

No. 154

R A D A R A N L E I T U N G

von

Patrick Hächler, Zürich

Mai 1989

Radar

551.501.81; 551.508.85

Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute



No. 154

R A D A R A N L E I T U N G

von

Patrick Hächler, Zürich

Mai 1989

Radar

551.501.81; 551.508.85

Zusammenfassung

Das Ziel dieser kurzen Anleitung besteht darin, dem Anwender ein besseres Verständnis der Radarinformation zu ermöglichen. Es wird in groben Zügen auf die Entstehung des Radarbildes eingegangen, im speziellen wird das Schweizer Radarkonzept vorgestellt. Neben den umfassenden Möglichkeiten werden auch die Ungenauigkeiten im Radarbild diskutiert. Ein Abschnitt über Meteorologie geht einerseits auf die Gegebenheiten von Niederschlagssituationen ein, andererseits werden gewisse Mängel am Endprodukt dadurch besser verständlich. Schliesslich helfen einige Hinweise bei der Gefahrenerkennung und liefern dem Praktiker besonders im Bereich der Luftfahrt sicher wertvolle Entscheidungsgrundlagen. Für ein weitergehendes Studium wird auf die Fachliteratur verwiesen.

Résumé

Le but de cette courte instruction est de donner à l'utilisateur une meilleure compréhension de l'information du radar. La formation de l'image du radar est expliquée d'une manière globale, en particulier le concept radar de la Suisse est présenté. En plus des nombreuses possibilités d'application on discute aussi les imprécisions dans l'image du radar. Une section de météorologie montre d'une part les particularités des situations de précipitations et d'autre part rend ainsi certaines imperfections du produit final plus compréhensibles. Finalement certaines indications aident à la détection de dangers et donnent à l'utilisateur de précieux fondements de décision surtout dans le domaine de la navigation aérienne. On est renvoyé à la littérature spécialisée pour une étude plus approfondie.

Summary

This short guide is aimed at the user of radar images and should help him to absorb the information displayed on the screen. A description of the origin of a radar image is given in broad outlines and the Swiss radar concept is introduced in more detail. The inaccuracies contained in a radar picture are discussed as well as the comprehensive possibilities. A paragraph on meteorological interpretation is dedicated to a description of the conditions of precipitation situations. It also facilitates the understanding of some of the shortcomings of the endproduct. Finally, some hints are given to help recognise dangerous situations and supply the user with a valuable tool for decision-making, especially in aviation. For detailed studies, however, more technical literature is recommended.

Riassunto

Questo breve manuale ha lo scopo di aiutare il potenziale utente nell'interpretare le informazioni fornite dai radar. Vengono descritti sommariamente i principi di funzionamento fino alla produzione dell'immagine, con particolare attenzione ai radar operanti in Svizzera. Accanto alle loro possibilità vengono presentate anche le fonti d'imprecisione. Un capitolo meteorologico analizza le caratteristiche di alcune situazioni con precipitazioni, allo scopo di meglio comprendere alcune deficienze del prodotto finale. Da ultimo sono descritte alcune indicazioni per identificare le situazioni critiche, fornendo all'utente, soprattutto quello nel campo dell'aviazione, degli schemi di decisione utili. Per un approfondimento del tema si rimanda alla letteratura specializzata.

Radaranleitung

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	4
2. Kleine Radartheorie	4
3. Das Schweizer Radarsystem	6
4. Fehler, Ungenauigkeiten	9
4.1 Geometrische Aspekte	9
4.2 Distanzprobleme	9
4.3 Instrumentelle Fehler	10
4.4 Helles Band	10
4.5 Reflexionen	10
4.6 Besondere Niederschlagsphänomene	11
5. Meteorologische Grundlagen	12
5.1 Fronten	12
5.2 Konvektion	13
5.3 Stau am Gebirge	13
6. Anwendung, Gefahrenerkennung	15
6.1 Sicht	15
6.2 Hagel	15
6.3 Elektrische Entladungen	15
6.4 Turbulenz	15
6.5 Vereisung	16
6.6 Böen	16
Checkliste Gefahren	17
7. Radarpublikationen	18
Radarbilder mit Legende	20,21

1. Einleitung

Das Wetterradar ist ein Spezialfall eines meteorologischen Messinstrumentes. Während konventionelle Instrumente einen bestimmten Parameter an einem definierten Standort erfassen (punktuelle Stichprobe), erlaubt das Radar einen Ueberblick über einen recht grossen Raum. Mit den schweizerischen Geräten wird z.B. versucht, das Niederschlagsverhalten bis zu einem Umkreis von etwa 230 km zu erfassen. Man erhält also eine zusammenhängende, aber nicht restlos detaillierte Information. Damit ist das Radar eher mit einem Wettersatelliten als mit einem gewöhnlichen Messfühler vergleichbar.

Es ist nicht möglich, mit derselben Wellenlänge sowohl die mikroskopischen Wolkentröpfchen als auch Hagel zu erfassen. Die Radarwellenlänge wurde daher so gewählt, dass Teilchen von wenigen mm Durchmesser am besten registriert werden.

Besondere Probleme bei der Erfassung von Niederschlagsdaten mit Hilfe des Radars ergeben sich in der Schweiz wegen der Topografie. Zwar liefert auch hier das Radar wertvolle Informationen über den Niederschlag aus Gebieten, in denen keine Niederschlagsmessgeräte vorhanden sind. Viele Geländekammern können aber vom Radar nicht ausgeleuchtet werden. Von diesen Regionen, die im Radarschatten liegen, sind entsprechend schlechtere Niederschlagsdaten erhältlich.

Die Bedürfnisse der Benutzer von Radarinformationen sind sehr unterschiedlich: der Meteorologe beurteilt die Struktur von Niederschlagsgebieten und ihre Verlagerung, der Pilot erkennt Gefahrenherde und der Bürger möchte Aussagen über kurzfristige Niederschläge.

2. Kleine Radartheorie

Radar für militärische Zwecke gab es bereits im zweiten Weltkrieg. Dabei entdeckte man störende Wetterechos. Dies bedeutet, dass mit dem gleichen Gerät auch meteorologische Phänomene erfasst werden können. Seither erfolgte eine stete und umfassende Entwicklung, sodass wir heute Radaranlagen zur Verfügung haben, die für den Wetterdienst und seine Anwendungen bereits recht gut angepasst sind.

Das Funktionsprinzip ist etwa folgendes:

Ein spezielles elektromagnetisches Signal (vergleichbar mit einem Lichtblitz) wird über einen Hohlleiter auf eine parabolische Antenne geworfen. Die Impulsdauer beträgt dabei nur einige Millionstelsekunden. Verfolgen wir nun einen solchen Impuls!

Bei blauem Himmel wird er mit zunehmender Distanz und wegen der Dämpfung in der Luft immer schwächer und verliert sich im Unendlichen. Trifft der Strahl aber auf eine Niederschlagszelle, so wird ein Teil der Strahlenergie reflektiert und kehrt zur Antenne zurück.

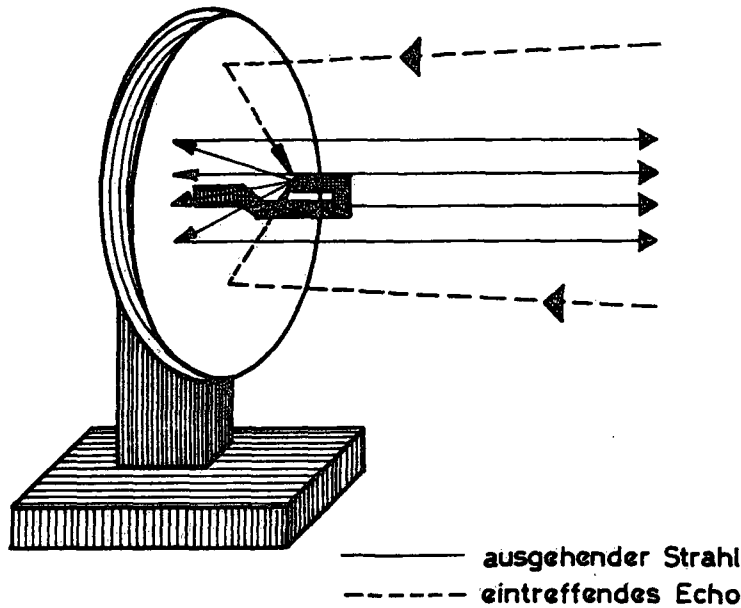


Abb. 1: Radarantenne mit ausgehendem und eintreffendem Signal

Dies geschieht mit Lichtgeschwindigkeit, d.h. eine Tausendstelsekunde nach dem Aussenden wird Information über eine Regenwolke im Abstand von 150 km empfangen. Nach einem bestimmten physikalischen Gesetz liefern grössere Tropfen ein stärkeres Echo als kleine, die stärksten Echos stammen von Hagelkörnern.

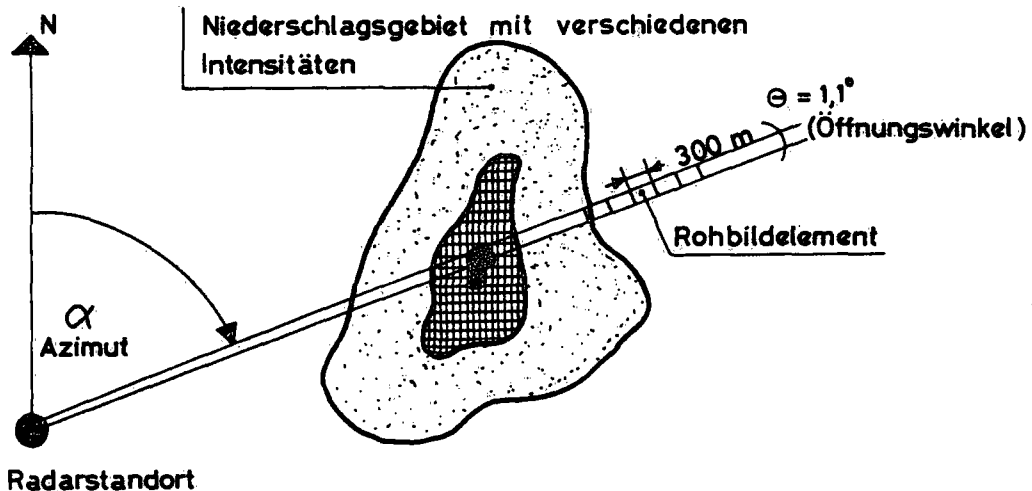


Abb. 2: Echoentstehung in einer Niederschlagszelle (Grundriss)

"Echo" bedeutet hier die Menge der zurückkommenden Energie im Vergleich zur ausgestrahlten. Dies ist natürlich ein extrem kleiner Bruchteil. Aus der Laufzeit des Signals ergibt sich der Abstand der reflektierenden Niederschlagsteilchen von der Antenne.

Es wird nun periodisch ein neuer Impuls ausgesandt, dies mit einer Frequenz (Pulsrepetitionsfrequenz, PRF) von mehreren hundert Impulsen pro Sekunde. Gleichzeitig dreht sich die Radarantenne um eine senkrechte Achse. Dadurch wird der ganze Umkreis laufend ausgeleuchtet. Um auch Informationen aus der vertikalen Dimension zu erhalten, muss schrittweise auch noch die Antennenelevation variiert werden.

Man kann sich leicht vorstellen, dass sich ein räumliches Bild aus einer Riesenmenge von Punktdaten zusammensetzt, welche zu einem brauchbaren Ganzen zusammengefügt werden müssen. Dazu wird ein leistungsfähiges Rechnersystem eingesetzt. Man erhält so schliesslich eine Darstellung, welche ein möglichst genaues Abbild der Radarechos in einem dreidimensionalen Koordinatensystem ist. Die unterschiedlich starken Echos werden nun noch in verständliche Einheiten umgewandelt, und zwar wählt man dazu die "Regenleistung", also die Regenmenge pro Zeiteinheit, z.B. in mm/h. Das bedingt, dass zu jeder Radarechointensität die zugehörige Regenintensität bekannt ist. Leider ist dieser Zusammenhang aus theoretischen Gründen nicht eindeutig festlegbar. Ueber eine Vielzahl von Messungen konnte man aber doch vernünftige Werte festlegen, die im Mittel recht gut mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Jetzt liegen also Radardaten vor, die einen Ueberblick über die Niederschlagsituation liefern.

Die Niederschlagserfassung wird mit zunehmender Distanz allmählich schlechter, und ab etwa 200 km ist kein brauchbares Bild mehr erhältlich. Das Radarbild enthält oft auch Falschinformationen. So ergibt z.B. eine Bergflanke einen sehr hohen Echowert, welcher mit einem Starkniederschlag vergleichbar ist. Solche Echos lassen sich aber weitgehend eliminieren, da sie bei den meisten meteorologischen Randbedingungen in gleicher Weise auftreten. Allerdings verliert man beim Herausfiltern der Bergechos auch Informationen über allenfalls vorhandenen Niederschlag. Niederschlagsmessungen mit Radar sind nicht exakt, denn es wird ja stets aus der Stärke des Radarechos in einer bestimmten Höhe über Grund auf den uns interessierenden Niederschlag am Boden geschlossen. Die Bestimmung erfolgt also indirekt, wobei zwei mit Unsicherheiten behaftete Beziehungen eine Rolle spielen: einerseits die Beziehung zwischen Radarecho und Niederschlagsintensität, andererseits die Beziehungen zwischen dem Niederschlag in der Höhe und am Boden.

3. Das Schweizer Radarsystem

Dem Schweizer Wetterdienst steht seit Ende der Siebziger Jahre ein modernes Radarsystem zur Verfügung. Es befindet sich je eine Antenne auf dem Albis bei Zürich und auf La Dôle bei Genf. An beiden Standorten generieren lokale Rechner die Einzelbilder, ein spezieller Computer in Locarno-Monti produziert kombinierte Bilder von Albis und La Dôle. Die Wartung der Radaranlagen erfolgt durch die Swiss Control AG (früher Radio Schweiz).

Technische Daten:

f	Frequenz	5,5 GHz
λ	Wellenlänge	5,5 cm
τ	Impulsdauer	2 μ s
PRF	Pulsrepetitionsfrequenz	259 Hz
Pt	Sendeleistung	250 kW
P	Empfangsleistung	10 W
θ	Strahlöffnung	1,1°

Bildschirm: 256 Zeilen zu 320 Punkten, Ausschnitt 3-11° Ost, 45-49° Nord.

Die im Radarrechner gespeicherte Information wird auf einem Bildschirm der Geografie getreu auf die Ebene projiziert. Es steht ein Feld von etwa 600 x 400 km² zur Verfügung. Landesgrenzen, Flüsse und einzelne Städte sind auf dem Bild fest vorgegeben und erleichtern die Orientierung. Pro Flächenelement von 2 x 2 km² wird das stärkste darüberliegende Echo verwendet (Maximadarstellung). Gleichermassen werden Seitenrisse in West-Ost- und Nord-Süd-Richtung produziert. In der Höhenskala beträgt die Auflösung 1 km, die gesamte Höhenstreckung geht über 12 km. Mit diesen drei Projektionen wird die dreidimensionale Struktur des Niederschlages erkennbar gemacht. Alle zehn Minuten wird ein neues Bild produziert, sodass man nun auch über die Entwicklung von Niederschlagszellen Aufschluss erhält.

Zur Verbesserung der räumlichen Ausleuchtung werden die Informationen beider Radars kombiniert. Das Kompositbild ist also ein zusammengesetztes Bild von Albis und La Dôle, wobei auch hier zu jedem Bildelement der höhere Echowert verwendet wird. So lassen sich die durch die Topografie abgeschatteten Gebiete stark reduzieren.

Zur Darstellung auf dem Bildschirm stehen neben Schwarz und Weiss weitere 6 Farben zur Verfügung, sodass für 6 Echostufen eine eindeutige Zuordnung möglich ist. Regenintensitäten unter 0,3 mm/h werden nicht abgebildet, und alle Werte über 100 mm/h werden der höchsten Stufe zugeordnet.

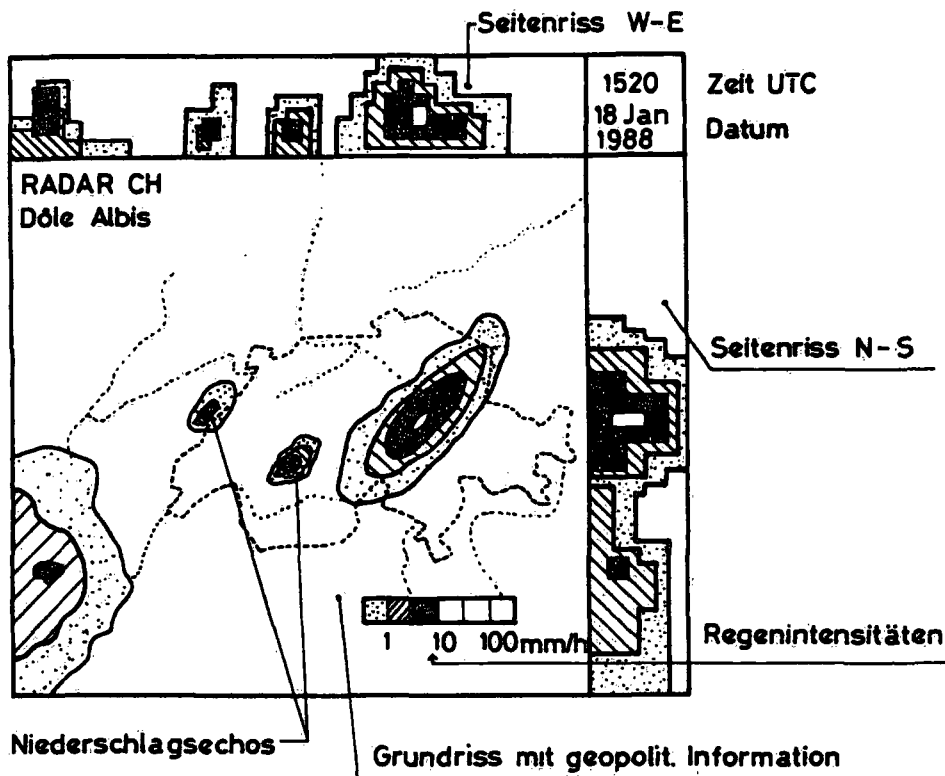


Abb. 3: Schematisches Beispiel eines Radarbildes

Die Verbreitung der Radarbilder erfolgt auf festen Leitungen. Auf jedem Bildschirm kann die Information wahlweise direkt von der Radarstation bezogen werden (SINGLE), oder das Kompositbild von Locarno-Monti.

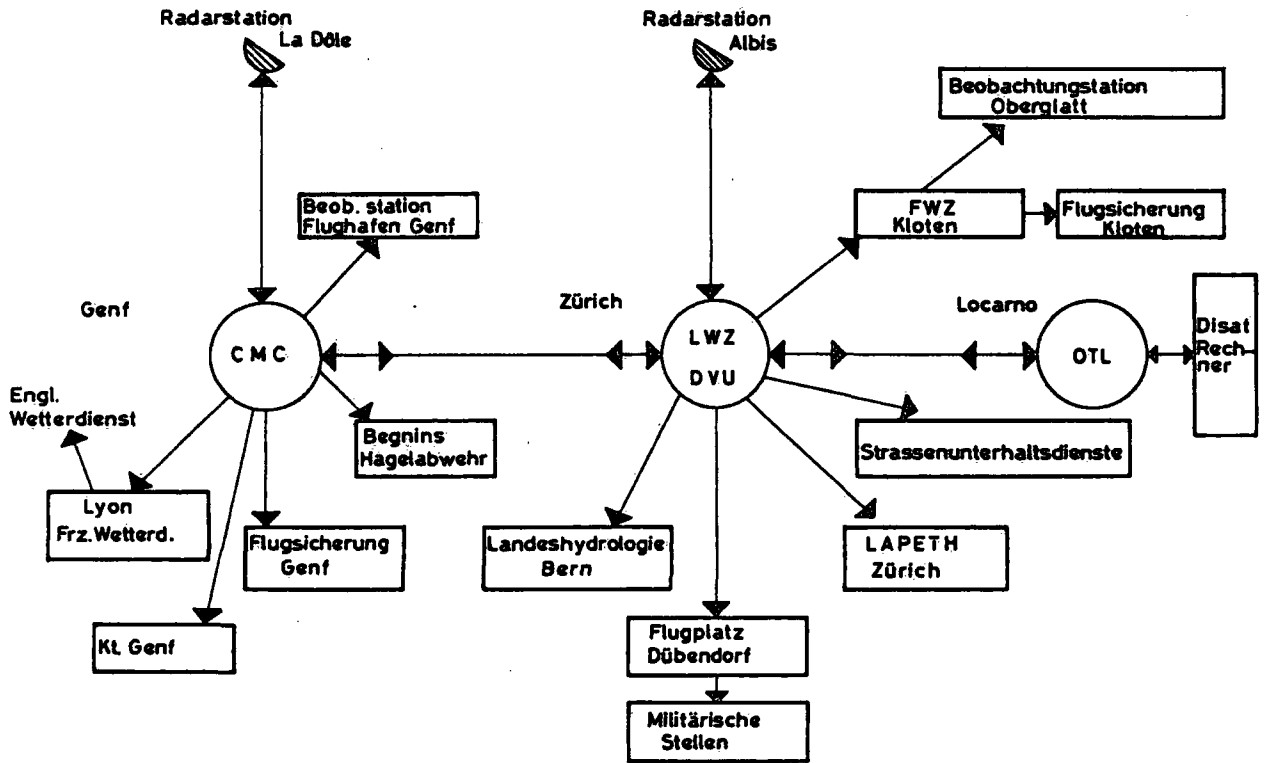


Abb. 4 : Netz mit Radarstationen - Rechner - Abnehmer (vereinfacht)

Am Schaltpult der Greenbox kann das Programm eingestellt werden: SINGLE oder COMPOSIT, Farbwahl usw.

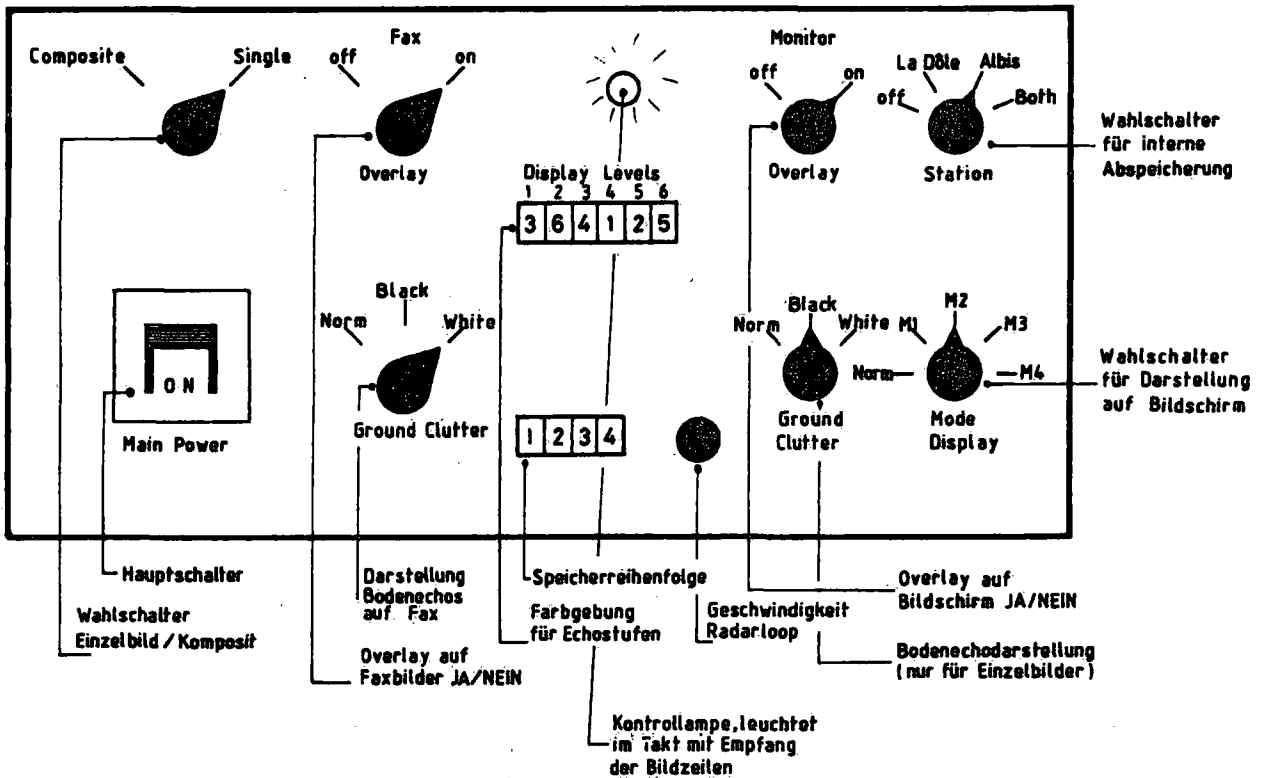


Abb. 5 : Schaltelemente der Greenbox

4. Fehler, Ungenauigkeiten

Ausser den allgemeinen Einschränkungen, die unter 2) bereits erwähnt wurden, gibt es noch eine Menge von Effekten, die dafür sorgen, dass das Radarbild nicht genau der Niederschlagswirklichkeit entspricht, und die eine Interpretation nötig machen.

4.1 Geometrische Aspekte

Berge und Erdkrümmung erschweren die Sichtbarkeit mit zunehmender Entfernung. So befindet sich ein horizontaler Strahl in 100 km Entfernung bereits etwa 800 m über der Ausgangshöhe. Durch Refraktion wird dieser Effekt etwas verkleinert (auf etwa 600 m), d.h. der Radarstrahl wird durch die Dichteverhältnisse der Atmosphäre etwas zum Boden abgelenkt. Man sieht somit in geringem Umfang um die Erdkugel oder um Gebirgszüge herum.

Für unser Komposit bedeutet dies, dass unterhalb 1000 m sehr wenig erfasst wird, in den Alpen verschwindet die Information unterhalb 4 km, und auf der Alpensüdseite sieht man von den beiden Stationen Albis und La Dôle aus kaum etwas unter 7 km.

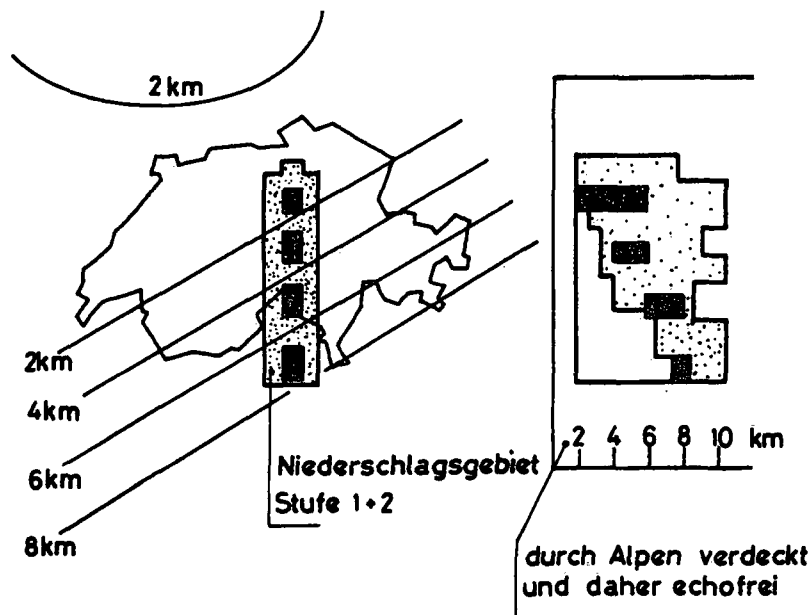


Abb. 6: untere Begrenzung des Radarbildes in km über Meer sowie dementsprechend reduzierter Seitenriss

4.2 Distanzprobleme

Im Nahbereich ist das SINGLE-Bild unvollständig, da die maximale Elevation der Antenne 39° beträgt. Ab etwa 15 km ist das Bild vollständig.

Im Fernbereich werden die meteorologisch interessanten Echos der Stufe 1 gleich stark wie das Rauschen (diffuse, nichtmeteorologische Echos.) Die Konsequenz davon ist, dass ab 150 km Distanz von

der Antenne die Stufe 1 gar nicht mehr angegeben wird. Dies wird im Flächendurchschnitt dadurch kompensiert, dass die Stufe 2 etwas ausgeweitet wird.

4.3 Instrumentelle Fehler

Es gibt hier viele Effekte, die meist recht klein sind und kaum ins Gewicht fallen. So bewirkt ein nasser Radom (Radarkuppel) noch keine merklichen Fehler, hingegen können nasser Schnee oder sehr starker Reif in Einzelfällen zu einem gestörten Bild führen. Mit zunehmender Distanz sinkt die Auflösung des Bildes, sodass Feinstrukturen der Niederschlagsfelder nicht mehr aufgelöst werden. Auch können natürlich Schwankungen der Niederschlagsintensität von weniger als 10 Minuten Dauer oder innerhalb des Rasters von $2 \times 2 \text{ km}^2$ nicht erfasst werden.

4.4 Helles Band

Schmelzende Niederschlagspartikel weisen infolge Kombination von mehreren Effekten eine höhere Reflektivität auf als Pulverschnee oder Regen, ohne dass dies stärkeren Niederschlag bedeutet. In der Zone direkt unterhalb der Nullgradgrenze finden wir daher auf dem Radarbild ein leicht verstärktes Echo. Die Verstärkung beträgt $1/2$ bis 1 Stufe. In den Seitenrissen erscheinen dadurch besonders bei flächigem Niederschlag oft horizontale Bänder erhöhter Reflektivität.

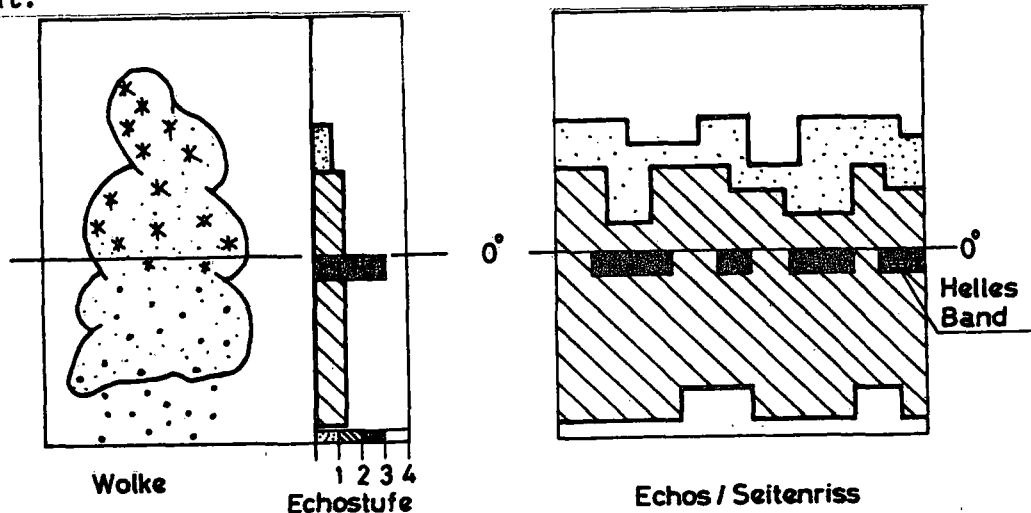


Abb. 7 : Querschnitt durch Wolke und Niederschlagsfeld mit hellem Band

4.5 Reflexionen

Bei Vorhandensein einer Temperaturinversion (zunehmende Temperatur mit der Höhe) kann ein Teil des Radarstrahls zum Boden gelenkt werden. Damit entstehen vorzugsweise von Berghängen starke Echos bis Stufe 6 auf zufälliger Höhe. Das führt zu heute noch kaum korrigierbaren Bodenechos. Solche Echos geben immerhin die Position von Bergflanken korrekt wieder.

In speziellen Fällen kann ein echtes Radarecho nur mit Mühe von solchen Reflexionen unterschieden werden (vergleichbar mit Fata Morgana). Besonders günstig für derartige Effekte sind Nebel- oder Hochnebellagen sowie winterliche Warmfronten.

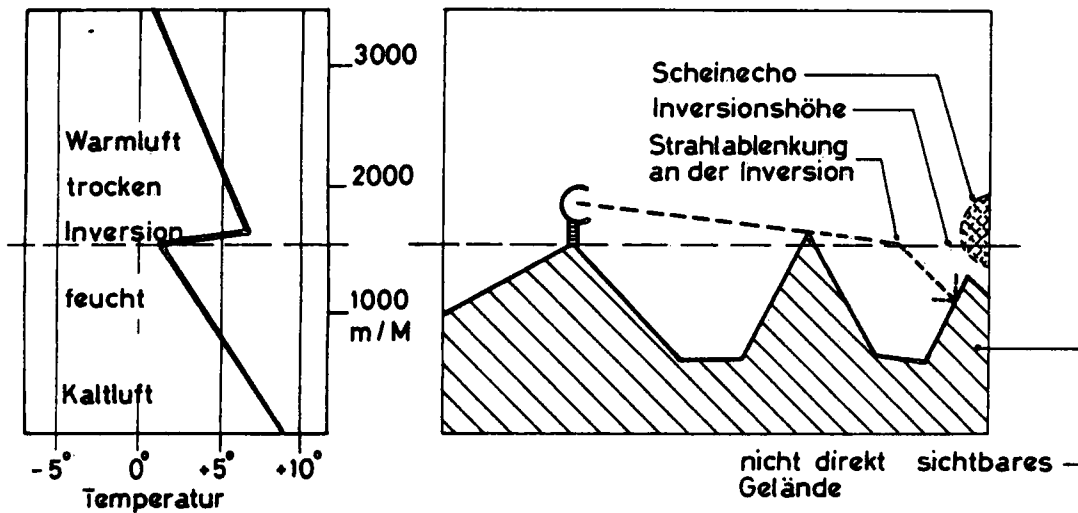


Abb. 8 : Entstehung von Reflexionen

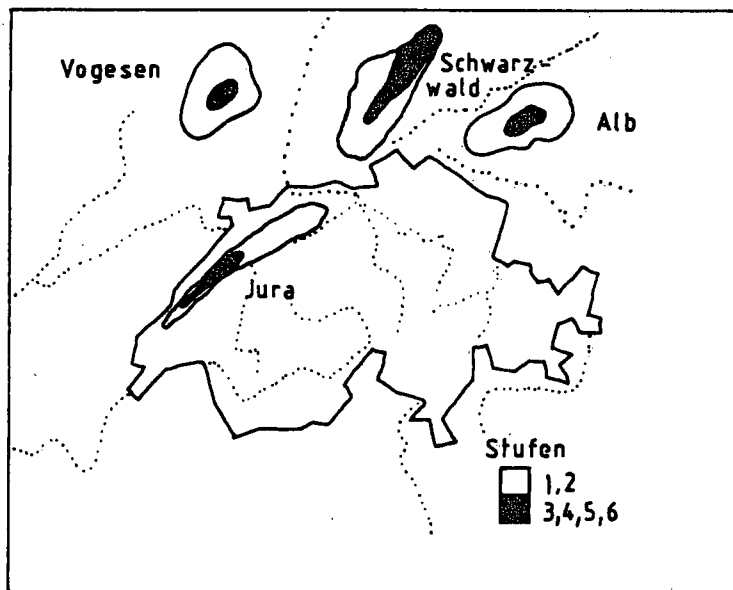


Abb. 9 : Beispiel mit Reflexionen

4.6 Besondere Niederschlagsphänomene

In einigen Wettersituationen kann auf bestimmte Radarfehler geschlossen werden. So kann z.B. das Radar bei Föhnlagen, schwachen Schauern oder Warmfronten Regen anzeigen, dieser erreicht aber den Boden nicht, da er unterwegs verdunstet.

Generell werden sehr schwache Echos nicht erfasst: Schneefall bei sehr tiefen Temperaturen oder Sprühregen ergeben Echowerte unterhalb der 1. Stufe und erscheinen somit auf dem Bild nicht.

Sehr starke Niederschläge wie grosse Gewitterzellen oder aktive Fronten absorbieren einen beträchtlichen Teil der Radarenergie. Dahinter liegende Niederschlagsgebiete werden daher nicht mehr in voller Stärke erkannt.

5. Meteorologische Grundlagen

Da das Radar nur Niederschlagspartikel erkennt, sei in Kürze auf die Niederschlagsentstehung eingegangen. Dabei ist immer eine Wolke beteiligt, die durch irgendeinen Hebungsmechanismus in die Höhe steigt. Die darin befindliche Luft kühlt sich laufend ab, sodass zusätzlicher Wasserdampf in den festen oder flüssigen Zustand übergeführt wird. Es entstehen dann Regentropfen, Schneekristalle oder Graupeln. Es gibt im wesentlichen drei Mechanismen, die zu Niederschlagsbildung Anlass geben:

5.1 Fronten

Beim Aufeinandertreffen von Luftmassen verschiedener Temperatur wird die wärmere Luft über die kältere angehoben. Im Bereich der aufsteigenden Warmluft erfolgt somit Abkühlung und in der Folge Kondensation. Daraus ergibt sich im allgemeinen ein flächiger und gleichmässiger Niederschlag.

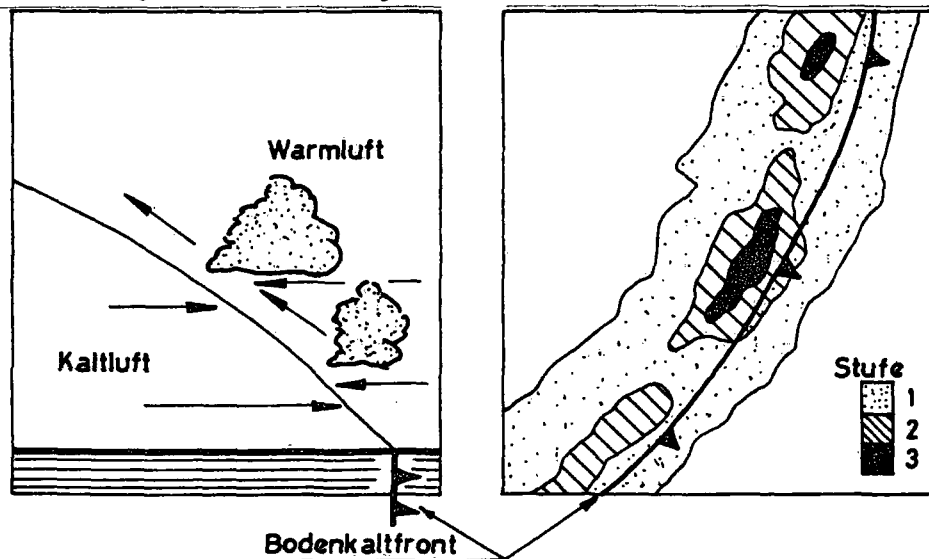


Abb. 10 : Querschnitt durch eine Kaltfront mit typischem Radarbild

5.2 Konvektion

Infolge starker Bodenaufheizung, besonders im Frühling und Sommer, beginnt die Luft stellenweise aufzusteigen. Ist genug Feuchtigkeit vorhanden und die Schichtung der Atmosphäre günstig, so entstehen Quellwolken. Bei weiterem Anwachsen dieser Wolken können Schauer- oder Gewitterzellen entstehen.

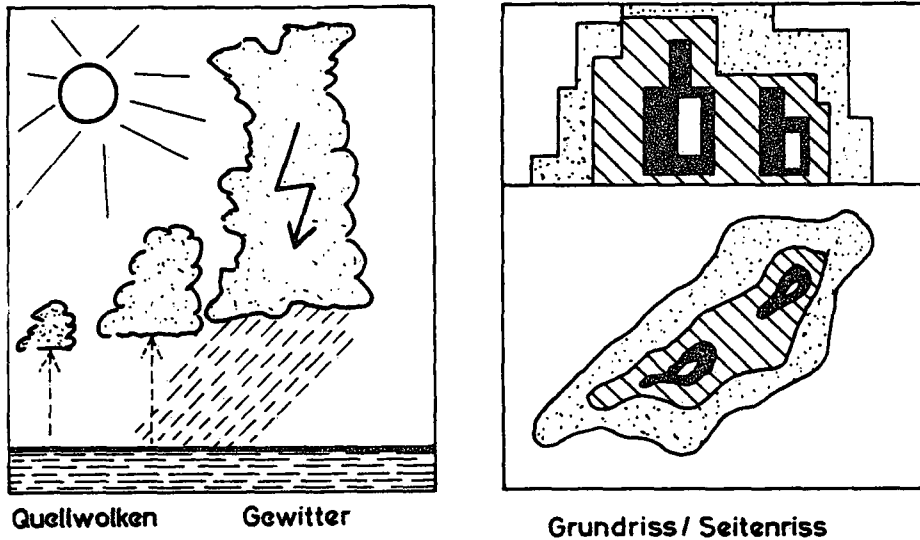


Abb. 11: Entstehung konvektiver Wolken und typisches Radarbild.

5.3 Stau am Gebirge

Wenn eine Strömung gegen ein Gebirge gerichtet ist, wird am Luvhang Hebung erzwungen. Ist in der anströmenden Luftmasse genügend Feuchtigkeit vorhanden, dann entstehen ebenfalls Wolken und eventuell Niederschlag (Beispiel: am Alpennordhang bei Nordwestlagen).

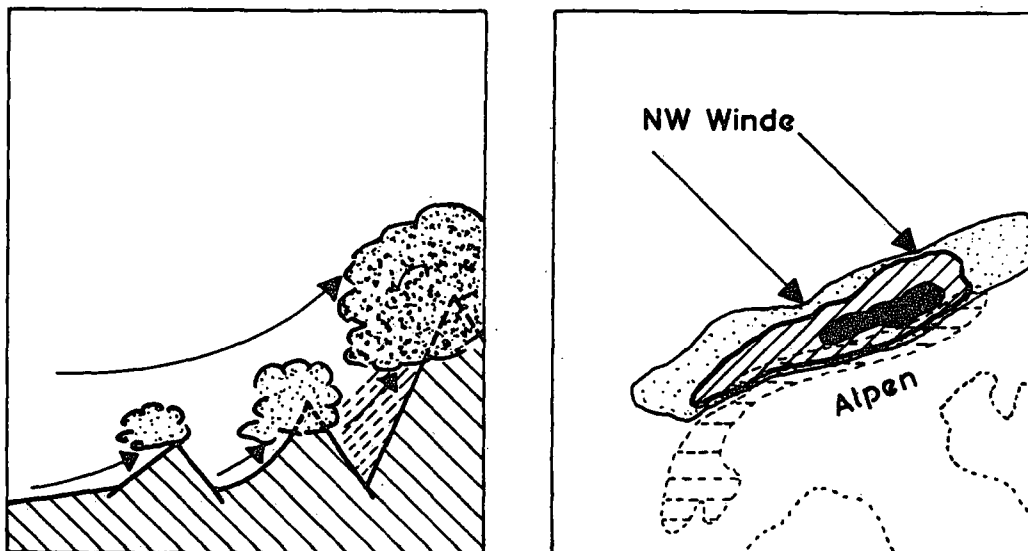


Abb. 12 : Stauniederschlag mit typischem Radarbild

Aufgrund des Radarbildes kann meistens auf den Hebungsmechanismus geschlossen werden:

- Fronten zeigen in der Regel bänderartige Formen der Niederschlagsgebiete, die einzelnen Niederschlagszellen darin verlagern sich nahezu parallel zur Gesamtkontur;
- Gewitter weisen Zellenstruktur auf, sie sind oft kreisförmig oder elliptisch. Die vertikale Erstreckung ist beträchtlich, der horizontale Durchmesser recht gering;
- Stauniederschlag hat dort ein Maximum, wo der Gebirgshang grossräumig betrachte am steilsten ansteigt.

In allen diesen Fällen läuft die Niederschlagsbildung nach dem gleichen Schema ab. Innerhalb jeder grösseren Wolke gibt es Zonen, wo die Aufwinde eine wesentliche Rolle spielen. Bei Fronten dauern sie lange an, betragen typischerweise aber nur etwa 10 cm/s, Gewitter sind kurzlebiger, erreichen aber Vertikalgeschwindigkeiten von bis zu 40 m/s. Dank diesen Aufwinden können nun grössere oder kleinere Niederschlagsteilchen in der Schwebelage verbleiben oder gar ansteigen. Es resultiert daraus eine unter Umständen beträchtliche Verweilzeit, während der das Partikel durch Ansammeln von Wasserdampf zu kleinen Tröpfchen oder Eissplittern wächst. Sobald das Teilchen im Vergleich zum herrschenden Aufwind zu schwer ist, beginnt es, als Niederschlag zu Boden zu fallen.

Es sei hier wiederholt: was das Radar dabei sieht, sind ausschliesslich Niederschlagspartikel von mindestens etwa 0,1 mm Durchmesser, und zwar innerhalb oder ausserhalb einer Wolke. Die Wolke selber erscheint durchsichtig.

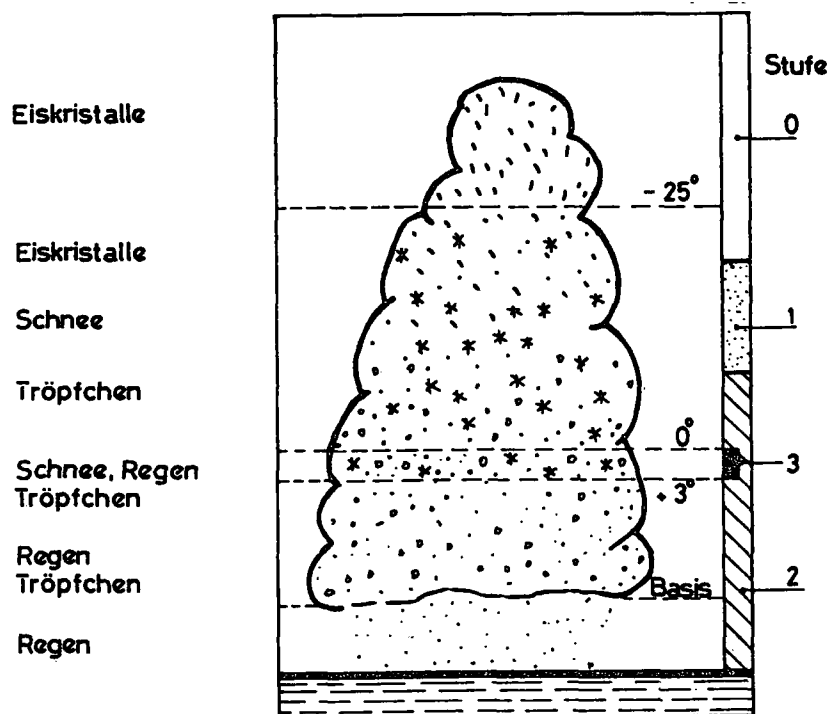


Abb. 13 : Querschnitt durch eine Regenwolke mit Radarprofil

6. Anwendung, Gefahrenerkennung

Das Radar gibt entsprechend seiner Natur keine direkte Information über Gefahren. Dennoch können aus der Erfahrung viele Hinweise abgeleitet werden, die für Benützer am Boden oder in der Luft oft von grossem Nutzen sind.

6.1 Sicht

Innerhalb des ganzen Echobereichs muss die Sicht als schlechter als 1 km angenommen werden, abgesehen von einem bodennahen Bereich unterhalb der Wolkenbasis (diese kann z.B. der Flugwetterprognose entnommen werden). Starkniederschläge können allerdings auch in diesem bodennahen Bereich sehr geringe Sichtwerte bewirken. Ab Stufe 2 muss in jedem Fall mit weniger als 10 km gerechnet werden, in starken Gewittern (ab Stufe 5) kann die Sicht auch unterhalb der Wolken unter 1 km sinken.

Bei Schneefall sieht es wesentlich schlechter aus, da dürfte bereits bei Stufe 3 kaum mehr 1 km erreicht werden.

6.2 Hagel

Auch Hagel kann nur indirekt beurteilt werden. Bis Stufe 4 wird kein Hagel beobachtet, allenfalls Schneegraupel. Bei Stufe 5 wird Hagel als möglich angesehen, bei Stufe 6 ist er wahrscheinlich. Eine verfeinerte Anleitung verlangt, dass 1,4 km oberhalb der Nullgradgrenze Stufe 5 vorhanden sein muss, dann beträgt die Wahrscheinlichkeit für Hagel etwa 50 %.

6.3 Elektrische Entladungen

Eine eindeutige zellige Struktur mit guter vertikaler Erstreckung (Aufwindkanäle von mindestens etwa 3 km) ist in der Regel Voraussetzung für das Auftreten von elektrischen Entladungen. Dabei können Blitze ab Stufe 3 als möglich angesehen werden. Sommerliche Zellen der Stufe 5 und 6 weisen mit hoher Sicherheit eine starke elektrische Aktivität auf.

6.4 Turbulenz

Turbulenz ist vermutlich die am schwierigsten zu beurteilende Grösse. So wurden bei frontalen Ereignissen schon vollständig überraschende Befunde gemeldet. Zudem gibt es sehr oft Turbulenz im niederschlags- und wolkenfreien Raum. Bei flächigem Niederschlag kann die Turbulenz im allgemeinen als schwach bis mässig eingestuft werden. Bei konvektiven Zellen korreliert sie recht gut mit der Echostärke. Ab Stufe 4 ist mindestens kleinräumig starke Turbulenz wahrscheinlich, oft auf der Vorderseite des stärksten Echos.

6.5 Vereisung

Grundsätzlich besteht die Gefahr von Vereisung im Temperaturbereich von 0° bis -25°. Bei tieferen Temperaturen kommen in der Natur praktisch keine Tröpfchen mehr vor. In Verbindung mit flächigen Niederschlägen besteht Vereisungsgefahr bis etwa -15°, in konvektiven Zellen bis -25°. Grundsätzlich besteht aber kaum eine Korrelation zur Echostärke, und sogar im echofreien Bereich kann starke Vereisung vorkommen (z.B. in unterkühltem Hochnebel).

6.6 Böen

Böen sind oft überhaupt nicht mit Niederschlag in Verbindung zu bringen. Es kann aber angenommen werden, dass bei konvektiven Zellen die Böentätigkeit mit der Echostärke korreliert. Eine Faustregel besagt, dass zur Abschätzung der Böenspitzen der freie Wind (auf etwa 1500 m) zum Fünffachen der Echostufe addiert werden soll.

Beispiel: freier Wind 15 kt, Zelle mit Stufe 4.
Es sind Böen bis zu 35 kt wahrscheinlich.

Es gilt zu allen diesen Hinweisen auch folgender Grundsatz: keine Echos bedeuten nicht mit Sicherheit problemlose Bedingungen, da durch Abschattung und andere Effekte häufig Information verloren geht.

Die folgende Tabelle soll einen Ueberblick über diese Regeln geben. Die Angaben sind als grobe Richtwerte zu verstehen.

Checkliste Gefahren

Gefahren- kategorie		Echostufen					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Sicht unterhalb Wolke	Regen		<10km			<1km	
	Schnee	<10km		<1km			
Hagel						mög- lich	wahr- schein- lich
elektrische Entla- dungen (nur wenn kon- vektive Zellen)				mög- lich	wahr- schein- lich	praktisch sicher	
Turbulenz für Echo	flächig		gering bis mässig			stark	
	zellig		mässig	stark		sehr stark	
Vereisung in allen Fällen möglich, besonders bei schnell wachsenden Echos							
Böen			kaum	wahrschein- lich 20 - 30 kt		fast sicher > 30 kt	

7. Radarpublikationen

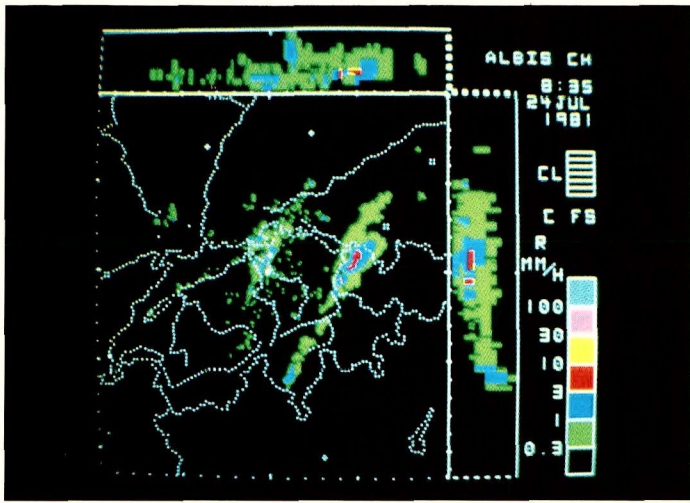
- Skolnik M.I. Radarhandbook
Mc Graw - Hill Book Company, 1970
- Joss et al. On the quantitative determination of
precipitation by radar, Zürich ETH
City Druck AG Zürich, 1970
- Battan L.J. Radar observation of the atmosphere
The university press Chicago, 1973
- Joss J. Erfassung von Wetterradardaten in der
Schweiz,
Arbeitsbericht der SMA Nr. 79, 1978
- Waldvogel A. Radarmeteorologie
Skript einer Vorlesung, 1980
- Sauvageot H. Radarmétéorologie
Editions Eyrolles, Paris, 1982
- Cavalli et al. Wetterradar in der Schweiz
Wissenschaftliche Kolloquien der SMA
Abt. F, S. 83 - 109, 1982
- Joss J. and
Kappenberger G. Quantitative measurement of precipitation
with radar in an alpine country
Proc. 22nd Conf. of radar meteorology,
Sept 1984.
AMS Boston Mass., S. 270 - 275
- Joss J. und
Waldvogel A. Precipitation Measurement and Hydrology,
Arbeitsbericht der SMA Nr. 145, 1987
- Joss J. und
Gutermann Th. Niederschlagsmessung mit Radar: Verfahren
zur Bestimmung von Gebietsniederschlägen,
Wissenschaftliche Kolloquien SMA
Abt. F, S. 192 - 200, 1987

Adresse des Autors:

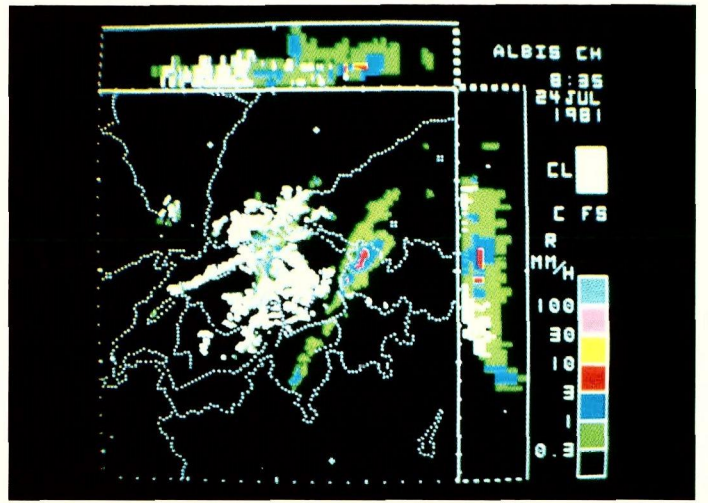
Patrick Hächler
Schweizerische Meteorologische Anstalt
Krähbühlstr. 58
8044 Zürich
Schweiz

Legende zu den Radarbildern

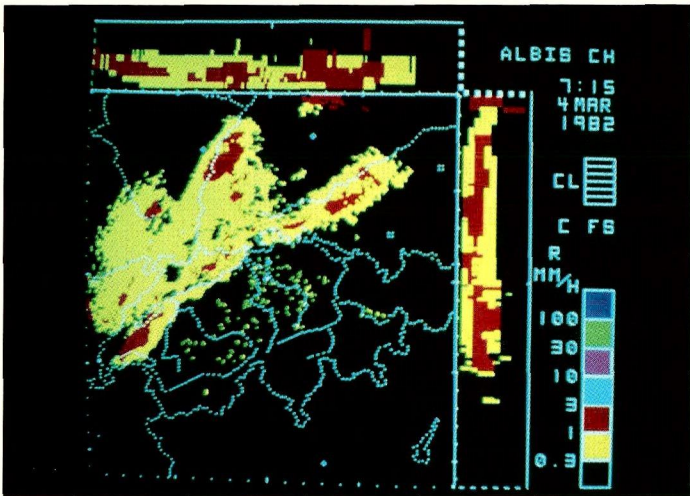
- 1 Gewitterlinie Tessin-Vorarlberg sowie sekundäre Schauerlinie Luzern-Schaffhausen. Im Nord-Süd-Querschnitt (rechts) fehlt in auffälliger Weise Information aus dem Alpenbereich, da keine Sichtverbindung besteht.
- 2 Gleiches Bild wie 1, aber mit Bodenechos (weiss). Besonders gut sichtbar ist z.B. der Jurasüdhang zwischen Neuenburg und Brugg.
- 3 Frontales, flächiges Echo längs des Juras aus der Perspektive von Radar Albis.
- 4 Gleiche Situation wie 3, aber aus der Sicht von Radar La Dôle. Der echofreie Bereich im Nordosten ist bedingt durch die Abdeckung durch das Flugsicherungsradar, das in der Nähe steht.
- 5 Bilder 3 und 4 kombiniert: Kompositbild mit Ausnützung der Information beider Radarstationen (es wird an jedem Bildpunkt der stärkere der beiden Echowerte verwendet).
- 6 Mehrere Gewitterzellen in verschiedenen Regionen. Die scharfe östliche Begrenzung der Zelle am Klausenpass ist teilweise technisch bedingt (Randbereich von Radar La Dôle).
- 7 Linienförmiges, ziemlich schwaches Echo parallel zum Jura. Die Kontur im Raum Olten ist zum Teil reliefbedingt: Echos über den südlichsten Juraketten können nicht von Bodenechos unterschieden werden und sind hier vollständig unterdrückt worden.
- 8 Bodenechos bei einer Inversionslage. Ueber Süddeutschland wird die höchste Echostufe erreicht.



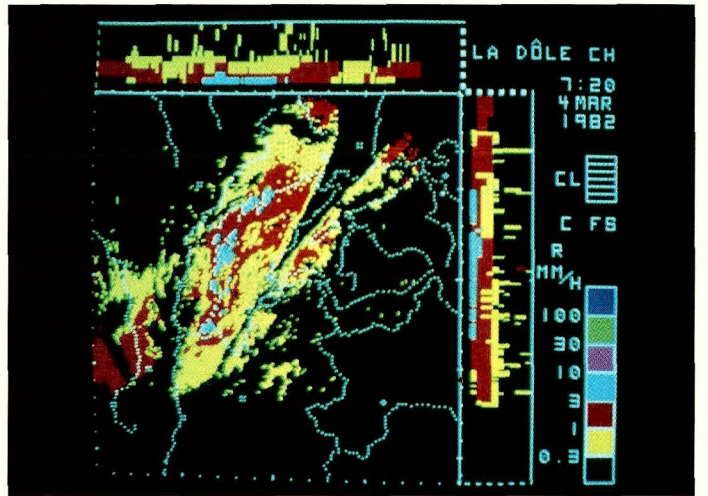
1



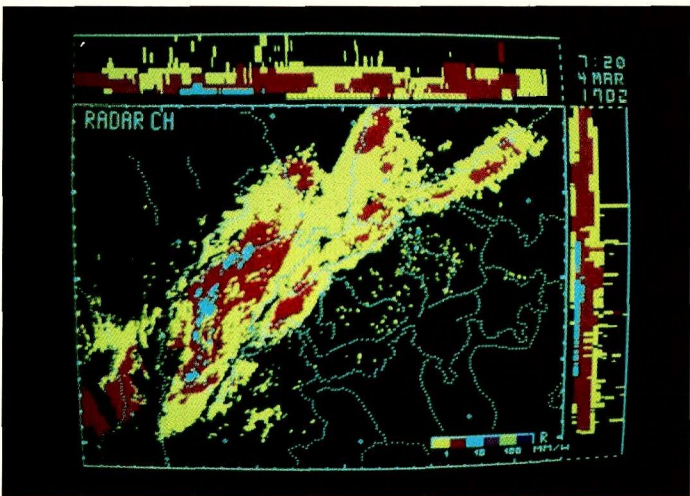
2



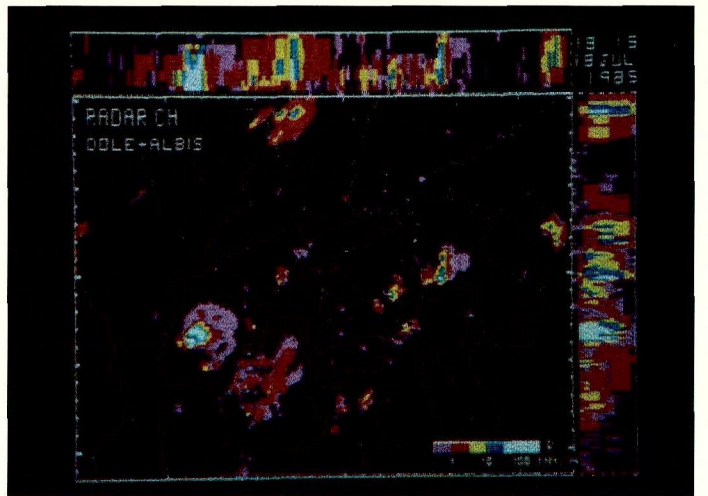
3



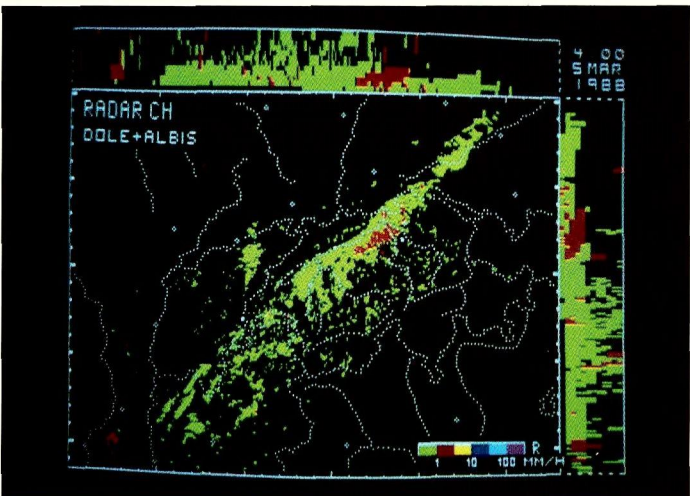
4



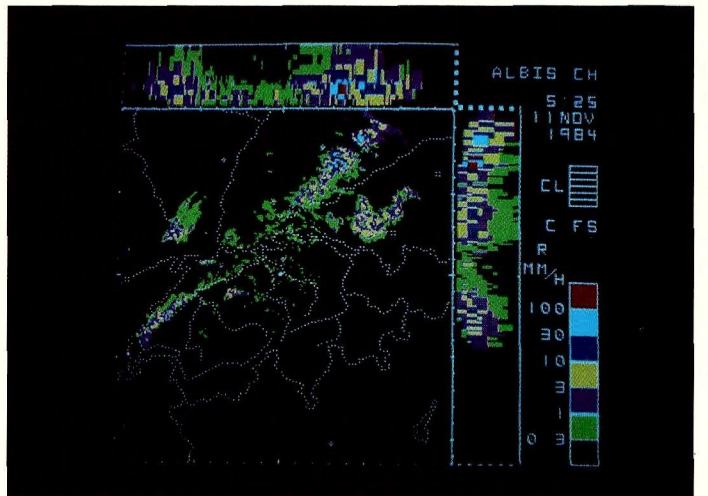
5



6



7



8

