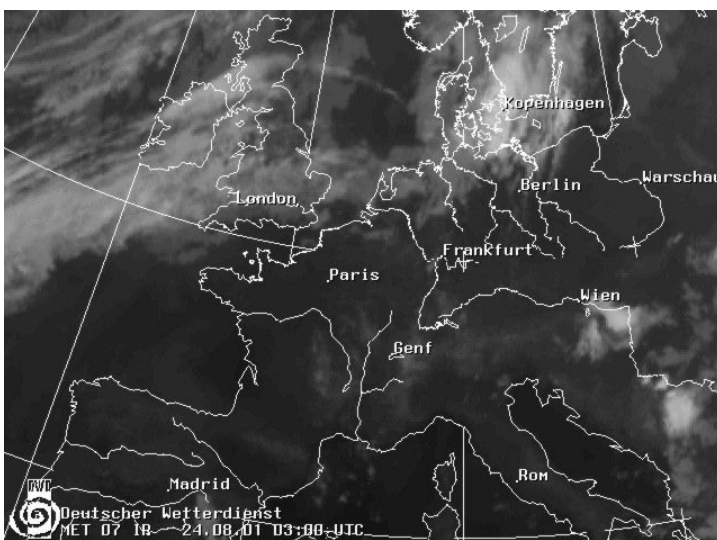


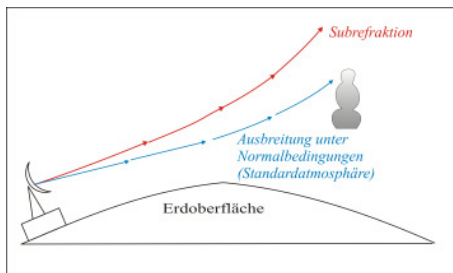
Abbildung 5a: Während einer ausgeprägten Hochdruckwetterlage kommt es in Westfrankreich in der Nacht zur Ausbildung einer kräftigen Bodeninversion. Das ist die Ursache für die Superrefraktion der Radarstrahlung in deren Folge ein flächenmäßig großes, ringförmiges „Geisterecho“ im Gebiet um die Stadt Bordeaux geortet wird. Unmittelbar um Bordeaux herum sieht man ein „Geisterecho“ von sehr geringer bis geringer Intensität, weiter nach außen folgt zunächst ein echofreies Gebiet und darum wieder ein Gebiet mit sehr geringer bis geringer Intensität, aber hier schon mit eingelagerten kleineren Echos mäßiger Intensität. In der operativen Praxis erkennt man „Geisterechos“ u.a. daran, dass sie sich nicht verlagern und nach Sonnenaufgang mehr oder weniger schnell verschwinden (im Sommer relativ schnell, im Winter dauert es oft länger). Besser ist aber in jedem Fall eine Kontrolle dieser Echos mittels METAR-Grafik und/oder der Vergleich mit einem Satellitenbild. Das schließt bei einiger Übung die Verwechslung von „echten“ Niederschlagsechos mit „Geisterechos“ aus. Ein kleineres, in der Mitte ebenfalls rundes „Geisterecho“, befindet sich zwischen der Stadt Bourges und der Loire, unterhalb des Loire-Bogens. Schwieriger zu identifizieren sind die „gesprenkelten“ Geisterechos im Raum Le Havre-Rennes und südöstlich von Paris. Vergleichen Sie bitte auch das Satellitenbild vom gleichen Termin in der Abbildung 5b mit diesem Radarbild.



*Abbildung 5b: Dieses Satellitenbild ist für den Vergleich mit der Abbildung 5a wichtig. Es dokumentiert gerade in den Gebieten um Bordeaux, um die Stadt Bourges und in den Gebieten zwischen Le Havre und Rennes und südöstlich von Paris völlige Wolkenfreiheit. Das ist ein Beweis dafür, dass das Radargerät in der Tat nur „Geisterechos“ zeigt.*

#### 4.1.3 Die Subrefraktion

Subrefraktion tritt dann auf, wenn der Brechungsindex mit der Höhe zunimmt (stärker zunimmt, als in der Standardatmosphäre). Der Radarstrahl wird dann von der Erdoberfläche weg gebrochen. Die Radarreichweite wird dadurch verringert (siehe Abbildung 6).



*Abbildung 6: Subrefraktion. Der Radarstrahl wird von der Erdoberfläche weg gebrochen. Die Radarreichweite wird verringert.*

#### **Merksatz 4:**

**Die Radarreichweite wird durch Subrefraktion verringert. Sie tritt auf, wenn die Temperatur mit zunehmender Höhe schneller fällt, als in der Standardatmosphäre, also bei (hoher) Labilität.**

#### 4.2 Die Wetterradargleichung

Für die Wetterüberwachung setzt man in der Meteorologie meist Radargeräte ein, die im S-Band (Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen beträgt hier 10 cm) oder im C-Band (Wellenlänge der elektromagnetischen Wellen beträgt hier 5 cm) arbeiten. Die z. B. vom DWD eingesetzten Radarstationen verwenden das C-Band. Diese Radarstationen arbeiten einerseits als sog. lokale Radargeräte (siehe Abbildung 9 und 10) aber sie können auch gleichzeitig im Radarverbund zusammengeschlossen werden. Radarverbund heißt, die Radardaten aller lokalen Radargeräte werden digitalisiert, über ein Rechnersystem aufbereitet und zu einem Kompositbild zusammengestellt. Kompositbilder von Deutschland und Europa (siehe Abbildungen 11 und 12) stehen z.B. im „pc\_met“ alle 15 Minuten zur Verfügung. Diese Bilder können z. B. auch via Internet empfangen und zur Beurteilung der Wetterlage herangezogen werden. Insbesondere bei gleichzeitigem Auftreten von Schauern und Gewittern (und das ist ja fast immer der Fall) sollte man zusätzlich „Blitzkarten“ zu Rate ziehen, um Gewitter eindeutig von Schauern unterscheiden zu können. In einer Blitzkarte sind tatsächlich aufgetretene Blitze nach Ort und Zeit eingetragen. Durch einen Vergleich von Blitz- und Radarkarte, lassen sich Gewitter eindeutig identifizieren. Solche Karten werden im Internet von Siemens <http://www.blids.de/> für Deutschland und weitere europäische Länder aber auch im „pc\_met“ für Deutschland und Europa angeboten (siehe Abbildung 7, 8 und Abbildung 15).

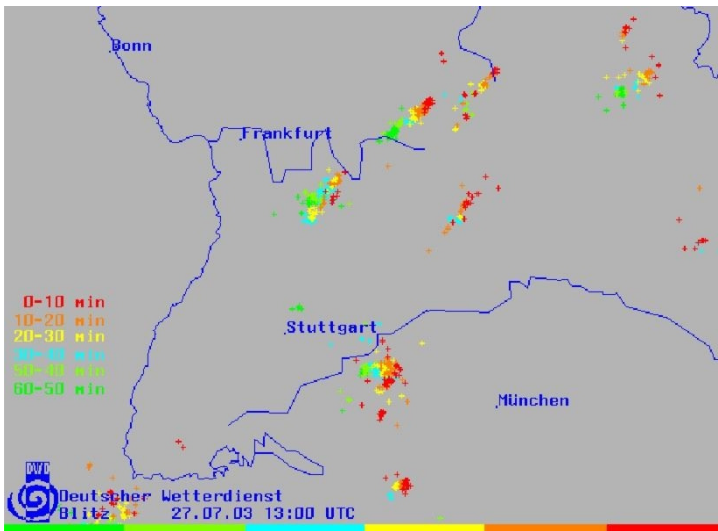


Abbildung 7: Das ist die Blitzkarte vom 27. Juli 2003 13.00 UTC „pc\_met“. Man erkennt die aktiven Gewitterherde sehr gut. Durch die Darstellung des „Alters“ der Blitze (siehe Legende), sieht man auch gut die Zugrichtung und die Zuggeschwindigkeit der Gewitterherde.

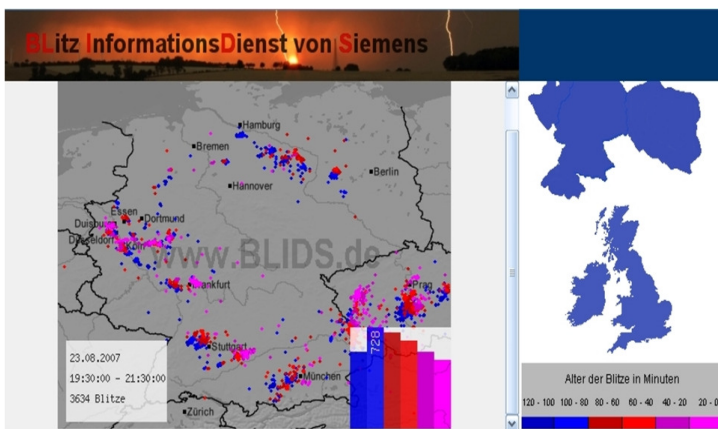


Abbildung 8: Blitzkarte von Siemens aus dem Internet: <http://www.blids.de/> für Deutschland und weiter europäische Staaten. Die Karten haben eine hohe Erneuerungsfrequenz. Das „Alter“ und die Orte der Blitze sind sehr präzise angegeben.

Auf dem Radarbild erscheinen meteorologische Echos umso stärker, je besser sie den Radarstrahl reflektieren. Für die Interpretation von Radarbildern ist es deshalb wichtig zu wissen, wovon die Radarreflektivität abhängt. Exakt beschrieben wird die Reflektivität durch die sog. Radargleichung. Sie ist wiederum keine Gleichung, die man sich merken muss, ihre Betrachtung lässt uns aber weitere wichtige Schlussfolgerungen für die Interpretation von Radarbildern ableiten, deshalb soll auch sie für besonders Interessierte genannt sein:

$$P_E = K * P_S \frac{|\epsilon|^2}{\lambda^4 * R^2} \sum_{i=1}^n N_i d_i^6$$

Es bedeuten:

- $P_E$  empfangene Leistung
- $P_S$  gesendete Leistung
- $\epsilon$  Wert für die physikalischen Eigenschaften der Niederschlags-/Wolkenteilchen
- $\lambda$  Wellenlänge der Radarstrahlung
- $R$  Entfernung Radarstation – Objekt



- d Durchmesser der Niederschlags-/Wolkenteilchen  
N Anzahl der Niederschlags-/Wolkenteilchen  
K das ist eine Konstante, die sich aus konstruktiv bedingten Parametern des Radargerätes ergibt (dazu gehören u.a. Antennengewinn, Keulbreite, Impulslänge usw.)

Der Wert „ $\epsilon$ “ hängt von den physikalischen Eigenschaften der Niederschlags- bzw. Wolkenteilchen ab.

Für Regentropfen gilt:  $|\epsilon|^2 = 0,93$   
Für Schnee- bzw. Eisteilchen gilt:  $|\epsilon|^2 = 0,208$

Die reflektierte Leistung ist also bei Schnee- bzw. Eisteilchen nur etwa 20%, der von Wassertropfen. Mit einem Wasserfilm überzogene Schnee- bzw. Eisteilchen (schmelzende Schneeflocken) erreichen dagegen etwa die Werte von Wassertropfen. Mit einem Wasserfilm überzogene Graupel- bzw. Hagelkörner übertreffen sogar die Reflektivität von Wassertropfen noch etwas. Daraus leitet sich eine sehr wichtige weitere Schlussfolgerung ab:

**Merksatz 5:**

***Schneefallgebiete können mit Radargeräten wesentlich schlechter erfasst und beobachtet werden als Regengebiete. In der Regel werden sie erst auf kurze Entfernung vom Radar erfasst, weil eben die Echointensität gering ist. Das birgt Gefahren in sich und verringert die Zuverlässigkeit für die Überwachung und Prognose von Schneefallgebieten (insbesondere bei leichtem Schneefall) mittels Radar. Regen mit Schnee oder Graupel- bzw. Hagelkörner, die mit einem Wasserfilm überzogen sind, werden jedoch gut bzw. sehr gut erfasst.***

Die Anzahl der Teilchen und ihr Durchmesser sind für die Erfassung von Niederschlägen mittels Radar jedoch von ausschlaggebender Bedeutung. Dieser Zusammenhang wird im letzten Term der Wetterradargleichung, der auch als *Reflektivitätsfaktor* „Z“ bezeichnet wird, ausgedrückt.

$$Z = \sum_{i=1}^n N_i * d_i^6$$

Je mehr Teilchen  $N_i$  vorhanden sind und je größer ihr Durchmesser  $d_i$  ist, desto besser „sieht“ das Radargerät das meteorologische Objekt. Bemerkenswert ist die Abhängigkeit von der *sechsten Potenz* der Teilchendurchmesser.

Ein kleines Rechenbeispiel soll das deutlich belegen. Ein einziger Tropfen mit einem Durchmesser von 5 mm besitzt den gleichen Radarreflektivitätsfaktor wie 15625 Tropfen mit einem Durchmesser von 1 mm, denn:

$$Z = 1 * 5^6 = 15625 * 1^6$$

Daraus leiten wir die sechste Schlussfolgerung ab:

**Merksatz 6:**

***Gewitter und großtropfiger Schauerniederschlag können über große Entfernung geortet werden, während leichter Regen oder Sprühregen über größere Entfernungen kaum erfasst werden. Das bringt Vorteile für den Einsatz von Radargeräten für die Überwachung der Atmosphäre vor gefährdrohenden Wettererscheinungen, wie Gewittern oder Starkniederschlägen im Allgemeinen. Bei schwachen Echos sollte man aber nie leichtfertig auf „niederschlagsfrei“ setzen, sondern mit METAR- und SYNOP-Meldungen verifizieren, um sicher zu gehen.***

***Besondere Sorgfalt muss man im Winter walten lassen, wenn bei leichtem Schneefall außerdem noch der Wert „ε“ klein ist.***

Auch die für Wetterradargeräte verwendete *Wellenlänge* hat Einfluss auf die Reflexionseigenschaften und die Dämpfung durch Niederschlags- bzw. Wolkenteilchen. Sehr kurze Radarwellen, im Bereich von etwa 1 cm Wellenlänge, reflektieren kleine Tropfen sehr gut (sogar auch Wolkentropfen), ihre Reichweite ist aber infolge großer Dämpfung sehr gering. Radargeräte, die mit Wellenlängen in diesem Bereich arbeiten, werden deshalb hauptsächlich für wolkenphysikalische Untersuchungen eingesetzt. Wolken bzw. schwacher Niederschlag (kleintropfiger Regen) werden dagegen von Radargeräten, die mit Wellenlängen von etwa 10 cm arbeiten (S-Band) kaum erfasst. Diese Radargeräte haben dafür aber eine große Reichweite. Der Kompromiss für operationell eingesetzte Geräte liegt bei einer Wellenlänge von 5 cm (C-Band), wie sie auch bei den im DWD eingesetzten Radargeräten verwendet wird.

#### 4.3 Dämpfung

Bei ihrer Ausbreitung durch die Atmosphäre und bei der Reflexion an den meteorologischen Objekten und den atmosphärischen Gasen verlieren die ausgesendeten Radarstrahlen Energie, sie werden also abgeschwächt. Die Gesamtheit dieser Vorgänge bezeichnet man als Dämpfung. Speziell als *Streckendämpfung* bezeichnet man den Energieverlust des Radarstrahls, der als Folge der Entfernung zwischen Radarstation und Objekt auftritt. Entsprechend der Radargleichung ist die Streckendämpfung proportional  $1/R^2$ , sie wächst also mit dem Quadrat der Entfernung. Insbesondere werden Radarstrahlen durch Wasserdampf, Wolken und Niederschlag gedämpft. In der Praxis ist die *Niederschlagsdämpfung* besonders zu beachten (im S-Band fällt die Niederschlagsdämpfung geringer aus, als im C-Band). Starke Dämpfungserscheinungen werden durch intensive Regen- bzw. Hagelschauer (Gewitter), sowie starken Flächenregen mit großer horizontaler Ausdehnung hervorgerufen. Daraus leiten wir die siebente Schlussfolgerung ab:

#### ***Merksatz 7:***

***Intensive Regen- bzw. Hagelschauer, sowie starker Flächenniederschlag können den Radarstrahl so stark dämpfen, dass selbst Starkniederschläge, die sich hinter diesen Niederschlagsgebieten befinden, vom Radargerät nicht mehr erfasst und auch nicht angezeigt werden. Das hat in der Praxis schon dazu geführt, dass schwere Hagelschauer lange Zeit hinter starken Regenschauern „versteckt“ blieben und nicht „gesehen“ wurden. Die Gefahr wurde nicht erkannt und Warnungen nicht ausgesprochen (Münchener Hagelunwetter vom 12. Juli 1984). Durch die Kompositardarstellung wird dieses Problem etwas reduziert.***

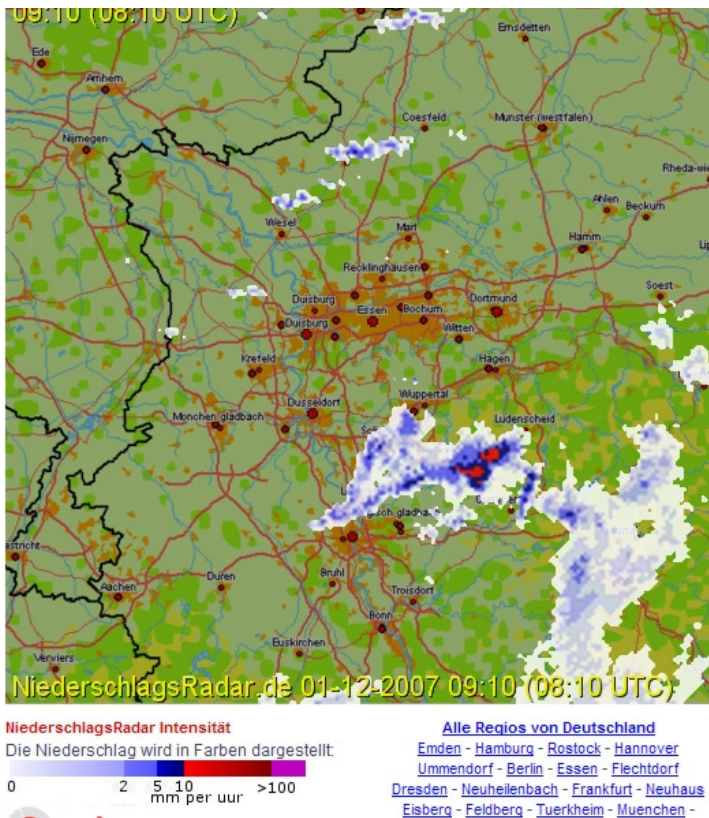
#### 5. Radarbilder im „pc\_met“, bzw. Internet

Radarbilder, die im „pc-met“ angeboten werden, sind lokale Radarbilder deutscher Stationen und aus den PPI-Bildern deutscher und europäischer Radarstationen zum Deutschland- bzw. Europa-Komposit zusammengestellte Radarbilder. Diese Bilder enthalten Informationen über die Niederschlagsintensität von Schauern, Gewittern sowie von Flächenniederschlagsgebieten. Dafür wird eine Farbskala verwendet, wie sie in Tabelle 1 beschrieben ist.

<b>Radarreflektivität</b>	<b>Farbe im Radarbild</b>	<b>Niederschlagsintensität</b>
07 – 19	Gelb	gering
19 – 28	Cyan	gering bis mäßig
28 – 37	Violett	mäßig
37 – 46	Grün	mäßig bis stark
46 – 55	Rot	stark
> 55	Blau	sehr stark (mit Hagel)

*Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Radarreflektivität und Niederschlagsintensität*

Demnach ist ab violett mit dem Auftreten erster Gewitter zu rechnen. Während im violetten und grünem Bereich in der Regel Einzelzellen auftreten, sind ab dem roten Bereich, vor allem aber im blauen, Multizellen, Superzellen, Squall-Lines sowie MCCs mit sehr starken Niederschlägen, oft Hagel, schweren Sturmböen und starker Turbulenz zu erwarten. Die von „Niederschlagsradar.de“ angebotenen Radarbilder verwenden eine ähnliche Skala, die der Bildbeschreibung entnommen werden kann. An Hand der Abbildungen 10 bis 15 wird die Interpretation von Radarbildern am Beispiel der Wetterlage vom 27. Juni 2003 gezeigt.



*Abbildung 9: Lokales Radarbild der Radarstation Essen aus dem Internet via „Niederschlagsradar.de“. Die Bilder werden hier im Abstand von 5 Minuten erneuert und laufen als Loop.*

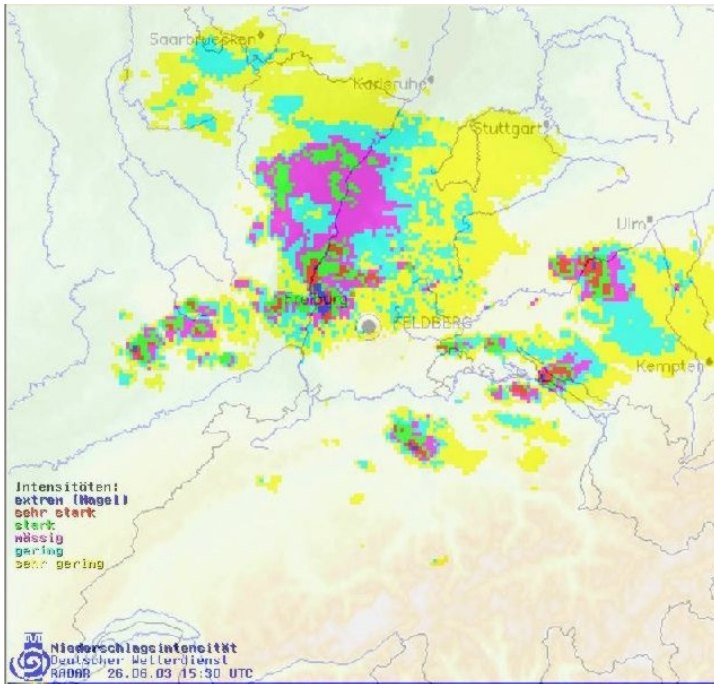


Abbildung 10: Wetterlage vom 26. Juni 2003 15.30 UTC, lokales Radarbild vom Feldberg. Deutlich sind die unterschiedlichen Echointensitäten zu erkennen, von sehr gering (gelb) bis extrem (blau, mit Hagel). Deutlich zu erkennen sind die hagelverdächtigen Echos westlich bis nordwestlich vom Feldberg. Die räumliche Zuordnung ist gut. Eine höhere Detaillierung des Kartenunterdruckes würde eine noch bessere räumliche Zuordnung und damit eine bessere Prognose ermöglichen.

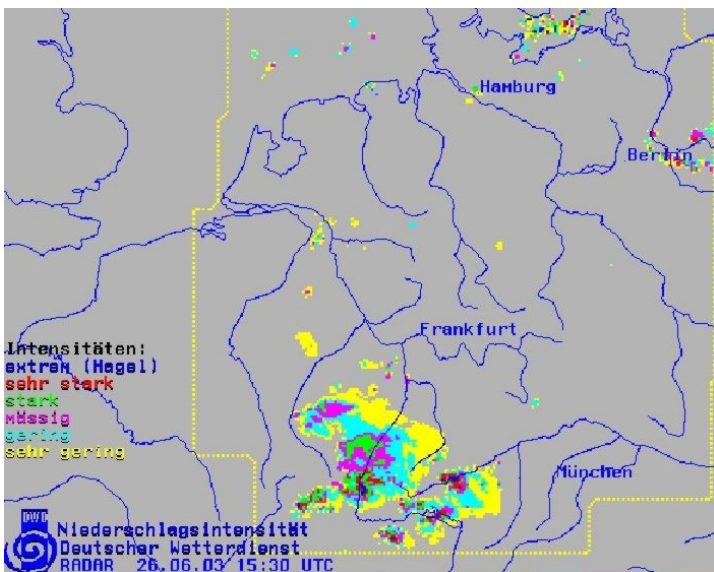


Abbildung 11: Wetterlage vom 26. Juni 2003 15.30 UTC, Radarkarte Deutschland. Der Überblick über die Echolage wird größer, die räumliche Zuordnung dafür geringer. Für geplante Streckenflüge und Nowcastingvorhersagen ist diese Übersicht zwingend erforderlich.

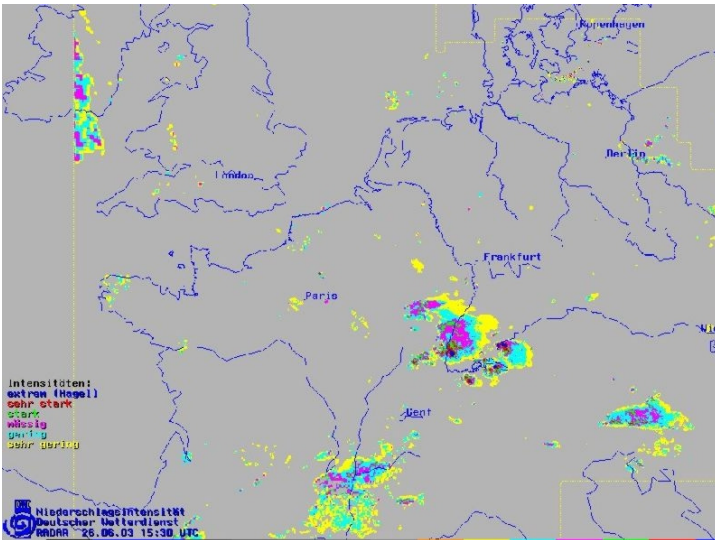


Abbildung 12: Wetterlage vom 26. Juni 2003 15.30 UTC, Radarkarte Europa. Der räumliche Überblick über die Echolage wird noch größer, die räumliche Zuordnung der Echos verschlechtert sich weiter. Diese Karte ist zwingend bei geplanten Auslandsflügen und für Kurzzeitprognosen.

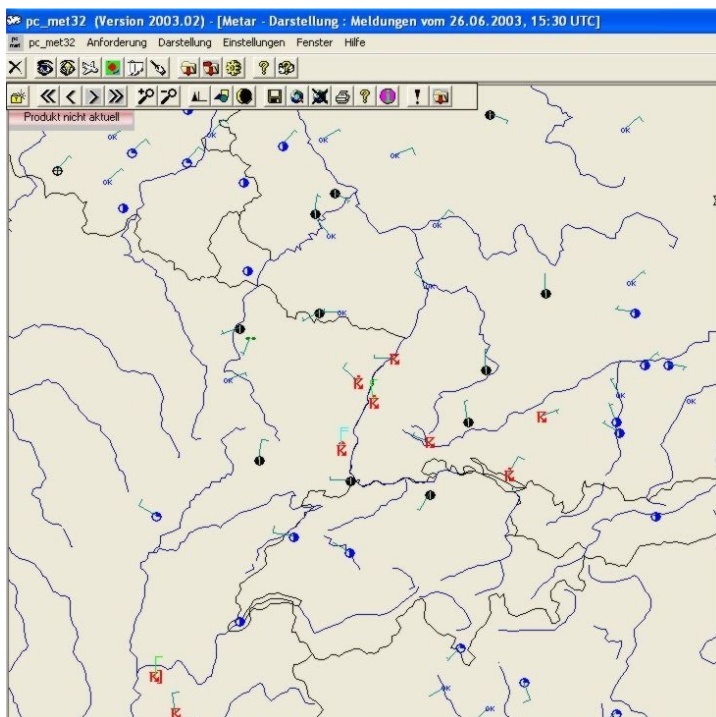


Abbildung 13: Wetterlage vom 26. Juni 2003 15.30 UTC, METAR-Grafik. Gezeigt werden die aktuellen Wettermeldungen. Zu beachten ist, dass synoptische Wetterstationen nur zur vollen Stunde melden und deshalb und wegen des räumlichen Abstandes der Wetterstationen, Gewitter ggf. nicht erfasst und deshalb auch nicht gemeldet werden können.

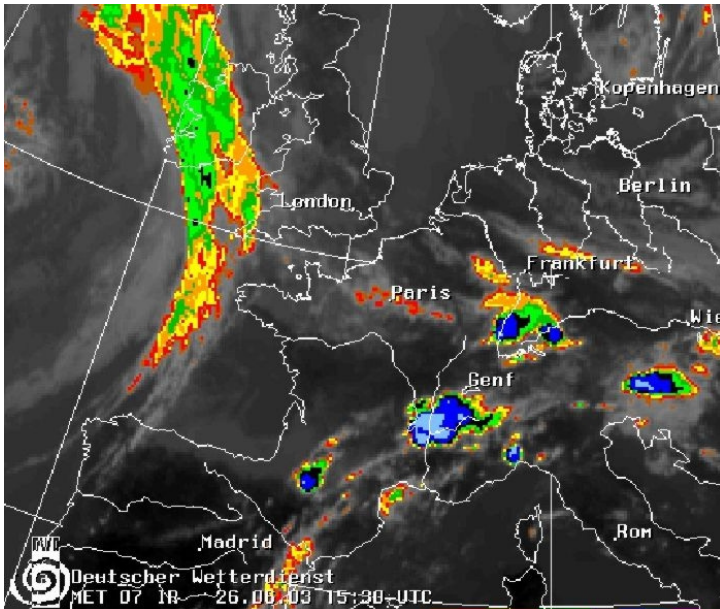


Abbildung 14: Wetterlage vom 26. Juni 2003 15.30 UTC, IR-Satellitenbild. Satellitenbilder sind praktisch die „große Adlerperspektive“. Sie geben einen großen Überblick über vorhandene Wolkenformationen und damit indirekt über die Niederschlagsituation. Man kann aber kaum detaillierte Aussagen über die Intensität des Niederschlages geben. Eine genaue räumliche Zuordnung ist ebenfalls kaum möglich. Und dennoch sind sie ein wertvolles Prognose-Instrument und sollten immer im Zusammenhang mit der Radarlage betrachtet werden.

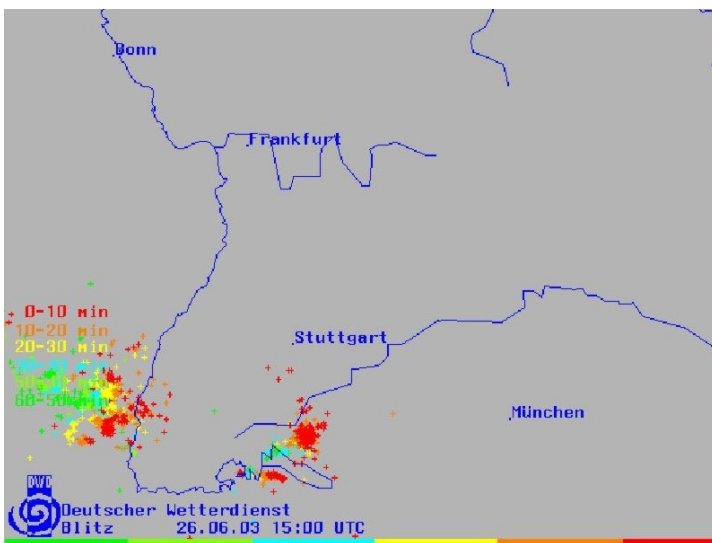


Abbildung 15: Wetterlage vom 26. Juni 2003 15.00 UTC, Blitzkarte (siehe auch Abbildung 7 und 8). Radarkarten zeigen Niederschlagsechos verschiedener Intensität, wenn ein Echo aber tatsächlich als Gewitter klassifiziert werden kann, liefert uns erst die Blitzkarte. Dafür ist sie ein wertvolles Hilfsmittel. Aus der „Farbspur“ der Blitze (frische Blitze sind rot, alte grün; siehe Legende) lassen sich auch gut Verlagerungsrichtung und –geschwindigkeit ermitteln. Leider werden Blitzkarten über *pc\_met* bisher nur im Stundenabstand verbreitet. Wünschenswert wäre aber die gleiche Ausgabefrequenz wie bei Radarkarten, dann könnte die Gewitterüberwachung und die Nowcastingprognose von Gewittern weiter verbessert werden.

Radarbilder lassen sich, ähnlich wie Wolkenbilder vom Satelliten, zu Loops zusammenstellen. Damit kann man die Verlagerungsrichtung und -geschwindigkeit von Niederschlagsechos und ihren Entwicklungstrend (Abschwächung oder Verstärkung) sehr gut verfolgen.

Resümee:

Eine kontinuierliche Radarwetterbeobachtung erlaubt eine optimale Nutzung der Wetterlage, ohne ein zu großes Risiko eingehen zu müssen. Es ist jedoch generell angezeigt, neben Radarbildern weitere Wetterinformationen (wie Satellitenbilder und METAR-Grafik) zu nutzen, um bei der Analyse und Prognose einen hohen Sicherheitsgrad zu erreichen. Die Unterscheidung, ob Niederschlagschauer oder Gewittern zuzuordnen sind, kann definitiv durch eine vergleichende Betrachtung von *Blitzkarten* getroffen werden.

Dr. Manfred Reiber  
[www.DrMReiber.de](http://www.DrMReiber.de)