

Environmental meteorology – Ground-based
remote sensing of precipitation – Weather radar

Einsprüche bis 2024-05-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal
<http://www.vdi.de/3786-20>
- in Papierform an
VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft
Fachbereich Umweltmeteorologie
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung.....	2
Einleitung.....	2
1 Anwendungsbereich.....	3
2 Begriffe.....	4
3 Formelzeichen und Abkürzungen.....	5
4 Grundlagen der Radarmessung.....	6
4.1 Messprinzip des Wetterradars.....	6
4.2 Radargleichung.....	6
4.3 Rückstreuquerschnitt.....	7
4.4 Räumliche Auflösung.....	7
4.5 Zeitliche Auflösung.....	8
5 Aufbau und Betrieb eines Wetterradars.....	8
5.1 Ausführungsformen.....	8
5.2 Komponenten des Wetterradars.....	8
5.3 Frequenzbänder.....	12
5.4 Messplanung und Strategie.....	12
6 Messgrößen und Zielgrößen.....	13
6.1 Messgrößen.....	13
6.2 Übersicht der Zielgrößen.....	13
6.3 Radarreflektivitätsfaktor.....	14
6.4 Radialgeschwindigkeit.....	14
6.5 Polarimetrische Zielgrößen.....	14
6.6 Unsicherheit des Radarreflektivitätsfaktors.....	15
7 Niederschlagsbestimmung.....	16
7.1 Regenintensität.....	16
7.2 Regentropfengrößenverteilung.....	16
7.3 Form fallender Regentropfen.....	16
7.4 Bestimmung der Regenintensität aus dem Reflektivitätsfaktor.....	17
7.5 Niederschlagsbestimmung mittels polarimetrischer Zielgrößen.....	17
7.6 Klassifikation von Hydrometeoren.....	19
8 Einflussgrößen auf die Niederschlagsbestimmung.....	19
8.1 Übersicht.....	19
8.2 Radom.....	22
8.3 Abschattung und ungleichmäßige Strahlfüllung.....	23
8.4 Dämpfung.....	23
8.5 Strahlausbreitung.....	24

Inhalt	Seite
8.6 Nicht meteorologische Echos.....	27
8.7 Drift und Verdunstung.....	28
8.8 Schmelzschicht.....	28
8.9 Zeitliche Auflösung.....	29
8.10 Elektromagnetische Störungen.....	29
9 Qualitätssicherung.....	29
9.1 Kalibrierung.....	30
9.2 Wartung.....	30
9.3 Inspektion des DWD.....	30
9.4 Wartung des DWD.....	31
9.5 Überwachung (Monitoring).....	31
9.6 Qualitätsindizes.....	32
10 Koordinatentransformation und Kompositierung.....	32
10.1 Koordinatentransformation.....	32
10.2 Kompositierung.....	32
11 Verbesserung der Niederschlagsbestimmung durch Kombination mit anderen Messverfahren.....	33
11.1 Vor- und Nachteile der Radarmessung im Vergleich zur konventionellen Niederschlagsmessung.....	33
11.2 Aneichung.....	33
12 Kurzfristvorhersage (Nowcasting).....	35
13 Anwendungen und Anforderungen in der Wasserwirtschaft.....	36
13.1 Onlineanwendung von Radarniederschlagsdaten.....	36
13.2 Offlineanwendungen von Radarniederschlagsdaten.....	38
14 Ressourcen und Werkzeuge zur Anwendung von Radarniederschlagsdaten.....	39
14.1 Radardaten.....	39
14.2 Werkzeuge für die Verarbeitung von Radardaten.....	40
Anhang Mikro-Regenradar.....	41
A1 Zusammenfassung.....	41
A2 Anwendung.....	41
A3 Ausführung.....	41
A4 Messbeispiele.....	42
Schrifttum.....	45

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss

Fachbereich Umweltmeteorologie

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Dr.-Ing. *Uwe Ehret*, Karlsruhe

Dr. *Thomas Einfalt*, Lübeck

Dr. *Martin Hagen*, Weßling

Paul Malkomes, Aachen

Dipl.-Ing. (FH) *Kai Mühlbauer*, Bonn

Dipl.-Met. *Malte Neuper*, Neuburg

Dr. *Gerhard Peters*, Elmshorn

Prof. Dr.-Ing. *Markus Quirnbach*, Mülheim

Dipl.-Ing. *Marc Scheibel*, Duisburg

Dipl.-Geogr. *Adrian Treis*, Essen

Dipl.-Met. *Elmar Weigl*, Offenbach

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3786.

Einleitung

Die Richtlinienreihe VDI 3786 behandelt verschiedene Messmethoden für meteorologische Messgrößen. In der Richtlinie VDI 3786 Blatt 7 beispielsweise wird die konventionelle Messung von Niederschlag mit bodengebundenen Geräten behandelt. Während damit ausschließlich der Niederschlag am Ort des jeweiligen Messgeräts bestimmt wird, kann mit dem in dieser Richtlinie beschriebenen Wetterradar die räumliche Verteilung des Niederschlags in einem größeren Umkreis um das Radar erfasst werden. Das Wetterradar stellt damit ein wesentliches Instrument für die flächendeckende Erfassung von Niederschlägen dar.

Die Abkürzung „Radar“ leitet sich von „radio detection and ranging“ ab. Mit Radar werden Geräte bezeichnet, mit denen die Reflektion eines ausgesandten Mikrowellenstrahls an Körpern erfasst wird. Dadurch wird mit dem Wetterradar nicht direkt der Niederschlag – definiert als Massenfluss

durch eine horizontale Einheitsfläche – gemessen. Vielmehr muss der Niederschlag mithilfe empirischer Beziehungen aus der Radarreflektivität und gegebenenfalls zusätzlich gemessenen polarimetrischen Parametern abgeleitet werden. Diese empirischen Beziehungen hängen von der aktuellen Regentropfengrößenverteilung ab, die nur innerhalb einer gewissen Bandbreite bekannt ist. Daher sind Wetterradarmessungen kein Ersatz für die in VDI 3786 Blatt 7 beschriebenen konventionellen Verfahren, sondern sie müssen sogar, falls höhere Genauigkeitsanforderungen an die erfasste Niederschlagsmenge gestellt sind (z. B. für Hochwasserwarnsysteme), durch konventionelle Messungen gestützt werden. Das Wetterradar ermöglicht aber die Erfassung von räumlich sehr fein strukturierten Niederschlagsverteilungen, was mit konventionellen Messungen allein nicht erreichbar wäre. Damit stellt die Radarmessung auch räumlich detaillierte Informationen für die Zwecke der Luftreinhaltung (Auswaschung aus der Atmosphäre) zur Verfügung. Die Erfassung von Niederschlag mit Wetterradar ist die älteste nicht militärische Anwendung seit Erfindung des Radars im Zweiten Weltkrieg.

Für Nebenanwendungen, wie die Interpretation von Clear-Air-Echos und die Bestimmung von Windprofilen aus der Dopplerverschiebung, wird auf ISO 23032 über die bodengebundene Fernmessung des Windvektors mittels Wind-Profil-Radar verwiesen.

Sicherheitstechnische Probleme werden nicht behandelt. Hier wird auf einschlägige Normen und gesetzliche Vorgaben verwiesen:

Die 26. BImSchV beschreibt Anforderungen für die Errichtung und den Betrieb von Hoch- und Niederfrequenzanlagen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder.

Die BEMFV ist die Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) trifft in DGUV Regel 103-013 und DGUV Vorschrift 15 Festlegungen über zulässige Werte, Mess- und Bewertungsverfahren und Sonderfestlegungen für spezielle Anlagen in Bezug auf elektromagnetische Felder.

Die Norm DIN EN 50413*VDE 0848-1 beschreibt Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern.

Zusätzlich sind zum Betrieb von Radarsystemen die nationalen Frequenzzulassungsvorschriften zu beachten (in Deutschland: Telekommunikationsgesetz

(TKG); Gesetz über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen (FTEG); Frequenz-Nutzungsplan (FreqNP); Verwaltungsvorschrift für Radare und Navigationssysteme (VVRadNav); Schnittstellenbeschreibung für Radaranlagen zur Beobachtung des Wetters (SSB OR-N 009)).

Da Wetterradaranlagen über mechanisch bewegte Antennen verfügen (Ausnahme: Mikro-Regenradar), muss ihre Konformität mit der EU-Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) erklärt werden. Aufgrund der elektrotechnischen Ausstattung müssen die Schutzziele der EU-Richtlinie 2014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie) eingehalten werden. Die Richtlinien verlangen u. a. eine Risikoanalyse gemäß der Normen DIN EN ISO 12100 und DIN EN ISO 13849-1.

Da ein Radar ein Funkgerät ist, muss auch die EU-Richtlinie 2014/53/EU (Funkanlagen-Richtlinie, RED) eingehalten werden. Für Wetterradar-Geräte im S-, C- und X-Band liegen die harmonisierten Normen EN 303 347-1, -2 und -3 vor.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschreibt die Sondierung der Atmosphäre mit bodengebundenen Wetterradarsystemen mit Wellenlängen zwischen 3 cm und 10 cm. Diese Radarsysteme sind zur flächendeckenden Erfassung von Niederschlag und anderen Zielen bis zu mehreren 1000 m Höhe über Grund geeignet. Zusätzlich wird im Anhang die vertikale Sondierung mit einem Mikro-Regenradar beschrieben.

Das hauptsächlich beschriebene Einsatzgebiet ist die quantitative Niederschlagsmessung. Durch die flächendeckende Erfassung von Niederschlagsgebieten ergibt sich eine Reihe wichtiger Anwendungen. Eine populäre qualitative Anwendung ist die Echtzeitdarstellung von Niederschlagsgebieten und die Verbreitung dieser Darstellungen, z. B. auf verschiedenen Internetportalen, die jedermann zugänglich sind. Zahlreiche professionelle Anwendende nutzen die Daten des Radarnetzes und gegebenenfalls auch ergänzender spezieller Radarstationen zur Erfassung der Niederschlagsverteilung, wobei hier oft großer Wert auf eine detaillierte quantitative Erfassung gelegt wird. Aus diesem Grund behandelt diese Richtlinie auch nicht nur die reine Messtechnik, sondern auch die Verfahrensschritte für die Vorbereitung der Daten für unterschiedliche Anwendungen, wie:

- Meteorologie
- Luft- und Schifffahrt
- Güter- und Personenverkehr
- Katastrophenschutz

- Landwirtschaft
- Wasserwirtschaft (inklusive Siedlungswasserwirtschaft und Badegewässer)
- Unterstützung zur Durchführung von Messkampagnen
- Versicherungs- und allgemeine Wirtschaft
- Sportveranstaltungen
- Gastronomie
- Baustellenwarnung

Am Beispiel der Wasserwirtschaft werden folgende praxisrelevante Anwendungen und deren Anforderungen ausführlich in Abschnitt 13 beschrieben:

- Kanalnetzsteuerung
- Kläranlagensteuerung
- Meldedienste
- Talsperrensteuerung
- Hochwassermanagement
- Niederschlagsklimatologie
- Nachweis und Bemessung von Bauwerken
- Kalibrierung hydrologischer Modelle
- Ereignisdokumentation und -analyse

Darüber hinaus bietet das Wetterradar weitere Einsatzmöglichkeiten:

- Kürzestfristvorhersage des Niederschlags (sogenanntes „Nowcasting“, siehe Abschnitt 12)
- Wettermodellierung und -vorhersage: Radardaten werden unter anderem für die Verifikation meteorologischer Modelle, für die Verbesserung meteorologischer Vorhersagen durch Assimilation von Radardaten in Wettermodelle und für die Verifikation weiterer Verfahren zur Messung des Niederschlags (z. B. per Satellit) verwendet.
- Meteorologische Prozessstudien: Radardaten werden auch für die Erweiterung meteorologischen Wissens genutzt, z. B. zur Untersuchung der Entwicklung konvektiver Zellen, großräumig-langfristige Daten zur Analyse der regionalen Größe und räumlicher Verteilung von Niederschlägen (Niederschlagsklimatologie), großräumige (auch qualitative) Daten für synoptische Analysen.
- Luftreinhalte (BImSchG), atmosphärische Ausbreitungsrechnung: Die Modellierung der nassen Deposition in der atmosphärischen Ausbreitungsrechnung wird häufig auf Grundlage der Niederschlagsintensität parametrisiert. Das lagrangesche Partikelmodell der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 erlaubt es, durch das Wetterradar erfasste, räumlich fein strukturierte Niederschlagsverteilungen

auszuwerten, um fein strukturierte Felder der nasen Deposition zu berechnen.

- Aeroökologie: Neben meteorologischen Informationen enthalten Radarechos regelmäßig Signale von anderen Quellen, z. B. von in der Luft befindlichen Vögeln, Fledermäusen und Arthropoden. Um das Verständnis biologischer Prozesse dieser Lebewesen zu verbessern, können auch Radaraten zur Beobachtung und Überwachung der Tiere einzeln, als kleine Gruppen oder als kollektive Ensembles (z. B. Insekten-schwärme) wertvoll genutzt werden.

Auf die vier letztgenannten Spiegelpunkte wird in dieser Richtlinie nicht eingegangen.

In Abschnitt 14 werden Quellen zur Produktbeschreibung zum Download und zu Verarbeitungswerkzeugen bereitgestellt.

Diese Richtlinie beschreibt keine Sondierung auf beweglichen Plattformen (Flugzeuge, Schiffe), die derzeit nur im Bereich der Forschung und der Sicherheit auf See von Bedeutung sind. Ebenso werden Verfahren der Wettervorhersage, die in Kombination mit numerischen Wettervorhersagemodellen betrieben werden, nicht behandelt.

Wolken und Nebel werden aufgrund ihres geringen Reflektivitätsfaktors mit einem Standard-Wetterradar nur in den seltensten Fällen gesehen. Für die Beobachtung von Wolken werden vorzugsweise Radarsysteme mit einer Wellenlänge im Millimeterbereich eingesetzt. Diese Geräte werden hier ebenfalls nicht beschrieben.