



Jahresbericht 2024
Flugwetterdienst



Der Flugwetterdienst auf einen Blick

Kennzahlen für den Flugwetterdienst		
	2024¹	
Leistungsdaten IFR		
Mündliche Flugwetterberatungen	1.382	
TAFs für deutsche Flughäfen	72.063	
TREND-Vorhersagen (internationale Verkehrsflughäfen)	224.417	
SIGMETs, Flughafenwarnungen, Windscherungswarnungen	12.007	
Leistungsdaten VFR		
Vorhersagen für Low-Level-Flüge (GAFOR)	10.423	
Flugwetterübersichten/3-Tage-Prognosen	9.851	
Mündliche Flugwetterberatungen	18.354	
Leistungsdaten Spezialdienste		
Spezialvorhersagen für Polizei und Luftrettung/BOS	12.516	
Spezialvorhersagen für die Flugsicherung (Höhenwindprognose)	5.856	
Spezialvorhersagen für Flughäfen und Air Traffic Management (Flughafenvorhersagen, Winterdienst, ATM-Beratungen)	169.077	
Kostendaten		
	2023	2024
Gesamtkosten FWD (Tsd. EUR)	13.652	16.928
Gesamtkosten IFR (Tsd. EUR)	12.532	15.540
An-, Abflug (Tsd. EUR)	4.387	5.502
Strecke (Tsd. EUR)	8.145	10.038
Gesamtkosten VFR (Tsd. EUR)	1.120	1.388
Anteil Direct Costs an DWD Direct Costs (%)	15,4	15,8
Kennzahlen für Produktivität/Wirtschaftlichkeit für FWD/IFR		
	2023	2024
Service Units (Tsd.) ²	14.786	15.543
Mitarbeiterproduktivität (Stunden IFR/Service Unit)	0,01	0,01
Wirtschaftlichkeit (Service Unit Costs) (Vollkosten IFR/Service Unit)	0,85	1,0
Vollzeitäquivalent		
des Flugwetterdienstes	62	63
Kennzahlen zu Umsatz und Jahresabschluss DWD gesamt		
	2023	2024
Umsatz (Tsd. EUR)	31.476	36.873
Bilanzsumme (Tsd. EUR)	1.188.881	1.256.052
Cash-Flow (Finanzmittelsaldo, in Tsd. EUR)	-367.552	-379.310
Investitionen (Tsd. EUR)	107.304	106.706
Abschreibungen auf Anlagevermögen (Tsd. EUR)	48.467	49.843
Kostendaten		
	2023	2024
Gesamtkosten DWD (Tsd. EUR)	350.194	413.334
Anteil Core Costs (%)	77	76
Anteil Direct Costs (%)	23	24

1) wetterabhängige Leistungsdaten, daher kein Vorjahresvergleich sinnvoll

2) nach Angaben der Deutschen Flugsicherung



▲ Konvektion und Quellwolkenbildung durch erzwungene Hebung beim Um- und Überströmen des Vulkans Stromboli (38,80° N; 15,22° E; 926 m/3038 ft AMSL); von Konradin Weber, FH Düsseldorf

»Rauchende« Berggipfel

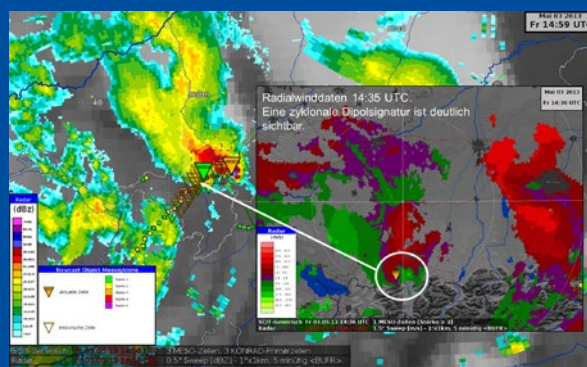
Konvektion kann auch dynamisch ausgelöst werden, etwa wenn große Hindernisse, wie Gebirge, in der Strömung liegen und die zufließende, ausreichend feuchte Luft aus Kontinuitätsgründen gezwungen wird, aufzusteigen um das Hindernis zu überwinden. Die angehobene Luft gerät dabei unter einen geringeren Umgebungsdruck, dehnt sich aus und kühlt sich ab. Bei Erreichen der Taupunkttemperatur kondensiert der in der Luft enthaltene Wasserdampf und bei feuchtlabiler Schichtung der Umgebungsluft bilden sich Quellwolken und ggf. Schauerniederschläge. Die im Luv der Gebirge entstandene Bewölkung wird Staubewölkung genannt, die ggf. entstehenden Niederschläge Stauniederschläge. Treibt der Wind die Wolken über einen Berg hinweg, sieht es so aus, als würde der Gipfel Rauch ausstoßen.

Staubewölkung kann Sichtflüge im Gebirge verbieten; Turbulenz, Vereisung und ggf. elektrische Entladungen stellen weitere potentielle Gefahren dar.

Gefahr auf dem Radar

Das hier gezeigte Radarbild ist sozusagen der Schnapsschuss einer Wetterlage, bei der in einer zunächst feucht-stabil geschichteten Troposphäre, vermutlich durch orografische Labilisierung über den Allgäuer Alpen, eine Gewitterzelle entstand, die mit einer Mesozyklone einher ging.

Mesozyklonen sind meist zyklonal (also entgegen dem Uhrzeigersinn) rotierende Aufwindfelder in konvektiven Wolken. In der Regel weisen sie Durchmesser von 2 bis 10 Kilometern auf und besitzen Lebensdauern von ca. 20 Minuten bis etwa über eine Stunde. Sie bilden sich bei Gewittersituationen, wenn starke vertikale Windscherungen (Änderung von Windrichtung und/oder -geschwindigkeit mit der Höhe) dazu führen, dass Wirbel mit horizontaler Achse entstehen und durch den Aufwind eines Gewitters vertikal aufgerichtet werden. Gewitterzellen mit vertikal hochreichenden und langlebigen Mesozyklonen werden als Superzellen bezeichnet. Superzellen sind die gefährlichste Form von Einzelzellengewittern, sie bringen Starkregen, schweren Hagel und Orkanböen hervor und können als Brutstätte von Tornados dienen.



▲ Radarbasierte Detektion von Mesozyklonen mit dem meteorologischen Datenverarbeitungs- und Visualisierungssystem Ninjo des Deutschen Wetterdienstes

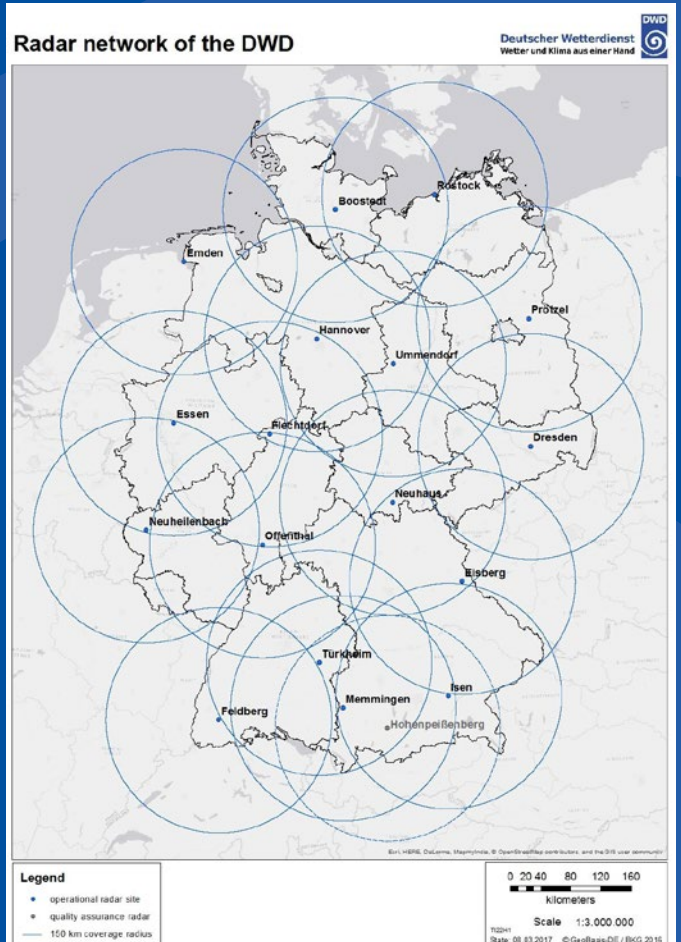


▲ Wetterradar am Flughafen Dresden (EDDC; 51,13° N; 13,77° E; 230 m/759 ft AMSL), von Jörg Blobelt - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=81493639>

Der Radar-Verbund des Deutschen Wetterdienstes

Niederschlagsradare sind die häufigste Form der Wetterradare, sie sind aktive Fernerkundungsinstrumente die den Wassergehalt von Wolken bestimmen und mit denen Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel) in ihrer Form erkannt, quantitativ gemessen und Niederschlagsgebiete verfolgt werden können. Wegen ihrer Fähigkeit, kurzfristige Niederschlagsentwicklungen zu detektieren und zu erkennen, sind sie insbesondere im Flugwetterdienst ein unverzichtbares Werkzeug zur Beobachtung der Atmosphäre.

Das Niederschlagsradar sendet Mikrowellen aus und empfängt den auf seinem Weg durch die Atmosphäre von den Niederschlagspartikeln zurückgestreuten Anteil mit einer Antenne. Je mehr Wassertropfen, Schneekristalle oder Hagelkörner in der Luft enthalten sind, desto stärker ist das empfangene Signal, man kann daraus prinzipiell die Teilchengröße, den Aggregatzustand und die Intensität des Niederschlages ableiten. Aus der Laufzeit zwischen ausgesendetem Signal und empfangenen Echo lässt sich die Position von Niederschlagsfeldern und durch Nutzung des Doppler-Effektes auch die Windgeschwindigkeit berechnen. Die Rückstreusignale werden per Computer digitalisiert, ausgewertet und als Radarbilder bzw. -karten oder als Vertikalschnitte visualisiert.



▲ Standorte des DWD-Radarverbundes, von Deutscher Wetterdienst

Bodengebundene, operationelle Niederschlagsradare arbeiten meistens im C-Band, d. h. mit Frequenzen um die 5,6 GHz (ca. 5,4 cm Wellenlänge). Um vollständige Bilder von den Niederschlagsfeldern zu erhalten, detektiert das Wetterradar in unterschiedlichen Azimut- und Höhenwinkeln. Dadurch können mehrere Schichten abgetastet werden und die so entstehenden Volumenscans liefern ein dreidimensionales Bild, das wichtige Rückschlüsse auf die Struktur, Intensität und Entwicklung von Niederschlagsgebieten erlaubt.

Der Deutsche Wetterdienst betreibt einen Radarverbund mit 17 Radarstationen, der das gesamte Bundesgebiet abdeckt, um aktuelle Daten für Wettervorhersagen und -warnungen insbesondere bei konvektiven Wetterlagen zu sammeln. Im praktischen Flugwetterdienst wird das Niederschlagsradar hauptsächlich genutzt, um Flüge durch Gewittergebiete vermeiden und eventuelle Turbulenzen einschätzen zu können.



Deutscher Wetterdienst

Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach am Main
Tel.: +49 (0) 69 / 80 62 - 0
E-Mail: luftfahrt@dwd.de
www.dwd.de/luftfahrt

Über www.dwd.de gelangen Sie
auch zu unseren Auftritten in:



Jahresbericht 2024
Flugwetterdienst



Vorwort

Die Luftverkehrswirtschaft steht vor einem tiefgreifenden Wandel. Nachhaltigkeitsziele, Klimaschutzvorgaben und geopolitische Entwicklungen verändern die Rahmenbedingungen grundlegend. Energiepreise und regulatorische Vorgaben erhöhen den Kostendruck, während Digitalisierung und Künstliche Intelligenz neue Chancen für Effizienz und Qualität eröffnen. Gleichzeitig spitzt sich der Fachkräftemangel in technischen Schlüsselbereichen weiter zu.

Im europäischen Kontext führt die Umsetzung des Single European Sky zu einem zunehmenden Wettbewerb zwischen MET Providern. Erfolgreich werden jene sein, die qualitativ hochwertige, interoperable und wirtschaftliche Produkte anbieten, die den neuesten wissenschaftlich-technischen Standards entsprechen. Digitalisierung, Automatisierung und KI bilden dafür die zentralen Enabler.

Eine starke internationale Position erfordert neben technologischer Exzellenz auch aktives Engagement in den Gremien von ICAO und WMO, um zukünftige Standards und Marktentwicklungen mitzugestalten.

Dem Deutschen Wetterdienst, einer teilrechtsfähigen Anstalt des öffentlichen Rechts im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, obliegt die Funktion des nationalen Dienstleisters für Wetter und Klima. Zur Erfüllung der vom Gesetzgeber gestellten Aufgaben der meteorologischen Sicherstellung der zivilen Luftfahrt hat der DWD innerhalb seiner Strukturen einen leistungsfähigen Flugwetterdienst etabliert, der seinen Kunden ein umfangreiches Produktportfolio anbietet.

Auch 2024 wurde im DWD erfolgreich an der Verbesserung unserer wissenschaftlich-technischen Basis sowie unserer flugmeteorologischen Produkte und Dienstleistungen gearbeitet. Im Bereich der Informationsgewinnung und Datenverarbeitung modernisiert der DWD kontinuierlich sein In-situ-Mess- und Beobachtungsnetz an den Flugplätzen, entwickelt und verbessert innovative Verfahren zur Nutzung neuester radar- und satellitenbasierter



▲ Prof. Sarah Jones, Präsidentin des DWD

Fernerkundungsmethoden und forciert die Haltung, Prozessierung, Visualisierung und Verteilung georeferenzierter Flugwetterinformationen.

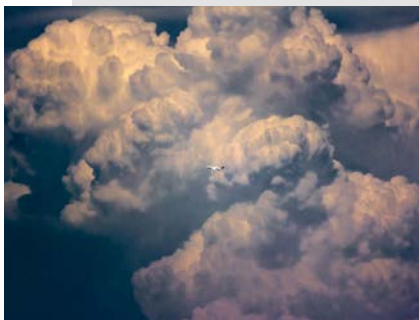
In der numerischen Wetterprognose wird stetig an der Leistungsverbesserung des Vorhersagesystems gearbeitet, dabei bilden die Aktivitäten im Projekt SINFONY, welches die methodische Lücke zwischen dem Nowcasting und der Kurzfristvorhersage schließen soll, einen Schwerpunkt. Darüber hinaus wurden erneut vielversprechende Fortschritte bei der Weiterentwicklung flugmeteorologischer Auswertelgorithmen und Anschlussverfahren erreicht.

Um den hohen Anforderungen mit einer kontinuierlichen bzw. verbesserten Produktqualität begegnen zu können und die sicherheitstechnischen Ansprüche (Safety und Security) zu erfüllen, hat der DWD schon vor geraumer Zeit Managementsysteme für Qualität und Sicherheit etabliert. Unser Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9000:2015 wurde im Berichtszeitraum erneut rezertifiziert.

Nur in der Kombination von wissenschaftlich-technischem Fortschritt und Qualitäts- sowie Kostenbewusstsein wird es gelingen, die Leistung, Pünktlichkeit und Wirtschaftlichkeit des Luftverkehrsystems unter Beachtung höchster Sicherheits- und Umweltstandards zu erhalten. Wie sich der Deutsche Wetterdienst den Herausforderungen unserer Zeit stellt, erfahren Sie in dieser Publikation.

Mit freundlichen Grüßen, Ihre

Sarah C. Jones

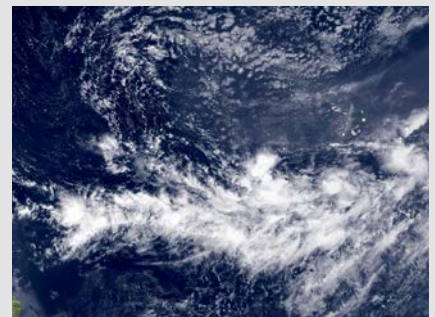


Konvektive Phänomene

Konvektion in der Erdatmosphäre beruht entweder auf Dichteunterschieden der Luft infolge unterschiedlicher Erwärmung des Untergrundes oder entsteht durch erzwungenes Aufsteigen der Luft beim Überströmen von Bergen oder an Kaltfronten.

Konvektive Phänomene sind häufig mit markanten Wettererscheinungen verbunden. In der Erdatmosphäre treten sie in verschiedenen raum-zeitlichen Größenordnungen, sowohl mit als auch ohne Phasenübergänge des Wasserdampfes auf. Das Spektrum erstreckt sich von kleinräumigen und kurzlebigen Mikroturbulenzen, über Staubteufel, Blauthermik, Tromben, Schauer- und Gewitter, tropischen Zyklonen und außertropischen Tiefdruckgebieten bis hin zum mächtigsten konvektiven System unserer Atmosphäre, der Innertropischen Konvergenzzone.

Konvektive Phänomene können mit luftelektrischen Entladungen (Blitze, Elmsfeuer), Starkniederschlägen (Regen, Schnee, Hagel), Vereisung, Sturmböen, Downbursts, Turbulenzen und Windscherungen einhergehen und somit ein großes Gefahrenpotential für die Luftfahrt darstellen.




Inhalt

1	Rahmenbedingungen	8
2	DWD-Flugwetterdienst	14
3	Kundendienstleistungen	22
4	Innovation und Entwicklung	40
5	Managementsysteme für Qualität und Sicherheit	50
6	Finanzergebnisse	58
7	Ausblick - was bringt die Zukunft?	66
	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	67
	Impressum	70



»Gewitterwolke« – Cumulonimbus capillatus incus; über Maharashtra (18°16'18"N, 76°30'32"E), 04.12.2015, 16:00 h Indian Standard Time, Blick nach Südwest, von Marcin Kocybik, Smartwings, a.s.

Cumulonimbus – die Gewitterwolke



Cumulonimbus-Wolken sind als klassische Gewitterwolken hoch aufragende und massive Wolken, die schauerartige Niederschläge hervorbringen und häufig mit Blitz und Donner verbunden sind. Sie entstehen durch Feuchtekongvektion und bei bedingt labiler Schichtung, Hebungsantrieb und ausreichendem Feuchtedargebot setzt sich das vertikale Wachstum soweit fort, bis die aufsteigende Wolkenluft nicht mehr wärmer als ihre Umgebung ist. Häufig breiten sich Cumulonimben dann an der Unterseite von Temperaturinversionen horizontal aus, wobei die typische Ambossform entsteht. Während die unteren Teile der Wolke Wassertröpfchen enthalten, besteht der Amboss aus Eiskristallen. Man kann sich einen mitteleuropäischen Cumulonimbus als Zylinder mit 10 km Durchmesser vorstellen, der sich von seiner etwa 500 m hohen Wolkenbasis bis in circa 12 km Höhe erstreckt. Der ambossförmige Eisschirm kann Durchmesser bis zu 200 km erreichen.

1 Rahmenbedingungen

1.1 Nationale und internationale Regelwerke

8

Die nationale Gesetzgebung für die Luftfahrt ist über das Grundgesetz der **Bundesrepublik Deutschland** (Artikel 73) geregelt, wodurch der Bund zuständig ist für die Luftverkehrsgesetzgebung und deren Verwaltung. Die spezifischen Aufgaben für den Flugwetterdienst resultieren aus dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG), mit dem sowohl die Grundlagen des Luftrechts als auch die Durchführung der Luftverkehrsverwaltung geregelt sind.

Der Deutsche Wetterdienst erfüllt in seiner Funktion als nationaler meteorologischer Dienst der Bundesrepublik Deutschland seit 1952 die ihm übertragenen Aufgaben aus den Bereichen Wetterüberwachung/-vorhersage, Klimaüberwachung/-projektion sowie darauf basierend Daseinsvorsorge und Katastrophenschutz. Rechtliche Grundlage seiner Geschäftstätigkeit ist das vom 10. September 1998 stammende **Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWDG)**, das 2017 novelliert wurde.

Die Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization – WMO) als Sonderorganisation der Vereinten Nationen (UN) hat technische Ausführungsbestimmungen (Technical Regulations) erstellt, deren nationale Anwendung weltweit die fachliche Einheitlichkeit der meteorologischen Praxis sichern soll. Die für den Flugwetterdienst relevanten Richtlinien und Empfehlungen der WMO sind in Band II der Technical Regulations for International Air Navigation Teil C.3 enthalten, der identisch mit dem Annex 3 der ICAO ist.

Im Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt (Chicagoer Konvention 1944) und der damit verbundenen Gründung der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (**ICAO**), einer Sonderorganisation der UNO, wurde ein umfangreiches Regelwerk mit Standards und Empfehlungen für die Durchführung der zivilen Luftfahrt geschaffen,

anhand derer die Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Pünktlichkeit und Umweltverträglichkeit des Luftverkehrs gewährleistet und weiterentwickelt werden sollen.

Für den DWD als Flugwetterdienst sind der Anhang 3 (Annex 3 »Meteorological Service for International Air Navigation«), die Procedures for Air Navigation Services – Meteorology (PANS-MET, Doc 10157) sowie Teile der Anhänge 11 (»Air Traffic Services«), 14 (»Aerodromes«) und 15 (»Aeronautical Information Services«) dieses ICAO-Abkommens relevant. Weitere Regelungen sind in einer Reihe von Verfahrensvorschriften (Procedures for Air Navigation Services – **PANS**) und Handbüchern (Manuals) enthalten.

Die o. g. Anhänge des ICAO-Abkommens wurden im Rahmen der europäischen Luftrauminitiative Single European Sky (SES) in die Durchführungsverordnung (EU) 2017/373¹ übertragen und sind geltendes EU-Recht. Der Deutsche Wetterdienst ist bereits seit 2007 als Flugwetterdienst für Deutschland zertifiziert und benannt.

Die Sicherheitsaufsicht über die Vorgaben und Anforderungen an die Erbringung von Flugsicherungsdiensten obliegt auf nationaler Ebene dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF) in Langen. In dieser Funktion überwacht das BAF auch die Dienstleistungen und Finanzen des DWD im Bereich des Flugwetterdienstes. Grundlage für diese Aufgaben bildet die Verordnung (EU) 2024/2803 (SES2+), welche nach 20 Jahren die ursprünglichen SES Grundsatzverordnungen von

1) Durchführungsverordnung (EU) 2017/373 der Kommission vom 1. März 2017 zur Festlegung gemeinsamer Anforderungen an Flugverkehrsmanagementanbieter und Anbieter von Flugsicherungsdiensten sowie sonstiger Funktionen des Flugverkehrsmanagementnetzes und die Aufsicht hierüber sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 482/2008, der Durchführungsverordnungen (EU) Nr. 1034/2011, (EU) Nr. 1035/2011 und (EU) 2016/1377 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 677/2011

2004 abgelöst hat. Die European Union Aviation Safety Agency (EASA) erstellt und überwacht die auf europäischer Ebene einheitlichen, hohen Sicherheits- und Umweltstandards. Sie nimmt gemäß der EASA Basisverordnung (EU) 2018/1139 verschiedene exekutive Aufgaben mit Schwerpunkt im Bereich der Flugsicherheit wahr.

Sowohl die internationalen als auch die nationalen Regelungen und Vorschriften zur Erbringung von Flugsicherungsdiensten finden Eingang in die Vorschriften und Betriebsunterlagen (VuB) des DWD. Von besonderer Bedeutung sind das Betriebshandbuch für den Flugwetterdienst (VuB Nr. 7) sowie das Handbuch Flugwetterdienste mit den Bänden Obs, Tech und Pers. Die Dokumentation folgt dabei den Vorgaben des zertifizierten Qualitätsmanagementsystems des DWD.

1 Rahmenbedingungen

1.2 Nationale und internationale Zusammenarbeit

10

Auf nationaler Ebene unterhält der DWD-Flugwetterdienst bilaterale Kooperationen mit mehreren Forschungseinrichtungen, etwa dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie verschiedenen meteorologischen Universitätsinstituten. Diverse Struktureinheiten des Flugwetterdienstes sind DWD-intern aktiv in die Fortentwicklungen des meteorologischen Arbeitsplatz- und Visualisierungssystems NinJo eingebunden, einem Gemeinschaftsprojekt von Deutschem Wetterdienst (**DWD**), Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr (**GeoInfoDBw**) sowie den meteorologischen Diensten Dänemarks (**DMI**), Kanadas (**MSC**) und der Schweiz (**MeteoSchweiz**).

Die Kongruenz nationaler und internationaler Vorgaben und Standards verbunden mit innovativen Lösungsansätzen werden immer wichtiger, weshalb DWD-Vertreter kontinuierlich und aktiv in flugmeteorologisch relevanten, internationalen Arbeitsgruppen und Gremien vertreten sind. Auf globaler Ebene nimmt der DWD Aufgaben in der **ICAO** und der **WMO** wahr; auf europäischer Ebene im Rahmen von **EUMETNET** (dem Netzwerk europäischer Wetterdienste), der EUROCONTROL, der EASA, der DACH-Kooperation (Deutschland – Österreich – Schweiz) sowie in der MET Alliance.

In der ICAO wirkt der Deutsche Wetterdienst vor allem über das **MET Panel** und seine Arbeitsgruppen sowie über die Meteorology Group (**METG**) der European Air Navigation Planning Group (**EANPG**) bei der internationalen Gestaltung flugmeteorologischer Dienstleistungen mit.

Die WMO übernimmt in den o. g. ICAO-Gremien meist die Rolle der wissenschaftlichen Beratung.

Die europäische Regionalgruppe der ICAO, die **ICAO EUR/NAT** (Europa/Nordatlantik), führt normalerweise alljährlich unter dem Akronym **VOLCEX** ein Planspiel zur Ausbreitung von Vulkanasche nach einer fiktiven Eruption durch, um anhand wechselnder Szenarien Flugsicherungsorganisationen und Flugwetterdienste technisch und

organisatorisch möglichst praxisnah auf Vulkan- ausbrüche vorzubereiten. Die ICAO in Zusammenarbeit mit Eurocontrol sowie lokalen Institutionen initiieren und koordinieren diese Übungen, sodass gemeinsam mit den Nachbarländern Vorhersagen und Warnungen für die im Szenario betroffenen Lufträume ausgegeben werden können. Der Deutsche Wetterdienst hat auch im Berichtsjahr mit seiner Vulkanasche-Task-Force an der VOLCEX24 teilgenommen, dabei wurde am 19. November 2024 eine luftfahrtgefährdende Eruption des Vulkans **Serra de Santa Bárbara** (1021 m MSL, Insel Terceira, Azoren, Portugal) trainiert.

Im Rahmen des Zusammenschlusses von 33 europäischen Wetterdiensten (EUMETNET) ist der DWD in der **AVIMET**-Arbeitsgruppe von EUMETNET sowie im EUMETNET-Leitungsgremium, der **AVAC** vertreten. Hier gilt es, den DWD adäquat bei der Versorgung des europäischen Luftraums mit innovativen meteorologischen Dienstleistungen zu positionieren, wozu insbesondere auch die meteorologische Versorgung von **EUROCONTROL** in Kooperation mit mehreren europäischen Flugwetterdiensten gehört. In einer flugmeteorologischen Fachgruppe der EASA bringt sich der DWD bei der Erstellung von europäischen Regularien ein.

Seit vielen Jahren arbeitet der DWD-Flugwetterdienst sehr eng mit den Flugwetterdiensten Österreichs (A) und der Schweiz (CH) in der sogenannten DACH-Kooperation zusammen. Auch hier ist es das Ziel, den Flugwetterdienst aller drei Länder grenzüberschreitend zu harmonisieren und zu optimieren.

Auch die Kooperation der Flugwetterdienste im Rahmen der **MET Alliance** (Belgien, Deutschland, Frankreich, Irland, Kroatien, Luxemburg, Niederlande, Österreich und Schweiz) zur Verbesserung der Qualität flugmeteorologischer Dienstleistungen wurde im Berichtsjahr fortgeführt

Überblick über die wichtigsten internationalen Aktivitäten der Flugsicherungsorganisation DWD als National Meteorological Authority im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr (BMV)

Gremium/Projekt	DWD-Beteiligung
ICAO	Member – MET Panel Advisors, Members – MET-Panel-Arbeitsgruppen MIE, MOG, MCRGG, WG MRAD Member – ICAO EUR (EASPG) – METG Rapporteur – METG SIGMET and AIRMET Best Practices Member – ICAO EUR (EASPG) – DMG
WMO	TT-AvData – Member CAeM expert group – Member TT-AvCI, ET-ASC – Member
EUMETNET	AVAC – Member AVIMET – Vice Chairman und Member CBCF Module Manager – Chairman E-AI for ASP – Vice Chairman
EUROCONTROL	MET3SG – Member SWIM Foundation Group (SFG) – Member CCB SWIM Yellow TI Profile – Member CCB AIRM – Member EATIN – Member MET4MUAC – Member
EASA	EASA MET Expert Group – Member
DACH-Kooperation	Steuerungsgruppe – Member DACH Operations Group – Co-Chairman
MET Alliance	Steering Committee und Board – Member Programme Manager – Member MET Alliance ET-AMR – Member MET Alliance ET-AUTO OBS – Chairman, Member MET Alliance ET-VER – Chairman, Member MET Alliance TT-ET – Member
EUROCAE/RTCA	WG-76/ SG-206 – Consultant



Sommerlicher Regenschauer an der Atlantikküste Floridas,
von Beatrix Ott, 11.06.2014, 18:18 Uhr



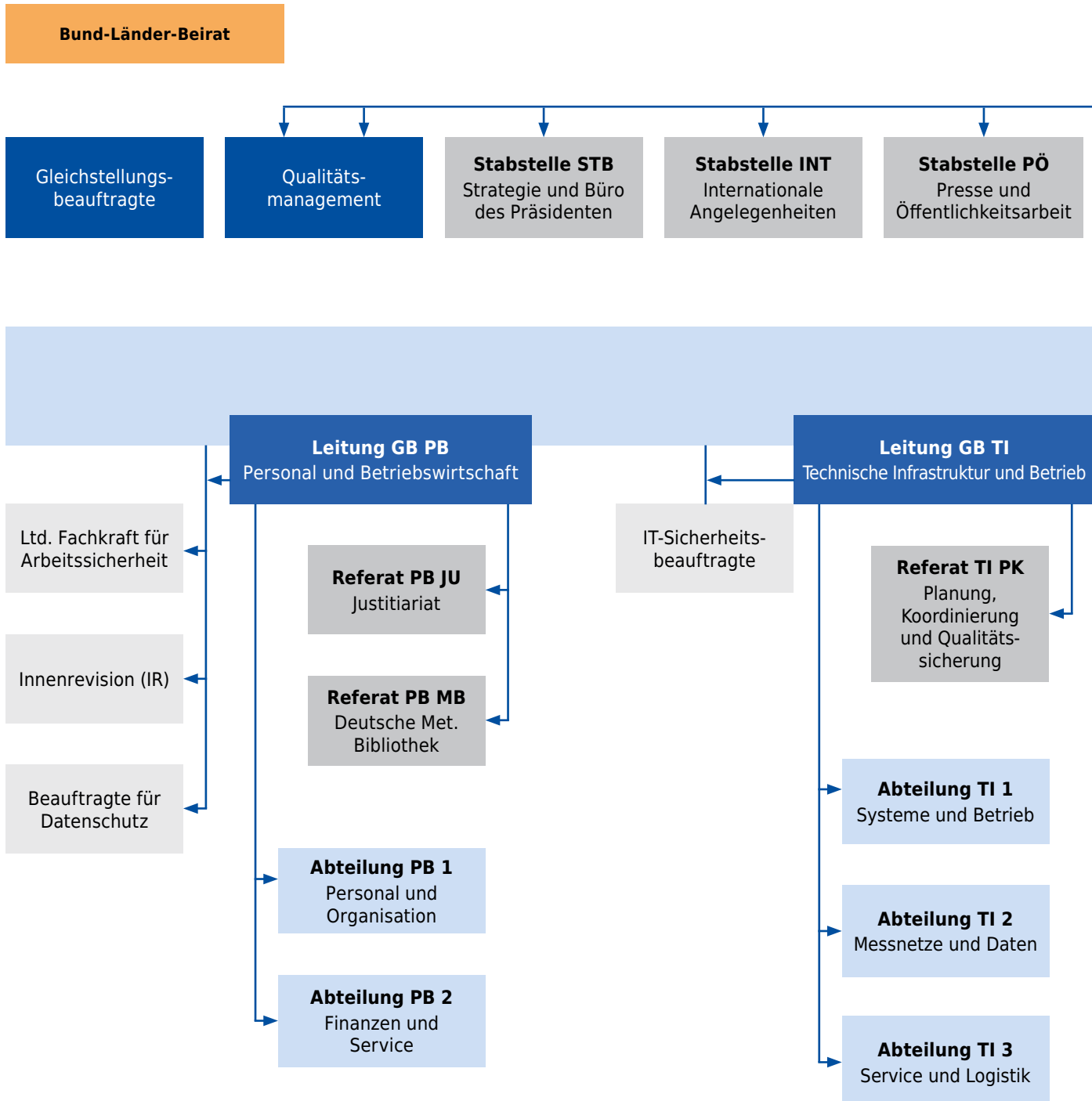
Schauer

Schauer entstehen durch das Aufsteigen warmer Luft, die sich dabei entspannt und adiabatisch abkühlt. Bei Erreichen der Taupunkttemperatur kondensiert der in der Luft enthaltene Wasserdampf und es bilden sich Quellwolken, in denen die winzigen Wolkenteilchen vertikalen Luftbewegungen unterliegen. Sie schmelzen und gefrieren, vereinigen sich und wachsen zu größeren Wassertropfen oder Eiskristallen, die schwer genug sind, um als Niederschlag auf die Erde fallen. Schauer sind kurz andauernde (maximal 45 min) sowie räumlich eng begrenzte ($< 10 \text{ km}^2$) Niederschläge mit relativ hoher, meist rasch wechselnder Intensität. Sie können in verschiedenen Niederschlagsformen auftreten, so gibt es Regen-, Schnee-, Graupel- und Hagelschauer. Neben deutlicher Sichtverschlechterung bergen Schauer auch die Gefahren von Vereisung und Turbulenz in sich, heftige konvektive Entwicklungen gehen häufig mit elektrischen Entladungen einher.

2 DWD-Flugwetterdienst

2.1 Organisation DWD gesamt und Flugwetterdienst

14



Präsidentin
Vorsitzende des
Vorstandes

Gruppe Meteorologie
der Bundeswehr
beim DWD

Vorstand

Leitung GB FE
Forschung und Entwicklung

Referat FE PK
Planung und
Koordinierung

Referat FE HP
Met. Observatorium
Hohenpeißenberg

Referat FE LG
Met. Observatorium
Lindenberg

Abteilung FE 1
Met. Analyse und
Modellierung

Abteilung FE 2
Zentrale
Met. Fachverfahren

Leitung GB WV
Wettervorhersage

Abteilung WV 1
Beratungs- und
Warndienste

Abteilung WV 2
Kundenservices und
Entwicklung

Leitung GB KU
Klima und Umwelt

Referat KU PK
Planung und
Koordinierung

Abteilung KU 1
Klima- und
Umweltberatung

Abteilung KU 2
Klimaüberwachung

Abteilung KU 3
Agrarmeteorologie

Abteilung KU 4
Hydrometeorologie

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) ist im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) als nationaler Wetterdienst verantwortlich für die meteorologische Sicherstellung der zivilen Luftfahrt in der Bundesrepublik Deutschland. Der Flugwetterdienst wird zertifiziert und überwacht durch das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF). Die regulierten und qualitätsgesicherten Leistungen des Flugwetterdienstes werden nach gesetzlichem Auftrag und nach EU-Vorgaben der Luftrauminitiative Single European Sky (SES) als Flugsicherungsdienste erbracht, und nach den SES-Leistungszielen Sicherheit, Kapazität, Kosteneffizienz und Umwelt optimiert. Die fachlichen und technischen Vorgaben des Flugwetterdienstes erfolgen nach den internationalen Standards der ICAO (International Civil Aviation Organisation), der WMO (World Meteorological Organization), der EASA (European Union Aviation Safety Agency) und weiterer Behörden und Organisationen.

Die Vorhersage-, Warn- und Beratungsdienste für die Luftfahrt werden innerhalb des Geschäftsbereiches Wettervorhersage (WV) erbracht. Dazu gehören in der Abteilung Beratungs- und Warn-dienste die Flugwetterzentrale Frankfurt und vier weitere Luftfahrtberatungszentralen in Hamburg, Essen, Berlin und München, sowie die »Betriebsleitung« in Offenbach.

Die Abteilung Kundenservice und Entwicklung ergänzt die manuellen Dienstleistungen der Luftfahrtberatungszentralen durch die Entwicklung, den Betrieb und den Vertrieb automatisierter Produkte und Kundensysteme. Zu nennen sind hier die Referate »Meteorologische Produktentwicklung und Abgabesysteme« sowie der »Kundenservice Luftfahrt«. Zudem ist hier auch die »Betriebliche Prozessunterstützung« verortet, die sowohl die zuvor genannten Referate als auch die operativen Einheiten der Vorhersage-, Warn- und Beratungsdienste unterstützt.

Im Geschäftsbereich Technische Infrastruktur und Betrieb (TI) werden alle für den Flugwetterdienst nötigen technischen Systeme betrieben und gewartet. Hierzu gehören neben der EDV-Infrastruktur und dem Rechenzentrum mit der Wettervorhersage, vor allem die gesamte Messtechnik sowie die Kommunikationssysteme.

Zu nennen sind hier z. B. die Low Level Wind Shear Alert Systeme (LLWAS) an den Flughäfen Frankfurt und München und insbesondere wesentliche Teile des Aerodrome Weather System (ADWX) für die vollautomatisierte Wetterbeobachtung an den internationalen Verkehrsflughäfen.

Der Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung (FE) liefert die wissenschaftlichen Grundlagen der numerischen Wettervorhersage mit Datenassimilation, Analyse, Betrieb, Verifikation sowie Innovationen auf diesen Gebieten. Hier werden auch zentrale meteorologische Fachverfahren (z. B. für Turbulenz, Vereisung, Konvektion) und die Softwareentwicklung für meteorologische Arbeitsplatzsysteme durchgeführt sowie Fernerkundungsverfahren mittels Satelliten und Wetterradaren fachlich betreut. Mit der Automatisierung der Wetterbeobachtung an den Verkehrsflughäfen verantwortet der Geschäftsbereich FE mit »autoOBS« auch eine wichtige Komponente des Aerodrome Weather System (ADWX). Darüber hinaus wird hier in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem Kundenservice Luftfahrt ein meteorologischer Datensatz für das klimaoptimierte Fliegen entwickelt und für die Luftfahrt zur Verfügung gestellt.

Im Geschäftsbereich Klima und Umwelt (KU) werden flugklimatologische Daten ausgewertet, Statistiken bereitgestellt und flugklimatologische Gutachten erstellt.

Der Geschäftsbereich Personal und Betriebswirtschaft (PB) unterstützt die Prozesse des Flugwetterdienstes unter anderem in den Bereichen Personalmanagement, Beschaffung, Rechnungswesen und Luftfahrtkostenrechnung, Liegenschaften und Haushalt.

Nicht zuletzt sind die Stabsstellen der Präsidentin des DWD aktiv für den Flugwetterdienst, und zwar in den Bereichen Qualitätsmanagement (QM), Internationale Angelegenheiten sowie Presse- und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Zusammenarbeit des zivilen Flugwetterdienstes mit entsprechenden militärischen Dienststellen erfolgt über die Gruppe Meteorologie des Zentrums für Geoinformationswesen der Bundeswehr beim Deutschen Wetterdienst (MetBw).



▲ Flugwetterberaterinnen bei der Arbeit, von Sabine Bork, DWD

2 DWD-Flugwetterdienst

2.2 Personal und Personalentwicklungen

18

Personalkosten und Mitarbeiterproduktivität

Die Leistungen des DWD, die im Jahr 2024 den Luftfahrtnutzern zur Verfügung gestellt wurden, sind in nachstehender Tabelle nach Leistungskategorien aufgeteilt dargestellt. Hierbei sind unter »Interne Leistungen« alle internen Unterstützungs- und Vorarbeiten subsummiert, die zur Erstellung der externen FWD-Leistungen erforderlich sind. Mit »Spezialdienstleistungen« ist die Weiterverarbeitung von Daten und Standardprodukten gemeint, die speziellen Kunden- und Nutzeranforderungen gerecht wird.

Leistungen des DWD für Luftfahrtnutzer 2024

Art der Leistung	Anteil (in % der geleisteten Arbeitszeiten)
Interne Leistungen für den FWD	50,6
Spezialdienstleistungen (auf Kundenanforderung)	3,2
Leistungen des Flugwetterdienstes	46,3
davon	
FWD Daten und Produkte	0,2
FWD Vorhersagen	26,8
FWD Warnungen	0,7
FWD Bereitstellung/Vertrieb	1,3
FWD Beratung/Information	4,5
Andere LF-Leistungen	12,8

Das im Flugwetterdienst des DWD tätige Personal, in Vollzeitäquivalenten (VZÄ) ausgedrückt, bestand im Jahr 2024 aus 196 VZÄ. Der abrechenbare Anteil nach Direct Costs betrug für das Jahr 2024 63 VZÄ. Abrechnungsfähig gegenüber den Luftfahrtern sind die mit dem Instrumentenfluganteil (IFR) im Jahr 2024 zusammenhängenden 131.711 Stunden. Werden diese abrechenbaren Stunden den entsprechenden, von der DFS erhobenen Dienstleistungseinheiten bzw. Service Units¹ gegenübergestellt, so ergibt sich ein durchschnittlicher Zeitaufwand pro Service Unit als Maß für die Mitarbeiterproduktivität. Aufgrund der sich in 2024 weiterhin fortsetzenden Erholung der allgemeinen Wirtschaftslage und den sich daraus ergebenden positiven Effekten für die allgemeine Luftfahrt, stieg die Anzahl der Service Units im Jahr 2024 erneut auf 15.542.648 Units an. Der durchschnittliche Betriebsaufwand lag dabei bei ca. 0,01 Stunden Zeitaufwand pro Service Unit.

Unsere Kolleginnen und Kollegen in der operationellen Wettervorhersage arbeiten im Wechselschichtdienst, sind größtenteils Beamte des gehobenen naturwissenschaftlichen Dienstes des Bundes und seit geraumer Zeit für die Vorhersage- und Beratungstätigkeit im gemeinsamen Betrieb sowohl im Land-See-Wetterdienst als auch im Flugwetterdienst qualifiziert und zertifiziert.

Gerade im Wechselschichtdienst erfordern alters- und gesundheitsbedingte Abgänge sowie Bewerbungen von Kolleginnen und Kollegen auf andere Dienstposten innerhalb des DWD eine kontinuierliche Zuführung neuen Vorhersage- und Beratungspersonals, was in Zeiten des sich verschärfenden Fachkräftemangels keine einfache Aufgabe ist.

Prinzipiell werden alljährlich Stellen für die Laufbahnausbildung des gehobenen Dienstes ausgeschrieben, zum einen über das dreijährige Studium an der Hochschule des Bundes (Fach-

1) Quelle: DFS

Ermittlung der Mitarbeiterproduktivität für den Bereich FWD IFR		
	2023	2024
Direkte Arbeitsstunden auf FWD-Kostenträger des DWD	131.856	143.476
davon für IFR (ca. 92 %)	121.004	131.711
Service Units* (in Tsd.) ¹	14.786	15.543
Mitarbeiterproduktivität für FWD-IFR (in Stunden/Service Unit)	0,01	0,01

* direkte **und verrechnete** Arbeitsstunden (siehe Text)

bereich Wetterdienst, Abschluss als Dipl.-Met. FH), zum anderen für »fertige« Absolventen und Absolventinnen des an verschiedenen deutschen Universitäten angebotenen Bachelorstudienganges der Meteorologie (Abschluss als B. Sc. Met.). Im Berichtsjahr konnten an der Hochschule des Bundes sechs Studentinnen und Studenten ihre Laufbahnausbildung für den gehobenen Dienst

erfolgreich beenden und den Lizenzerwerb für den Vorhersagedienst (Land-See- sowie Flugwetterdienst) beginnen. Im Oktober 2024 wurden 15 neue Studentinnen und Studenten des Lehrganges HS45 im Fachbereich Wetterdienst am Bildungszentrum in Langen herzlich begrüßt und zu Beamten auf Widerruf ernannt.



▲ Messfeld an der Flugwetterzentrale (FWZ) Frankfurt, von Karsten Friedrich, DWD

1) Quelle: DFS



»Deep Convektion« – ein Gewitter entsteht, von Stephan Bartel, 18.06.2013, 14:07 Uhr



Gewitter – Erscheinung und Entstehung

Gewitter sind mit luftelektrischen Entladungen (Blitze, Elmsfeuer, Funkenentladungen) verbundene meteorologische Phänomene und werden häufig von Starkregenfällen, Hagelschauern, Sturmböen sowie seltener von Tornados und Downbursts begleitet. Wärmegewitter entstehen durch Labilisierung feuchter Luft infolge intensiver Sonneneinstrahlung und Konvektion. Frontgewitter werden dynamisch verursacht, meist an Kaltfronten, wenn sich Kaltluft unter die Warmluft schiebt und diese zum Aufsteigen zwingt oder wenn in der Höhe Kaltluftadvektion stattfindet. Labilisierung der Luft kann auch durch orographische Hebung beim Überströmen von Gebirgen auftreten. Man unterscheidet verschiedene Arten von Gewitterzellen, zunächst die eher schwachen Einzelzellen von den weitaus größeren, länger andauernden und unwetterträchtigen Superzellen. Multizellengewitter bestehen aus miteinander agierenden Einzelzellen, die sich als Gewitterlinie oder Gewittercluster organisieren. Zu letzteren zählen die Mesoskaligen konvektiven Systeme (MCS) und die noch gewaltigeren Mesoskaligen konvektiven Komplexe (MCC).

3 Kundendienstleistungen

3.1 Kunden und Leistungen

22

Dem Flugwetterdienst im DWD obliegt laut Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWD-Gesetz, Abk. DWDG) die Aufgabe der meteorologischen Sicherung der Luftfahrt. Gemäß dem Luftverkehrsgesetz (LuftVG) der Bundesrepublik Deutschland sind Flugwetterberatungs- und Flugwetterbetriebsdienste und die dafür erforderliche Technik vorzuhalten, Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Flugmeteorologie zu betreiben und flugklimatologische Daten und Statistiken bereitzustellen. Den Flugwetterberatungs- und Flugwetterbetriebsdiensten obliegen u. a. folgende Aufgaben:

Wetterüberwachung: Ohne Wetterbeobachtungen ist eine Wettervorhersage praktisch nicht möglich. Der Deutsche Wetterdienst führt deshalb kontinuierlich meteorologische Messungen und Beobachtungen durch, z.B. des aktuellen Wetters, der Bewölkungsverhältnisse, der Sichtweite, der Niederschläge nach Art und Menge, der Windgeschwindigkeit und -richtung, der Böigkeit des Windes sowie an ausgewählten Flugplätzen auch der Scherwinde. Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden ebenfalls erfasst und zwar an Bodenstationen als auch mittels Radiosonden und durch Flugzeug-Messsysteme über E-AMDAR, dem »EUMETNET Aircraft Meteorological Data Relay«. Diese Messungen in-situ werden in zunehmend höherer raum-zeitlicher Auflösung ergänzt durch Fernerkundungsinformationen aus dem DWD-Radarverbund sowie von verschiedenen Wettersatelliten.

Wettervorhersage: Moderne Wetterprognosen basieren auf Modellen der numerischen Wettervorhersage (NWV), wobei die im Deutschen Wetterdienst entwickelten Prognosemodelle einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterliegen und die verwendete Rechentechnik (Netzwerke, Supercomputer zur Integration der Modellgleichungen, Datenbankserver sowie Workstations

und Personalcomputer) stets dem steigenden Datenvolumen angepasst wird. Neben dem gerade für den Flugwetterdienst so wichtigen Nowcasting, abgeleitet aus aktuellen Wetterbeobachtungen, bilden die Resultate der NWV in Form von raumzeitlichen Darstellungen physikalischer Größen und meteorologischer Parameter sowie der Output verschiedener Anschlussverfahren die Grundlage automatischer Vorhersagen und dienen den Prognostikern als Basis zur Erstellung einer Vielzahl flugmeteorologischer Produkte und Dienstleistungen.

Wetterwarnung: Der Flugwetterdienst warnt vor beobachteten und vorhergesagten fluggefährdenden Wettererscheinungen auf der Strecke (en-Route) und vor Wetterereignissen mit Auswirkungen auf den An- und Abflug, den Rollverkehr sowie auf Vorfeldaktivitäten an den Flugplätzen. Zu den potentiell gefährlichen meteorologischen Erscheinungen während des Streckenfluges zählen Gewitter mit all ihren Begleiterscheinungen, Turbulenzen, Vereisung von Luftfahrzeugen und vor allem im Sichtflug auch geringe Sichtweiten und niedrige Wolkenuntergrenzen. Start und Landung sowie der Flughafenbetrieb im Allgemeinen werden durch Gewitter, Starkniederschläge, Winterwetter mit Schnee, unterkühlten Niederschlägen und Eisansatz, geringe Pistensichtweiten (RVR) sowie starke Winde, Böen und Scherwinde in unterschiedlichem Maße beeinträchtigt. Der DWD bietet eine Reihe spezifischer Warnprodukte für die Flugzeugbesatzungen im Cockpit, für die Flugsicherungsorganisationen zum Zwecke der Flugplanung, Flugführung und Luftraumüberwachung sowie für die Flughafenbetreiber zur Steuerung der Bodenverkehrsdienste an.

Flugwetterberatung: Die Durchführungsverordnung (EU) Nr. 923/2012 legt fest, dass für Flüge die über die Umgebung eines Flugplatzes hinausgehen und für alle Flüge nach Instrumenten-

flugregeln meteorologische Flugvorbereitungen durchzuführen sind. Umfang und Inhalt meteorologischer Flugvorbereitungen werden durch die grundlegenden Anforderungen an den Flugbetrieb in der Verordnung (EU) 2018/1139 geregelt. Es sind die Wetterbedingungen am Startflugplatz, am Zielflugplatz, an Ausweichflugplätzen sowie entlang der Flugstrecke zu berücksichtigen, um insbesondere die Betriebs- und Leistungsgrenzen des Luftfahrzeuges und die Flugregeln einhalten zu können. Zur meteorologischen Flugvorbereitung stellt der DWD Selfbriefing-Systeme mit allen notwendigen flugmeteorologischen Informationen in graphisch aufbereiteter Form zur Verfügung. Alternativ bietet der DWD zusätzlich individuelle telefonische Flugwetterberatungen an, die bei kritischen oder nicht eindeutigen Wetterverhältnissen auch ergänzend zu einem bereits durchgeführten Selfbriefing genutzt werden können. In der Verkehrsluftfahrt, insbesondere im Linien- und Charterverkehr, werden die Piloten in der Flugvorbereitung durch Flugdienstberater (Flight Dispatcher) unterstützt.

Das Leistungsprogramm des DWD-Flugwetterdienstes zur meteorologischen Sicherung der Luftfahrt erfüllt alle nationalen und internationalen Gesetze, Richtlinien und Verordnungen (LuftVG, EU, ICAO, WMO), leistet einen Beitrag zur Erfüllung der SES-Leistungsziele Sicherheit, Umwelt, Kapazität und Kosteneffizienz und berücksichtigt darüber hinaus zusätzliche Anforderungen der Kunden und besondere fachliche und wirtschaftliche Interessen.

Dabei wird unterschieden zwischen regulierten Flugwetterdienstleistungen, die im Auftrag des Staates zur Versorgung der Luftfahrt erbracht und in der Regel über An- und Abflug- plus Streckengebühren sowie über den Bundeshaushalt gedeckt sind und solchen, die im Auftrag eines Kunden ohne staatliche Leistungspflicht erfolgen und individuell abgerechnet werden.

Die Systematik zur Luftfahrtkostenrechnung mit der Verteilung der Kosten auf An- und Abflug, Streckenflug sowie die Abgrenzung zwischen gebührenfinanzierten Leistungen für den Instrumentenflug (IFR) und steuerfinanzierten Leistungen für den Sichtflug (VFR) ist dem Kapitel 6 zu entnehmen.

Die nachfolgend aufgeführten Kundengruppen der Verkehrsluftfahrt und der Allgemeinen Luftfahrt nutzen die Produkte und Dienstleistungen des DWD-Flugwetterdienstes zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben:

- ▶ EUROCONTROL (Netzwerkmanager, MUAC)
- ▶ DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
- ▶ Europäische Flugsicherungsorganisationen
- ▶ Internationale Verkehrsflughäfen und regionale Flugplätze in Deutschland sowie deren Dienstleister
- ▶ Linien- und Charterverkehr inkl. der Luftfrachtbranche
- ▶ Geschäftsreiseflugverkehr
- ▶ Private Luftfahrt inkl. Luftsport
- ▶ Fliegende Einheiten von Polizei, Rettungsdiensten und des Katastrophenschutzes
- ▶ Flugmodelle und unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS)
- ▶ IT-Systemhäuser (aeronautische Datenverarbeitung und Navigation)
- ▶ Luftfahrtverbände und Vereine
- ▶ Flugschulen
- ▶ Luftfahrtbehörden

Die folgenden Tabellen zeigen die Anzahl verschiedener Produkte und Leistungen, getrennt nach Luftfahrtkundengruppen und die Umsätze für die entgeltpflichtigen Leistungen für das Berichtsjahr 2024.

Anzahl erstellter Produkte und Leistungen des DWD zur meteorologischen Sicherung der Luftfahrt im Jahr 2024	
Leistungen	Anzahl in 2024
Meteorologische Dienstleistungen für die IFR-Luftfahrt	
Mündliche Flugwetterberatungen	1.382
TAFs für deutsche Flughäfen	72.063
Trend-Vorhersagen (internationale Verkehrsflughäfen)	224.417
METAR (internationale Verkehrsflughäfen)	267.671
SPECI (internationale Verkehrsflughäfen)	100.399
SIGMETs, Flughafenwarnungen, Windscheringwarnungen	12.007
GAFOR-Gebietwarnungen	25.924
Flugzeugwettermeldungen (ARS/PIREP)	1.096
Low-Level Significant Weather Charts (LL SWC)	4.798
Flugwetterübersichten/3-Tage-Prognosen	9.851
Meteorologische Dienstleistungen ausschließlich für die VFR-Luftfahrt	
Vorhersagen für Low-Level-Flüge (GAFOR)	10.423
Mündliche Flugwetterberatungen (nur VFR)	18.354
Meteorologische Dienstleistungen für Rettungsdienste, Flugsicherung und Flughäfen	
Spezialvorhersagen für Polizei und Luftrettung/BOS	12.516
Spezialvorhersagen für die Flugsicherung (Höhenwindprognose)	5.856
Spezialvorhersagen für Flughäfen und Air Traffic Management (Flughafenvorhersagen, Winterdienst, ATM-Beratungen)	169.077
Selbbriefing-Dienste für die zivile Luftfahrt (IFR/VRF), Flughäfen und Luftfahrtienstleister	
Kunden des Selbstbriefing-Systems <i>pc_met Internet Service/DWD FlugWetter-App</i>	14.352

Umsätze aus meteorologischen Spezialdienstleistungen zur Sicherung der Luftfahrt 2024	
Produktgruppe	(EUR)
Selfbriefing-Systeme (Nutzungslizenzen <i>pc_met_Internet Service inkl. DWD FlugWetter-App und Heliportal</i>)	906.399
Flugmeteorologische Gutachten und Auskünfte (inkl. Sachverständigenleistungen ach JVEG)	2.495
Meteorologische Betreuung der Regionalflugplätze einschließlich Ausbildung des Personals	224.545
Mehrwertdienste (individuelle mündliche Flugwetterberatungen, TAF-Guidance und abgeleitete Produkte)	61.405
Erstellung/Bereitstellung flugmeteorologischer Informationen für Flughäfen und Service Provider	121.533
Sonstiges (Spezialberatungen, Flugwetterseminare und Schulungen etc.)	7.851
Umsatz Spezialdienstleistungen gesamt	1.324.228

3 Kundendienstleistungen

3.2 Kundenversorgung

Zur Versorgung der Kunden mit flugmeteorologischen Informationen (Daten und Produkte) dienen verschiedene Vertriebswege. Dabei werden die Richtlinien des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) beachtet, d. h. die übermittelten bzw. bereitgestellten Daten werden in ihren Grundwerten Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit angemessen geschützt. Die Flugwetterinformationen werden auf gesicherten und zugangsbeschränkten Daten- und Geoservern zum Abruf bereitgestellt, über Briefing-Systeme (Webanwendungen, Mobile Apps) graphisch aufbereitet angeboten sowie auch aktiv mittels Push Services (SFTP und E-Mail) zum Kunden geschickt. Darüber hinaus werden mit Vertretern des Flugverkehrsmanagements Wetterbriefings durchgeführt und für die meteorologische Flugvorbereitung werden individuelle telefonische Flugwetterberatungen angeboten.

Der technische Übertragungsweg ist daten- bzw. produktabhängig und richtet sich nach dem Bedarf und in Abstimmung mit dem Kunden. So muss z. B. die Versendung bzw. Übermittlung von Warnungen aktiv durch den DWD erfolgen, ggf. auch telefonisch oder über E-Mail, während die Lieferung regelmäßig erstellter Produkte, wie beispielsweise Modellvorhersagedaten oder Radarbilder, auf passivem Wege über Daten- und Geoserver oder über Briefing-Portale erfolgen kann. Über den Geoserver des DWD werden z. B. NowcastMIX-Aviation, NowcastMIX-Winterwetter, NowCastSAT-Aviation, sowie Vorhersageprodukte für Turbulenz, Vereisung und numerische Daten aus Vorhersagemodellen, aber auch Radar- und Satellitendaten angeboten.

Eine der großen Herausforderung in der Luftfahrt stellen die in der Durchführungsverordnung (EU) 2021/116 (CP1) formulierten Anforderungen im Zusammenhang mit dem systemweiten Information-Management (SWIM – System Wide Information Management) dar. Es geht um den zukünftigen, standardisierten Austausch von allen ATM-

Informationen. Das Wetter ist hier ein wesentlicher Bestandteil.

Bis zum Ende des Jahres 2025 geht die Versorgung der Verkehrsluftfahrt mit Flugwetterinformationen über SWIM-konforme Dienste in den Routinebetrieb. Die Flugwetterdienste sind verpflichtet entsprechende Services anzubieten und die Kunden sind verpflichtet, diese operationell in Anspruch zu nehmen. Das erste gemeinsame Vorhaben (CP1 – Common Project One) offeriert neben einem Vulkanaschekonzentrationsdienst drei flugsegmentbezogene Services, und zwar für den Flughafenbereich, die Netzwerksteuerung sowie für den Streckenflug inklusive des Anflugs.

Der DWD hat in den vergangenen Jahren eine SWIM-Datenabgabeschnittstelle für den präoperationellen kundenseitigen SWIM-Abruf eingerichtet. Deren Aufbau erfolgte gemäß den gesetzlichen Vorgaben, Formaten und Protokollen. Aktuelle Nutzer sind nun bereits verschiedene Kundengruppen, wie etwa Fluggesellschaften, Flugsicherungsorganisationen, Systemhäuser sowie der EUROCONTROL-Netzwerkmanager. Dies ist eine reine Maschine-Maschine-Schnittstelle und unterstützt die im Global Air Navigation Plan (GANP) der ICAO und im ATM-Masterplan beschriebene Vollautomatisierung des Datenmanagements.

Die Leistungen des DWD wurden auf die gesetzlichen Vorgaben der EU-DVO 2021/116 (CP1) zugeschnitten, darüber hinaus auch nach Anwendungszweck oder Kundenanforderungen. Als erste Daten bzw. Produkte stehen METAR, TAF und SIGMET im IWXXM -Format sowie das harmonisierte Turbulenz- und Vereisungsprodukt aus dem SESAR Implementierungsprojekt European Harmonised Forecasts of Adverse Weather zur Verfügung. Auf Initiative der beteiligten Projektpartner wird auch die gemeinsam erstellte Cross Border Convection Forecast (CBCF) als SWIM konformer Service über die DWD-Schnittstelle angeboten.

Der Deutsche Wetterdienst beteiligte sich im europäischen Rahmen an der Standardisierung der SWIM-Servicebeschreibungen. Dabei wurden die DWD-Servicebeschreibungen in der zentralen europäischen SWIM Registry veröffentlicht, einer Registratur mit einheitlichen Beschreibungen der angebotenen Services und deren Nutzung sowie den Kontaktdaten der Diensteanbieter. Vertragsabschlüsse zur Nutzung von SWIM-Services können so direkt zwischen Kunde und Anbieter erfolgen.

Die Tower-Lotsen der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH an den internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland benötigen zeitnah Messwerte der dort aktuellen meteorologischen Parameter und erhalten diese im 10-Sekunden-Takt über direkte Modemstrecken. Dazu wird das Automatische System zur Datenerfassung und -Verbreitung (ASDUV) eingesetzt, bestehend aus verschiedenen Sensoren in unmittelbarer Nähe des Start-Landebahnsystems (u. a. Wind, Sichtweite, Luftdruck, Temperatur, Feuchte, Ceiling) und entsprechender Rechentechnik zur Auswertung und visuellen Darstellung der gemessenen Parameter sowie zur Erstellung von Wettermeldungen und Datentelegrammen.

Die DFS-Zentrale in Langen erhält ebenfalls meteorologische Daten vom Deutschen Wetterdienst, und zwar per Push-Service über eine besonders abgesicherte und redundant ausgelegte Verbindung, zur weiteren Verteilung an eine Vielzahl von Flugsicherungssystemen und an die Arbeitsplätze der Center-Lotsen.

Mit qualitätsgesicherten meteorologischen Daten vom DWD werden auch die deutschen Regionalflughäfen versorgt. Dort erfolgt die Durchführung des Wetterbeobachtungs- und Wettermeldedienstes im Gegensatz zu den internationalen Verkehrsflughäfen mit flughafeneigener Mess- und Datenverarbeitungstechnik (AWOS) und mit dem Personal des Flugverkehrsdienstes

oder des Flughafenunternehmers. Die Technik ist vom DWD musterzugelassen und wird nach einer technischen Abnahme am Flughafen in Betrieb genommen. Die Fluglotsen im Tower haben direkten Zugriff auf die Messwerte. Schließlich werden die verschlüsselten Flughafenwettermeldungen an die DWD-Zentrale in Offenbach vermittelt, von dort aus an die entsprechenden Kunden verteilt und auch in den Briefing-Portalen des DWD angeboten.

Der DWD kooperiert zur Versorgung der Verkehrsflughäfen und der Allgemeinen Luftfahrt zunehmend mit externen IT-Dienstleistern für Komplettlösungen im Air Traffic Management (ATM), durch deren Software die meteorologischen Daten des DWD zielorientiert in die Prozesse, Systeme und Anwendungen der Kunden integriert werden. Diese Systemhäuser erhalten vom DWD meteorologische Daten und Produkte in digitaler Form und haben so die Möglichkeit, individuelle Anforderungen und Bedürfnisse der Kunden, z. B. spezielle Visualisierungen, zu berücksichtigen. Für die korrekte Prozessierung meteorologischer Informationen in Air-Traffic-Management-Software ist die vom DWD herausgegebene Richtlinie »Display of Meteorological Information (Acceptable Means of Compliance for Display of Digital Meteorological Information AMC-DWD-01)« maßgeblich.

Große Fortschritte wurden in den letzten Jahren bei der Integration von Wetterinformationen in die Informationssysteme im Cockpit erreicht, wobei sich der DWD mit der Entwicklung und Bereitstellung von Nowcasting- und Vorhersageprodukten insbesondere für Gewitter, Turbulenz und Vereisung als ein führender MET-Provider für »Wetter ins Cockpit« positioniert hat. Unsere flugmeteorologischen Informationen werden über die Software spezieller IT-Dienstleister in die Flugplanungs- und Flugnavigationsanwendungen gespeist und stehen den Piloten im Cockpit z. B. über Electronic Flight Bags zur Verfügung. Sie erhöhen so das

Situationsbewusstsein (»Situational Awareness«) hinsichtlich des aktuellen Wetters sowie eventueller Wettergefahren, ermöglichen strategische und taktische Entscheidungen in der Flugdurchführung und tragen damit zur Flugsicherheit bei.

Bereits seit mehreren Jahren stehen die globalen Turbulenzvorhersagen des Eddy Dissipation Parameters (EDP) vom Deutschen Wetterdienst in den Cockpits der Verkehrsluftfahrt zur Verfügung und werden erfolgreich zur Flugplanung und Flugdurchführung genutzt. Seit Juni 2022 stellt der DWD ein weiteres globales Produkt mit der Bezeichnung NowCastSAT-Aviation (NCS-A) zur Darstellung von Satelliteninformationen im Cockpit bereit, die insbesondere bei Wetterlagen mit hochreichender Konvektion und Gewittertätigkeit essentiell sind. NCS-A zeigt die genaue Position aktueller Gewitter, berechnet ihre Zugrichtung in den nächsten zwei Stunden und zeigt für jede Gewitterzelle deren Wolkenobergrenze (Cloud Top Height – CTH). Dabei nutzt es die Messungen von fünf geostationären Wettersatelliten, globale Blitzdaten eines externen Dienstleisters sowie Daten aus dem globalen Modell des deutschen Wettervorhersagesystems ICON.

Unsere globalen Turbulenz- und Gewittervorhersageprodukte finden bei Softwaredienstleistern für Flugplanung und Flugdurchführung zunehmende Verbreitung und sind somit für immer mehr Piloten im Cockpit verfügbar.

Auch im digitalen Zeitalter ist die Kommunikation zwischen Prognostikern und Kunden in Form der regelmäßigen und situativen Wetter-Briefings für die Verkehrsluftfahrt (telefonisch oder persönlich, national und auf europäischer Ebene, mit den Entscheidungsträgern der Flugsicherungsorganisationen und -behörden, der Fluggesellschaften, der Flughafenbetreiber und weiterer Dienstleister des Luftverkehrs) sowie die individuelle telefonische Flugwetterberatung für die Allgemeine

Luftfahrt, die fliegenden Einheiten der Polizei, der Rettungsdienste und des Katastrophenschutzes durch die Flugwetterzentrale Frankfurt (FWZ) und die Luftfahrtberatungszentralen (LBZn) von besonderer Bedeutung.

Nicht zuletzt bietet der DWD Selfbriefing-Systeme zur meteorologischen Online-Flugvorbereitung an. Neben den Schlüsselkunden der Verkehrsluftfahrt haben alle Flugzeugführer der Allgemeinen Luftfahrt die Möglichkeit, sich auf diese Art und Weise alternativ oder ergänzend zur individuellen Flugwetterberatung zu informieren. Nachfolgend werden die drei inhaltlich auf die jeweilige Nutzergruppe zugeschnittenen Flugwetter-Selfbriefing-Systeme des Deutschen Wetterdienstes kurz beschrieben.

Selfbriefing-Systeme

► Meteorological Airport Briefing (MAB)

Meteorological Airport Briefing ist ein web-basiertes Portal mit meteorologischen Produkten für das Air Traffic Management (ATM) und das Airport Collaborative Decision-Making (A-CDM). Es unterstützt die Flughafenbetreiber bei der Prozesssteuerung auf Flughäfen, die dort ansässigen Flughafendienstleister (z.B. Winter- und Verkehrsdienste), die Fluggesellschaften u. a. in den Bereichen Dispatch und Mission Support, die DFS Deutsche Flugsicherung AG bei den Flugverkehrsdiensten im Tower und in den Kontrollzentralen, EUROCONTROL bei den Flugverkehrsdiensten für das Upper Air Control Center in Maastricht sowie den Network Manager.

MAB beinhaltet die von der jeweiligen Luftfahrtberatungszentrale bzw. der Flugwetterzentrale Frankfurt speziell für die Verkehrsflughäfen erstellten Airport- und Winterdienstberichte sowie die kundenspezifischen Radar-, Gewitter- und Blitzinformationen. 2023 wurde das Produkt Airport WX Forecast eingeführt, in dem die

meteorologischen Parameter für die Betriebssteuerung der Flughäfen zeitlich hochaufgelöst, tabellarisch und leicht verständlich dargestellt sind, und zwar für den Kurzfristbereich bis 22 Stunden im Voraus. Für den Kurzfrist- und Mittelfristbereich hat der DWD das Produkt Airport WX Outlook entwickelt, welches mit einer 7-Tagesprognose für die Flughäfen in Deutschland auch die Anforderungen aus dem Airport Operation Plan (AOP) erfüllt. Weiterhin sind NowCastMIX-Aviation, NowCastMIX-Winterwetter sowie die Anwendung WarnELEC Bestandteile des Meteorological Airport Briefings. Für den EUROCONTROL-Network-Manager steht außerdem die Cross Border Convection Forecast, eine von 24 europäischen Wetterdiensten kollaborativ erstellte Konvektionsvorhersage zur Verfügung.

► **Heliportal**

Das Heliportal des DWD ist ein webbasiertes Flugwetter-Briefing-System für die meteorologische Flugvorbereitung von Hubschrauberbesatzungen und wird überwiegend von den fliegenden Einheiten der Polizei, der Rettungsdienste und des Katastrophenschutzes genutzt. Die auch im **pc_met Internet Service** enthaltenden Standardprodukte für das Flugwetterbriefing werden im Heliportal noch ergänzt durch Spezialprodukte wie die Nachtflugvorhersage mit BIV-Brille, Konvektionsvorhersagen (**Nowcast-MIX-Aviation**), Marinogramme und Seegangsvorhersagen für Helikoptereinsätze im Offshorebereich.

► **pc_met Internet Service (www.flugwetter.de) und DWD FlugWetter-App**

Für die Piloten der Allgemeinen Luftfahrt und auch der Verkehrsluftfahrt bietet der DWD das Selfbriefing-System **pc_met Internet Service** zur meteorologischen Flugvorbereitung an. Neben Warnungen, Vorhersageberichten und Wetterkarten, werden räumlich hochaufgelöste Radar-

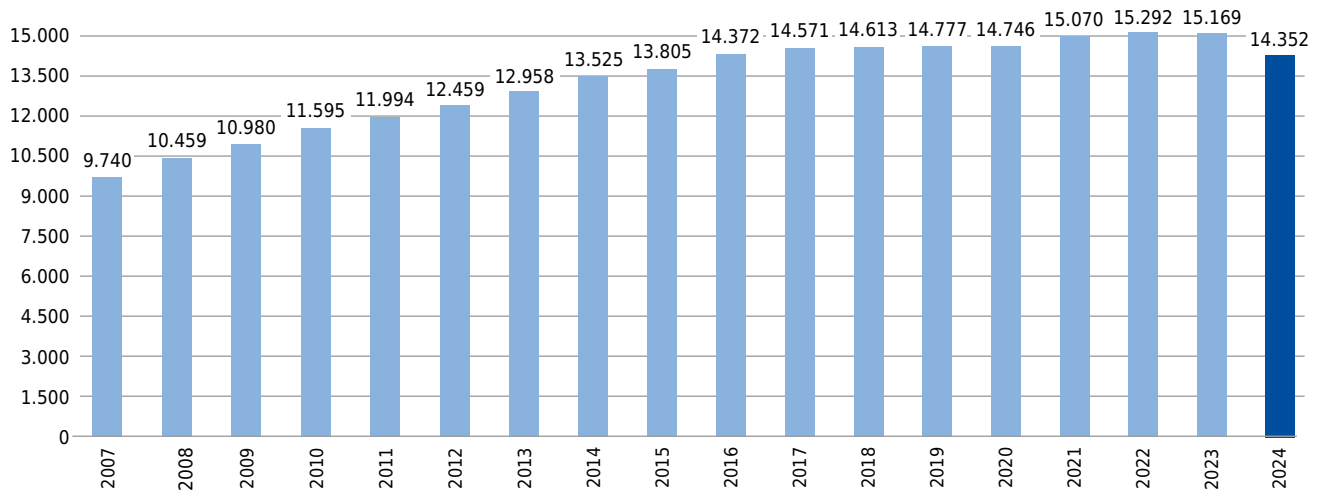
Blitz- und Satelliteninformationen in z. T. fünfminütiger Aktualisierungsfrequenz angeboten. **pc_met** ist seit über 20 Jahren als Selfbriefing-System für die meteorologische Flugvorbereitung etabliert und wird derzeit von etwa 14.000 Kunden genutzt.

Für die Kunden des Flugwetter-Briefing-Systems **pc_met Internet Service** bietet der Deutsche Wetterdienst mit der **DWD FlugWetter-App** eine mobile Ergänzung zur meteorologischen Flugvorbereitung an. Die DWD Flugwetter-App hat mittlerweile den Status eines vollständigen mobilen Flugwetterbriefing-Systems für Piloten der Allgemeinen Luftfahrt in Deutschland erreicht. Die App ermöglicht es, auch kurz vor dem Abflug noch mal das Wetter für Start, Ziel und die geplante Strecke mit aktuellen Radar- und Blitzinformationen, einem aktualisierten GAFOR und den gültigen Warnungen zu überprüfen, sowie Vorhersagen bis 78 Stunden im Voraus in Kartenform und seit 2024 auch als Meteogramm oder in Form eines Vertikalschnittes (Cross Section) zu studieren. Die **DWD FlugWetter-App** wird kontinuierlich um Wetterinformationen und Funktionalitäten erweitert.

Neben dem europäischen steht den Nutzern auch ein deutsches Radarkomposit zur Verfügung. In diesem Radarbild werden die Niederschlagsphasen Graupel, Hagel, Schnee, Schneeregen und gefrierender Regen durch entsprechende Symbole dargestellt. Zudem steht eine Radar-Verlagerungsvorhersage bis 2 Stunden im Voraus in fünfminütigen Zeitschritten zur Verfügung.

Die Briefing-Systeme im Deutschen Wetterdienst werden kontinuierlich dem raschen wissenschaftlich-technischen Fortschritt angepasst. Beispielsweise sind die meteorologischen Datensätze und Produkte zunehmend in Geowebdienste eingebunden, so dass sie den Kunden über spezielle Server und Briefing-Systeme

pc_met Kunden in den Jahren 2007 bis 2024



georeferenziert zur Verfügung gestellt werden können. Erste Anwendungen können bereits über den Geoserver und die Briefing-Systeme MAB und Heliportal abgerufen werden.

Unbemannte Luftfahrt

► Neuer Rechtsrahmen

Mit der DVO 2021/664 wurde 2021 der Rechtsrahmen für die unbemannte Luftfahrt (Unmanned Aircraft Systems – UAS) erneut erweitert und erlaubt nun den EU-Mitgliedsstaaten, mittels eines **U-Space** genannten Regelwerkes, den Betrieb von Drohnen in das Luftraummanagement aufzunehmen. Um auch dieser Klasse von Luftfahrzeugen einen flugmeteorologisch abgesicherten Betrieb, inklusive Flugvorbereitung, Navigation und Flugdurchführung zu ermöglichen, müssen sich die Flugwetterdienste völlig neuen Herausforderungen stellen. Der Kundenservice Luftfahrt des DWD unterstützt in diesem Zusammenhang das Bundesministerium für Verkehr (BMV), das Luftfahrt-Bundesamt (LBA), das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF)

und die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH bei der Umsetzung der EU-Durchführungsverordnungen in nationales Recht und ist im UAS-Beirat des BMV tätig.

► Wetterinformationen für unbemannte Luftfahrt

Für UAS-Nutzer wird der **pc_met Internet Service** angeboten, außerdem steht allen Piloten ferngesteuerter Luftfahrzeuge die kostenpflichtige individuelle Flugwetterberatung zur Verfügung, die allerdings nur selten genutzt wird (24 Beratungen im Jahr 2024). Weiterhin bietet der DWD für die unbemannte Luftfahrt eine kostenfreie Grundversorgung mit Flugwetterinformationen unter www.dwd.de/luftsport an. Dazu gehören Windprognosen für die Erdoberfläche, eine Niederschlagsradar- und Blitzkarte, sowie ein Windprofilrechner für die untere Grenzschicht. Zur meteorologischen Unterstützung der Flugplanung im bodennahen Luftraum stellt der DWD – nicht nur für unbemanntes Fliegen – einen Vorhersagedatensatz mit hochaufgelösten ICON-D2-Daten und zusätzliche Wetterradar- und Blitzdaten bereit. Die

Vorhersagen sind seit 2023 in das Map Tool der **Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt** (DIPUL) des BMV integriert.

► **OBeLiSk**

Im Projekt **Operationelles Betriebskonzept zur sicheren und effizienten Luftraumintegration von Stratosphärenplattformen** (OBeLiSk) beteiligte sich der DWD unter Leitung der Leichtwerk Research GmbH, gemeinsam mit der Unisphere GmbH, der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH und dem Institut für Flugführung der TU Braunschweig an der Entwicklung eines operationellen Betriebskonzepts zur sicheren und effizienten Luftraumintegration von sogenannten Pseudo-Satelliten (High Altitude Pseudo Satellites, kurz HAPS), die für verschiedene wissenschaftliche und technische Anwendungen in der Stratosphäre unterwegs sind. Der Kundenservice Luftfahrt steuerte hierzu die flugmeteorologische Expertise für die Entwicklung des Betriebskonzeptes und die operationellen Flugwetterprodukte für Betriebsszenarien, Verkehrssimulationen und Testflüge bei. Das Projekt OBeLiSk wurde im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert und im Jahr 2024 erfolgreich abgeschlossen.

Weitere Projekte

► **Met4Airports**

Im Vorhaben Met4Airports im Rahmen des mFUND Förderprogramms des damaligen Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) wurde erprobt, inwiefern mittels KI-basierter Verfahren Entscheidungsprozesse bei der Deutschen Flugsicherung und in der Verkehrssteuerung von großen internationalen Verkehrsflughäfen durch Berücksichtigung meteorologischer Parameter und Betriebsdaten optimierbar sind.

Durch die Entwicklung und den Einsatz von Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) konnte eine Verknüpfung von wetterbedingten Betriebseinschränkungen exemplarisch für die Verkehrsflughäfen München und Frankfurt inklusive der jeweiligen Anflugbereiche mit meteorologischen Daten hergestellt werden. Anhand der entwickelten KI-Algorithmen konnten Zusammenhänge erkannt, quantifiziert und in entsprechende Entscheidungsempfehlungen zu wetterbedingten Impakt-Vorhersagen hinsichtlich Landebahn- und Sektorkapazitäten, mittleren Verspätungen oder Einzelflugverspätungen prototypisch umgesetzt werden. Das Projekt lief Ende November 2023 aus.

Die Ergebnisse wurden beim EUROCONTROL **FLY AI Forum 2024** Ende April am Info-Stand des Deutschen Wetterdienstes präsentiert. Dabei wurde EUROCONTROL auf das Projekt **Met4Airports** aufmerksam, weil ähnliche Entwicklungen KI-basierter Verfahren zu wetterbedingten Betriebseinschränkungen sowohl im Streckennetzwerk als auch im Flughafenbereich im Rahmen des EUROCONTROL Air Transport Innovation Network durchgeführt werden. Zukünftig bietet sich auf diesem Gebiet eine Zusammenarbeit mit EUROCONTROL an.

► **Klimaoptimiertes Fliegen**

Das Ziel der Klimaneutralität in Europa und in Deutschland bis 2050 beinhaltet auch eine klimaneutrale Luftfahrt. Ein Maßnahmenbündel betrifft dabei die Vermeidung von »Nicht-CO₂-Effekten« auf das Klima. Den größten Anteil dieser »Nicht-CO₂-Effekte« bilden zumeist nachts auftretende, langlebige Kondensstreifen, die durch ihre langwellige Rückstrahlung im thermischen Infrarot-Spektralbereich zu einer Erwärmung der Troposphäre und des Erdbodens beitragen. Zur Vermeidung dieses Effektes bietet sich das Umfliegen der als klimasensitiv

betrachteten Entstehungsgebiete nächtlicher Kondensstreifen an, was jedoch deren hinreichend genaue Vorhersage bedingt.

Unter Beteiligung des Deutschen Wetterdienstes sind in den letzten Jahren für Machbarkeitsstudien und zur Verfahrensentwicklung verschiedene nationale und internationale Projekte innerhalb des Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE), des Europäischen Rahmenprogrammes für Forschung und Innovation – Horizont Europa sowie der Initiative SESAR 3 Joint Undertaking angelaufen.

Aufgabe des DWD in den Projekten ist es, zum einen die Vorhersage von Gebieten mit starker »Eisübersättigung«, in denen sich persistente Kondensstreifen bilden können, in Raum und Zeit zu verbessern. Zum anderen müssen die meteorologischen Eingangsdaten für Algorithmen zur Berechnung der Klimawirkung der »Nicht-CO₂-Effekte« bereitgestellt werden. Basierend auf den Resultaten der Numerischen Wettervorhersage werden dafür verschiedene Parameter benötigt, u. a. die relative Feuchte bei Wasserdampfübersättigung über Eis, deren Vorhersage im Vergleich zu anderen Parametern mit hohen Unsicherheiten behaftet ist. Zu genaueren Berechnung der relativen Feuchte wurde im numerischen Wettervorhersagemodell ICON das wolkenmikrophysikalische Parametrisierungsschema hinsichtlich einer verbesserten Darstellung der Wasserdampfübersättigung überarbeitet. Diese ICON-Modellversion wird seit 2024 bis zur operationellen Überführung als Dedicated Forecast System betrieben. Außerdem werden mittels sogenannter All-Sky-Datenassimilation zusätzliche Beobachtungsdaten des atmosphärischen Wasserdampfes, basierend vor allem auf Fernsondierungen der neuen Wettersatelliten-generation in die numerische Wettervorhersage einbezogen.

Im Berichtsjahr wurde die fachliche Verantwortung zur Durchführung des 100-Testflügeprogramms dem LuFo-Projekt D-KULT im Rahmen des Arbeitskreises Klimaneutrale Luftfahrt der damaligen Bundesregierung übertragen. Der DWD steuerte Vorhersagekarten zur Unterstützung der Dispatcher sowie Vorhersagen über starke Eisübersättigung und Nicht-CO₂-Klimawirkungen als Input für die Flugplanungstools der beteiligten Systemhäuser bei.

2024 wurde durch das Directorate-General Climate Action der Europäischen Kommission die Durchführungsverordnung (EU) 2024/2493 zum Überwachungs-, Berichts- und Verifikationssystem (Monitoring, Report and Verification System, abgekürzt MRV-System) für Nicht-CO₂-Klimaeffekte im Flugverkehr veröffentlicht, welche zum 01. Januar 2025 in Kraft trat. Zur Optimierung des MRV-Systems entwickelt EUROCONTROL das Non-CO₂ Aviation Effects Tracking System (NEATS). In diesem Zusammenhang wurde der DWD mit dem Projekt **The Definition of the Common Reference Numerical Weather Prediction Model** beauftragt. Dessen Resultate basieren auf der oben dargestellten ICON-Modellversion mit verbesserter Wolken-eismikrophysik und dienen als Input für Klima-Response-Modelle (Climate Response Models) zur Berechnung des Nicht-CO₂-Klimaeffekts. Ziel der Bemühungen ist es, ein **Reference Set of Technical Specification (RSTS)** zu erhalten, welches als begleitendes Dokument zur Durchführungsverordnung gilt. Um das Thema klimaoptimiertes Fliegen insgesamt auf europäischer Ebene voranzubringen, hat die EASA im Juni 2024 zunächst für drei Jahre das Aviation Non-CO₂ Expert Network (ANCEN) etabliert, an dem auch der DWD beteiligt ist.

3 Kundendienstleistungen

3.3 Kundenkonsultationen

Die Entwicklung, Produktion und Bereitstellung meteorologischer Daten, Produkte und Dienstleistungen auf hohem wissenschaftlich-technischem Niveau bilden die Grundlage für eine zuverlässige meteorologische Unterstützung der Luftfahrt. Unser Anspruch geht dabei über die rein fachliche Arbeit hinaus: Wir begleiten unsere Kunden bei der Einbindung meteorologischer Informationen in ihre Geschäftsprozesse und stehen beratend zur Verfügung. Gleichzeitig greifen wir Anregungen und Anforderungen auf, um unser Angebot gezielt weiterzuentwickeln und den praktischen Nutzen meteorologischer Informationen gemeinsam zu erhöhen.

Neben der direkten Betreuung unserer Bestandskunden suchen wir u. a. auf Messen den Kontakt zu Neukunden und laden die Fachwelt alljährlich zum Luftfahrtkundenforum ein.

Kundenforum

Jedes Jahr im Spätherbst führt der DWD-Flugwetterdienst unter Federführung des Referates **Kundenservice Luftfahrt** sein Kundenforum durch.

2024 feierte das Luftfahrt-Kundenforum sein 20. Jubiläum. In den Anfängen des Luftfahrt-Kundenforums standen administrative Themen wie die Einführung des Single European Sky, die Einführung eines Qualitätsmanagement Systems, die



▲ Dr. Christoph Leifeld führt durch das Luftfahrt-Kundenforum, von Martin Wiczorrek, DWD

Zertifizierung der ICAO oder die Luftfahrtkostenrechnung im Vordergrund. Mit den Jahren wandelte sich die Veranstaltung und der Teilnehmerkreis öffnete sich. Fachliche Themen erweitern heute das Programm. Mit dem Luftfahrt-Kundenforum wurde über die Jahre hinweg eine Plattform geschaffen, die für alle unsere Kunden erreichbar ist und einen umfassenden Einblick in den DWD-Flugwetterdienst bietet.

Feste Bestandteile der Tagesordnung sind stets die aktuelle Organisationsstruktur des Flugwetterdienstes innerhalb des Deutschen Wetterdienstes, das flugmeteorologische Leistungsspektrum mit seinen vielseitigen Kundenschnittstellen und natürlich ein Blick auf die Kosten des Flugwetterdienstes. Dank verschiedener Fachvorträge erhalten die Kunden einen tieferen Einblick in aktuelle flugmeteorologische Entwicklungen, Projekte und Arbeitsfelder.

Von Beschäftigten unseres Flugwetterdienstes wurden vier Fachvorträge gehalten:

- ▶ SEN4Airports - KI-basiertes Tool zur Vorhersage von »Runway in Use« unter Verwendung von Self-Enforcing Networks und ICON-D2-EPS-NWV-Daten des DWD
 - ▶ Der Flugwetterdienst in Krisenzeiten – Leistungen und betriebliche Prozesse im Katastrophenfall
 - ▶ Signifikantes Wetter in der Luftfahrt – Wir unterstützen Sie mit unseren Produkten
 - ▶ Die DWD FlugWetter-App – Die Entwicklung vom Add on zum vollständigen MET Briefing
- Zusätzlich rundete Herr Dr. Jochen Kaiser vom Bauhaus Luftfahrt mit seinem Vortrag »Zukunft der Luftfahrt – Herausforderungen durch den Klimawandel« die Fachvorträge des DWD ab.

Zur Unterstützung des fachlichen Meinungs- und Erfahrungsaustausches waren fünf virtuelle Themenräume und vor Ort fünf entsprechende Thementische mit DWD-Personal bereitgestellt

worden. Während einer erweiterten Mittagspause konnten interessante Gespräche geführt werden.

Das Luftfahrtkundenforum 2024 mit seinen Vorträgen und Gesprächen fand erneut großen Anklang bei den Vertretern des Bundesministeriums für Verkehr (BMV), bei Behörden wie dem Luftfahrt-Bundesamt (LBA) und dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF), bei Repräsentanten der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, EUROCONTROL, Flughafenbetreibern, Fluggesellschaften, Luftfahrt- und Luftsportverbänden sowie vielen weiteren Interessierten.

Alle Präsentationen des Luftfahrtkundenforums 2024 stehen weiterhin barrierefrei im Internet zum Nachlesen und zum Download zur Verfügung.

Messe- und Ausstellungspräsenz

▶ AERO Friedrichshafen

Die AERO Friedrichshafen ist die europäische Leitmesse für die Allgemeine Luftfahrt und als Plattform für Geschäfte und Informationsaustausch ein fester Termin in dieser Branche. Die AERO feierte vom 17. bis zum 20. April 2024 ihre 30. Ausgabe. Dieses Jubiläum musste gefeiert werden. Erstmals seit vielen Jahren wurde eine Airshow durchgeführt.

31.500 Besucher aus 81 Nationen bestaunten die Neuheiten, Produkte und Innovationen.

Erneut präsentierte sich unter organisatorischer Federführung des DWD die gesamte deutsche Luftverkehrsverwaltung, bestehend aus dem Bundesministerium für Verkehr (BMV), dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF), dem Luftfahrtbundesamt (LBA) und der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU).

Wie bereits im vergangenen Jahr lud der offen und freundlich gestaltete Messestand Wetter- und Luftfahrtinteressierte sowie viele Fachleute zu Gesprächen über das umfangreiche Angebot des DWD an flugmeteorologischen Dienstleistungen



▲ AERO Friedrichshafen 2024 – das »AERO-Team« des Deutschen Wetterdienstes auf dem gemeinsamen Messestand, von Matthias Wandel, DWD

und zum Erfahrungsaustausch ein. Weitergehende, tiefere Dialoge und Verhandlungen, etwa mit Kunden oder Behördenvertretern, konnten im angenehmen Ambiente des Lounge-Bereichs im Zentrum des Messestandes geführt werden.

Der Deutsche Wetterdienst präsentierte u. a. die aktuelle Version der DWD FlugWetter-App mit den neuen Meteogrammen und Vertikalschnitten (Cross Sections). Hierfür wurde auf dem Messestand eine Livepräsentation durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Fachvortrag zur Flugwettervorhersage GAFOR angeboten.

Dank der guten technischen Ausstattung mit Tablets, PC-Arbeitsplätzen und großen TV-Screens war eine unkomplizierte, effektive und anschauliche Vorführung unserer Systeme, Produkte und Dienstleistungsangebote jederzeit möglich.

Auch auf der AERO 2024 standen Flugwetterberater des DWD für den kostenfreien Service individueller Flugwetterberatungen zur Verfügung. In einer mobilen Luftfahrtberatungszentrale (LBZ) wurde eine Vielzahl an Beratungen durchgeführt und gleichzeitig Einblicke in die spannende und abwechslungsreiche Arbeit des Flugwetterdienstes gewährt.

Als zusätzliches Angebot gab es täglich im Konferenzbereich zwei Fachvorträge, und zwar »Thermikvorhersagen – Mehr als heiße Luft« sowie »Vorschriftsmäßig und sicher – Die richtige meteorologische Flugvorbereitung«, die bei vielen Besucherinnen und Besuchern großen Anklang fanden und gleichzeitig das Interesse weckte, die Gespräche und Diskussionen am Messestand fortzusetzen.

Unsere Standbetreuer waren dem Messepublikum stets willkommene Ansprechpartner für viele Fragen und zum Austausch konstruktiver Ideen. Der DWD-Flugwetterdienst konnte überwiegend positives Feedback mit einzelnen kritischen Anmerkungen entgegennehmen und hat erneut wertvolle Anregungen zur Fortentwicklung und Verbesserung der flugmeteorologischen Produkte und Dienstleistungen erhalten.

Die AERO Friedrichshafen wurde auch im Berichtsjahr 2024 für die Rekrutierung von Nachwuchskräften genutzt, denn der erfolgreiche Wettbewerb um kluge Köpfe ist in Zeiten kommenden Fachkräftemangels für die Zukunftsfähigkeit des DWD-Flugwetterdienstes essentiell.

Speziell für die Personalgewinnung wurde am DWD-Messestand eine Sonderfläche gestaltet, wo sich die fünf teilnehmenden Luftfahrtbehörden zusätzlich als Arbeitgeber vorstellen konnten. Präsentiert wurden u. a. eine Job-Cloud sowie Video-Beiträge, welche die Arbeitswelten der beteiligten Behörden zeigten. Vor allem die Arbeitgeber-Dachmarke **damit-alles-läuft.de** konnte einen integrierenden Rahmen über die fünf Behörden spannen.


Kolleginnen unseres Personalmanagements präsentierten den Deutschen Wetterdienst auf der AERO Friedrichshafen als attraktiven Arbeitgeber und berieten interessierte Jugendliche zu den vielfältigen Beschäftigungs- und Karrieremöglichkeiten. Neben aktuellen Stellenausschreibungen wurden auch Schüler- und Studentenpraktika sowie das duale Fachhochschulstudium bzw. die Laufbahnausbildung des gehobenen naturwissenschaftlichen Dienstes des Bundes beworben.

Darüber hinaus betreibt der Deutsche Wetterdienst kontinuierlich ein aktives Personalmarketing unter Nutzung verschiedener Rekrutierungsinstrumente, dazu zählen nicht nur ein zeitgemäßes Social-Media-Marketing, sondern auch die Präsenz auf verschiedenen Job-, Karriere- und Ausbildungsmessen.



Blitzeinschlag am Horizont des Arabischen Meeres, 2. November 2002,
USS Abraham Lincoln (CVN 72), von Mate 2nd Class Aaron Ansarov, U.S. Navy -
http://www.navy.mil/view_image.asp?id=3163,
Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=208023>

Blitz und Donner



Gewitter werden stets von Blitz und Donner begleitet. Blitze entstehen in hoch aufgetürmten Gewitterwolken, wenn sich die u. a. durch Reibung der Wolkenpartikel entstandenen, elektrischen Spannungsunterschiede zwischen unterschiedlichen Stockwerken derselben Wolke, zwischen verschiedenen Wolken oder – wie hier im Bilde – zwischen Wolke und Erdboden in Form einer Funkenentladung bzw. eines kurzzeitigen Lichtbogens entladen. Die plötzliche und starke Erhitzung der Luft im Blitzkanal (in Sekundenbruchteilen auf einige zehntausend Grad) infolge des hohen Stromflusses bewirkt ihre explosionsartige Ausdehnung. Der damit einher gehende Druckanstieg erzeugt eine Schockwelle, die sich in der unmittelbaren Umgebung des Blitzes als scharfer Knall (»Donnerschlag«) bemerkbar macht. Die grüne Farbe der Maschinen auf dem Flugdeck lässt sich durch Reflektion des Blitzlichtes an den Schiffsaufbauten erklären.

4 Innovation und Entwicklung

4.1 Informationstechnik, Messtechnik und Arbeitsplatzsysteme

Modernisierung der Datenformate für flugmeteorologische Informationen

Auch im Jahr 2024 wurden planmäßig flugmeteorologische Informationen (z. B. METAR, SPECI, TAF und SIGMET) im alten TAC-Format (Traditional Alphanumeric Code) sowie parallel im neuen Austauschformat IWXXM (ICAO Meteorological Information Exchange Model) bereitgestellt. So unterstützt der DWD seine Kunden darin, bis Ende 2025 auf die gesetzlich vorgeschriebene SWIM-konforme Betriebsweise umzustellen. Entsprechend den Entscheidungen der ICAO erfolgt die Abgabe flugmeteorologischer Informationen im alten sowie im neuen Datenformat bis 2030 parallel, weil außerhalb Europas das alte TAC-Format noch bis dahin gültig ist.

Bereitstellung von Geo-Webdiensten

Geo-Webdienste sind ein Werkzeug für die Bereitstellung, den Austausch und die Nutzung von Geodaten über standardisierte Schnittstellen im Internet. Zum Beispiel können gewünschte Daten (auch Ausschnitte) über eine Schnittstelle Web Map Service (WMS) visualisiert (und in einem Client dargestellt) oder für Vektordaten über einen Web Feature Service (WFS) bzw. über einen Web Coverage Service (WCS) für Rasterdaten heruntergeladen und weiterverarbeitet werden. Die Geo-Webdienste sind georedundant aufgebaut. Über ein im Internet verfügbares Testsystem können neue Versionen der Dienste, neue Produkte und Anpassungen vorab getestet werden. Damit wird die Zuverlässigkeit der Daten verbessert und die Integrierbarkeit der Karten erleichtert.

Im Berichtsjahr wurde die georeferenzierte Bereitstellung von Daten und Karten für die flugmeteorologischen Kunden erweitert. Modellbasierte Konvektions-, Turbulenz- und Vereisungspolygone werden als Geo-Web-Dienst angeboten und flugmeteorologische Verfahren und Produkte

zum satellitenbasierten Konvektions-Nowcasting stehen georeferenziert im Routinebetrieb zur Verfügung. Im Hintergrund wurden die Systeme optimiert und weiterentwickelt. Es stehen nun weitere Möglichkeiten für die Entwicklung zur Verfügung (z.B. alternative Softwarepakete). 2024 wurden die Arbeiten am Visualisierungssystem von Geo-Daten fortgeführt und in der zweiten Jahreshälfte ein Testbetrieb mit externen Nutzern begonnen.

Messtechnik

Im Berichtsjahr wurde die Installation der neu entwickelten Freezing-Rain-Detektoren zur Erkennung von unterkühlten, flüssigen Niederschlägen (FZDZ und FZRA) abgeschlossen. Diese Sensoren sind jetzt an allen internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland im Einsatz.

Zur Sicherstellung der Betriebssicherheit der LLWAS-Systeme an den Flughäfen Frankfurt und München wurden die Radartransceiver der beiden Systeme durch neue Radartransceiver ersetzt. Zukünftig werden die in den LLWAS eingesetzten Lidar-Systeme, die im Laufe des Betriebs durch Alterungsprozesse an Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit verlieren, an den Flughäfen Frankfurt und München durch neue leistungsstärkere Geräte ersetzt.

Die Ausschreibung zum Ersatz der konventionellen Windmessgeräte (Schalensternanemometer und Windfahne) hatte die Firma Adolf Thies GmbH & Co. KG gewonnen, an sie wurde der Auftrag für die Lieferung von Ultraschall-Anemometern des Typs Ultrasonic Anemometer 2D compact vergeben. Zum Ersatz der konventionellen Windmessgeräte war ebenso wie für die Installation der Kamerasysteme zur Wetterüberwachung an den endgültigen Standorten eine Anpassung der ASDUV Software notwendig. Danach konnte die Umrüstung auf die Ultraschall-Anemometer und die Installa-



▲ Ultraschall-Anemometer vom Typ Ultrasonic Anemometer 2D compact, von Karsten Schubotz, DWD

tion der Kamerasysteme an den Flughäfen 2025 beginnen. Der Einsatz von verbesserten Druckeinlässen für die Luftdruckmessung wurde ebenso vorbereitet wie der Ersatz der ASDUV Server-Hardware gegen aktuelle Hardware.

Im Jahr 2024 wurde eine verbesserte Software für die in der Verlängerung der Startbahnen installierten Ceilometer erprobt und eingeführt, um den Einfluss von über die Messgeräte hinwegfliegenden Flugzeugen zu unterbinden.

Datenversorgung

Zur Versorgung des DWD und seiner Kunden mit flugmeteorologischen Informationen der World Area Forecast Center (WAFC) ruft der DWD Modelldaten und Produkte von beiden WAFC ab und leitet diese weiter. 2024 wurde der Datenabruf vom WAFC Exeter mithilfe der neuen SADIS-API im DWD eingerichtet. Die Arbeiten zum Datenabruf vom WAFC Washington wurden begonnen.

Für den Betrieb des SWIM Knotens am DWD wurde ein High-Availability-Cluster ausgeschrieben und beschafft, dessen Inbetriebnahme 2025 geplant ist. Neben dem SWIM Knoten werden aktuell auch Daten über die WMO Systeme GTS/WIS1 verbreitet. Im Zuge der Migration von GTS/WIS1 zu WIS2.0 in den Jahren 2025-2033 ist derzeit noch in Diskussion, ob diese Daten weiterhin über die WMO Systeme zur Verfügung stehen oder zukünftig nur noch über die SWIM Systeme abgegeben werden.

4 Innovation und Entwicklung

4.2 Flugwettervorhersage und -warnung

42

Numerische Wettervorhersage

Die Modellkette des Deutschen Wetterdienstes basiert derzeit auf dem globalen ICON-Modell (ICOsahedral Nonhydrostatic), darin eingebettet sind der höher aufgelöste Europaausschnitt ICON-EU und das Mitteleuropa umfassende lokale Modell ICON-D2 mit dem ICON-D05 Nest mit 500 m Auflösung. Um die Unsicherheiten bei der Bestimmung des Anfangszustandes im Rahmen der Datenassimilation sowie bei der numerischen Beschreibung der physikalischen Prozesse zu quantifizieren, stützen sich moderne Wettervorhersagesysteme auf eine Vielzahl von Modellprognosen (sogenannte Ensembles) mit leicht variierten Anfangszuständen (Analysen) und unterschiedlichen Modellformulierungen (Parameterstörungen), um aus der Menge der so gewonnenen Lösungen probabilistische Aussagen für verschiedene Wetterszenarien ableiten zu können. Mit den 40 Vorhersagen (»Ensemble-Members«) des ICON-EPS (Ensemble Prediction System), sowie den 10 weiteren ICON-ART-EPS-Members lassen sich neben der wahrscheinlichsten Wetterentwicklung bereits zwei bis vier Tage im Voraus mögliche alternative Szenarien, etwa hinsichtlich Zugbahnen und Intensitäten von Sturmzyklonen, erkennen.

Modelländerungen

Im Jahr 2024 ging das gemischte ICON-ART-Mineralstaubsystem in den Routinebetrieb. Dieses Modell liefert eine prognostische Mineralstaubverteilung in einem zusätzlichen deterministischen Lauf sowie 10 weiteren EPS-Members. Als für den Flugwetterbereich relevante Variablen werden unter anderem Staubkonzentrationen in den verschiedenen vertikalen Schichten oder auch Depositionsraten am Boden ausgegeben.

Im Ensemble-Vorhersagesystem wurden die Störungen des globalen Ensembles im Konvektionsschema und an die SST-Störungen angepasst, um

eine bessere Entwicklung der Verteilung des Ensembles zu erreichen. Zudem wurde das adaptive Tuning von sensitiven Parametern auf die hydrologische Diffusivität im Boden, die Land-Albedo und die Schneebedeckungsgraddiagnostik ausgeweitet. Die Energiebilanz des ICON-Modells wurde zudem verbessert, indem die Feuchte bei den atmosphärischen Wärmekapazitäten berücksichtigt wird.

Im Bereich der Datenassimilation wurden die Bodeneigenschaften der GEO-IR-Sounder angepasst, weitere Qualitätskontrollen des AMSU-A-Kanals auf Metop-C angebracht, die Assimilation von IASI Beobachtungen über Land erweitert und die Assimilation von US-METAR-Beobachtungen realisiert.

Eine Verbesserung der bodennahen Windvorhersagen im ICON-D2-System wurde durch Assimilation von 10-m-Windmessungen in Kombination mit einer adaptiven Bodenreibung erreicht. Zudem wurde die Verteilung des ICON-D2-Ensembles verbessert, indem im Assimilationszyklus Störungen auf das »Latent Heat Nudging« aufgebracht werden.

Die dargestellten Maßnahmen führen zu einer deutlich verbesserten Qualität der globalen und auch der regionalen ICON- und ICON-EPS-Vorhersagen, sowohl für die bodennahen meteorologischen Größen, als auch in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre. Als zusätzliche Information wird die atmosphärische Staubverteilung bereitgestellt.

Eine komplette Neuentwicklung im Bereich der Numerischen Wettervorhersage kam aus der künstlichen Intelligenz (KI). Im Berichtsjahr wurden erste Arbeiten in Richtung einer vollständigen Emulierung des globalen ICON Modells als AICON durch KI-Algorithmen durchgeführt. Hierbei wird in einem »Trainingsschritt« das Verhalten der Atmosphäre aus Reanalysedaten (in diesem Fall

ICON-DREAM) gelernt, um dann in einem »Inferenzschritt« den zukünftigen Zustand der Atmosphäre nach festen Zeitintervallen nachzubilden. Auch wenn bei dieser Art datengestützter Vorhersagen vieles noch nicht abgeschlossen sein mag, ist bereits absehbar, dass die AICON-Entwicklung auch für die Flugmeteorologie von Relevanz sein wird.

Integriertes Vorhersagesystem SINFONY

Zur Schließung der »methodischen Lücke« zwischen dem speziell für den Flugwetterdienst sowie dem Warnmanagement konvektiver Ereignisse interessanten, auf Beobachtungen beruhenden Nowcasting (0 bis 2 Stunden im Voraus) und der durch die mathematisch begründete Einschwingzeit numerischer Wettervorhersagemodelle »später einsetzende« Kurzfristvorhersage (2 bis 12 Stunden im Voraus) werden zurzeit im DWD struktur- und modellbasierte Lösungsansätze verfolgt. Die Kombination beider Paradigmen wird eine aus Nutzersicht »nahtlose« Produktion von Vorhersagen im Zeitraum von 0 bis 12 Stunden im Voraus liefern, welche darüber hinaus hohe Aktualisierungsraten (für NWV-Produkte stündlich, für detektierte Niederschlagsfelder oder konvektive Zellen 5-minütlich) plus Abschätzungen der Unsicherheiten ermöglicht. Entsprechende Basisverfahren für Flächen- und Objekt-Ensemble-Nowcasting für Niederschlag, Reflektivität und Zellobjekte (STEPS-DWD, KONRAD3D(-EPS)) sowie ein neues ICON-Rapid-Update-Cycle-Ensemble sowie Verfahren zu deren bruchfreier Kombination wurden im Rahmen der Projekte SINFONY-Pilot (bis 2021) bzw. SINFONY-Forschung (seit 2021) entwickelt, zur Echtzeitreife gebracht und bilden das neue SINFONY (Seamless INtegrated FOrecastINg sYstem). Alle Verfahren befinden sich seit 2021 im täglichen Echtzeit-Testbetrieb, der diverse Evaluierungsserien verschiedener Kooperationspartner

beliefert und zu weiteren Verbesserungen und Konsolidierungen führt. Im Jahr 2024 wurde der ICON-RUC nach langer Test- und Evaluierungszeit in den operationellen Betrieb überführt.

Radarbasierte Detektion von Niederschlägen und Konvektion

Bereits 2022 wurde die durchgehende Referenzierung der Radarprodukte auf das World Geodetic System 1984 (WGS 84, geodätisches Referenzsystem) in den Routinebetrieb überführt. Fortschritte gab es auch bei der Kompositierung der Radardaten, wobei nun zwischen Datenpunkten ohne Radarecho in der Messung und Datenpunkten ohne Radarecho aufgrund einer Filterung in der Radardatenqualitätssicherung unterschieden wird. Durch diese Differenzierung kann nun in sich überlappenden Bereichen von Radarstandorten auf den bodennächsten Datenpunkt zurückgegriffen werden, auch wenn dieser kein (gemessenes) Radarecho aufweist. Bisher wurden Datenpunkte mit Radarecho bevorzugt, auch wenn diese aus größeren Höhen stammen und der Niederschlag beispielsweise verdunstet. Außerdem werden bei der Kompositierung nun alle Radar- daten des Niederschlagsscans berücksichtigt, die innerhalb einer Zelle des Zielgitters liegen. Bisher wurde nur der Datenpunkt mit dem geringsten Abstand zum Mittelpunkt der Gitterzelle verwendet. Das neue Vorgehen ermöglicht eine gewisse Robustheit gegenüber Fehl- und Ausfallwerten in Radarstandortnähe sowie ein Hervorheben von Graupel und Hagel im Komposit.

Die auf Radarmessungen basierenden Verfahren zur Niederschlagsklassifikation (Hydrometeorologischer Klassifikation) bieten insbesondere für die meteorologische Sicherstellung der Luftfahrt ein enormes Steigerungspotential. Zur Niederschlagsklassifikation auf Radarstrahlhöhe werden im Verfahren Hymec dual-polarimetrische Radar- daten mit Daten

der numerischen Wettervorhersage kombiniert. Phasenübergänge unterhalb des Radarstrahls im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht haben besonders im Winter großen Einfluss auf die Niederschlagsbildung. Um eine möglichst korrekte Niederschlagsklassifikation zu erreichen, verfeinert das Anschlussverfahren HymecNG Vertikalprofile von Temperatur und Feuchte aus der NWV mit In-situ-Messungen am Boden und schätzt Phasenübergänge aufgrund empirisch bestimmter Schwellwerte ab. Ende 2023 wurden die neuen Klassen »gefrierender Regen« und »gefrierender Sprühregen« in den Routinebetrieb überführt und standen daher dem Vorhersagedienst während der außergewöhnlichen Glatteislage am 17./18. Januar 2024 zur Verfügung. Im Berichtszeitraum lagen die Verbesserung der kurzfristigen Vorhersage (0 – 2 h) der Niederschlagsart in Bodennähe und entsprechender Folgeprodukte im Blickpunkt. Zur Vermeidung von Artefakten und Deformationen wurde ein neues Advektionsschema implementiert. Ein angepasster linearer Übergang von der beobachtungsbasierten Temperatur- u. Feuchtekorrektur zur reinen NWV-basierten Profilanalyse unterhalb des Radarstrahls kann zeitliche Sprünge in der Niederschlagsklassifikation deutlich reduzieren. Nach erfolgreicher Evaluierung konnten alle weiterentwickelten Produkte Ende 2024 in die Praxis überführt werden. Diverse Produkte stehen seither auch im HDF5-Datenformat zur Verfügung. Eine schrittweise Abschaltung der bisherigen Formate ist für das Jahr 2025 vorgesehen.

3D-Radar-Volumendaten verbessern die Detektion und Analyse konvektiver Systeme (Schauer und Gewitter), die oftmals für den Luftverkehr gefährliche Wettererscheinungen wie Turbulenzen, Sturmböen, Starkregen und Hagel hervorbringen. Wesentliche Ziele der KONRAD3D-Entwicklung (KONRAD steht für KONvektive Entwicklung in RADarprodukten) sind die Verlängerung der

Vorwarnzeiten für konvektive Ereignisse, die Erhöhung der Trefferquote bei Verringerung der Fehlalarmrate in der Analyse und Vorhersage konvektiver Systeme, eine verlässlichere Intensitätsklassifikation konvektiver Zellen sowie deren zeitlicher Entwicklung. Die durch KONRAD3D ermittelten Schauer- und Gewitterzellen mit ihren diversen Attributen, Tracks und Nowcast-Informationen werden in XML-Dateien bereitgestellt. Im April 2023 wurde KONRAD3D operationell eingeführt und kann somit u.a. das Anschlussverfahren NowCastMIX, das AutoMETAR-Teilprojekt AutoKON, das integrierte Vorhersagesystem SINFONY sowie das meteorologische Visualisierungs- und Produktionssystem NinJo mit Daten versorgen. Im April 2024 wurde ein neues KONRAD3D-Release eingeführt, welches verschiedene Verbesserungen z. B. für das Böen-Warnflag beinhaltet. Im weiteren Verlauf des Jahres wurde darüber hinaus die Integration zusätzlicher Datenquellen in KONRAD3D vorbereitet. Dies betrifft die Verwendung des Hydrometeoriklassifikationsproduktes in Bodennähe (HymecNG) für die Hagelwarnung, die Verwendung klassischer DWD-Niederschlagskomposits für die Starkregenwarnung, die Verwendung von Modelldaten (ICON-EU) für die Bereitstellung von Modellumgebungsparametern, die Nutzung der DWD-Mesozyklonenerkennung für das Anbringen von Rotationsinformation an KONRAD3D-Zellen sowie die Integration eines aus Satellitendaten abgeleiteten Wolkenhöhenproduktes. Auf Basis dieser Ergänzungen wurde mit der Vorbereitung eines nächsten KONRAD3D-Releases für 2025 begonnen.

NowCastSAT-Aviation:

Satellitenbasiertes Nowcasting für Konvektion

Der Deutsche Wetterdienst entwickelt Nowcasting-Produkte, um die Entstehung konvektiver Ereignisse wie Schauer und Gewitter bereits frühzeitig zu erkennen und deren Entwicklung präzise vorhersagen zu können. Neben dem Produkt NowCastMIX-Aviation (auf der Grundlage von RADAR-Daten) bietet der DWD, basierend auf Satellitendaten, das globale Konvektionsprodukt NowCastSAT und zusätzlich auch eine europäische Version mit einer höheren Aktualisierungsrate an. NowCastSAT leistet die Erkennung und Vorhersage von konvektiven Zellen verschiedener Schwere-stufen im Kurzzeitbereich. Dafür werden zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Satellitendaten und Blitzinformationen mit numerischen Modellinformationen kombiniert. Der Erkennungsalgorithmus kategorisiert die erkannten Zellen in drei Schwerestufen. Aus verschiedenen Satellitenmessungen können Höheninformationen der Wolkenobergrenzen der einzelnen Zellen bestimmt werden. Die zeitliche Vorhersage erfolgt mithilfe der Methodik des »Optischen Flusses« (Optical Flow). Nachdem das Verfahren im DWD bereits über einen längeren Zeitraum im Routinebetrieb läuft, kommen die NCS-A-Produkte seit 2022 auch im 24/7-Betrieb in den Electronic-Flight-Bags der Langstreckenflotte der Lufthansa zum Einsatz. 2023 und 2024 wurde das Produkt bei weiteren Providern bzw. Airlines platziert, so dass nun ca. 27.000 Verkehrspiloten das Verfahren aktiv im Cockpit nutzen. Als Weiterentwicklung wurden optisch dichte und an der Obergrenze kalte Wolken in drei Höhenkategorien abgeleitet, so dass die Piloten nun mit diesem in Kategorien eingeteilten Satellitenbild beurteilen können, in welcher Höhe der Flug in Wolken oder in wolkenfreier Atmosphäre verläuft. Diese Innovation wurde seitens der Piloten positiv aufgenommen.

Konvektion, Gewitter, Lufterlektrische Erscheinungen – modellbasierte Vorhersagen und Satellitenbasiertes Nowcasting

Im Flugwetterdienst gibt es viele Anwendungsbereiche in denen ein 0- bis-2-Stunden-Vorhersagehorizont nicht ausreichend ist. Daher wurde u. a. auf Anfrage des Maastricht Upper Area Control Centre (MUAC) der Prototyp einer 0-bis-8-Stunden-Vorhersage von Gewittern entwickelt, welcher das auf Beobachtungen basierende Nowcasting mit Modellvorhersagen kombiniert. Ein geeignetes Verfahren auf Basis der Konvektion erlaubenden ICON-RUC wird im Rahmen eines Projektes in Form von bruchfreien Vorhersagen erwartet (»KOSIN-A« KONRAD3D-SINFONY for Aviation) entwickelt und in den nächsten 2-3 Jahren erwartet.

Zur Ableitung einer Gewitter-Kenngröße nur aus den numerischen Resultaten der Wettervorhersagemodelle ICON (global) und ICON-EU wird eine Ensemble-Analyse des Gewitter-Potential-Index (maximal Lightning Potential Index, LPI_max) durchgeführt und als ICONv-Produkt abgegeben. Diese Wahrscheinlichkeitsvorhersage kalibriert man derart, dass bezüglich der Stärke der Gewitter ein relativ kontinuierlicher Übergang vom beobachtungsbasierten Nowcasting zu den NWV-Daten möglich ist. Das Verfahren ICONV für das Konvektion-erlaubende System ICON-RUC hat verschiedenen Vorhersagegrößen und geeignete Wahrscheinlichkeitsschwellen als Input. Inzwischen sind die Verfahren für alle genannten Modelle operationell (das neueste ICONV_D2 seit April 2025) und stehen damit Flugsicherungsorganisationen, Fluglinien und Systemhäusern zur Implementation zur Verfügung. Die IT-Dienstleister Lufthansa Systems GmbH und Sita S.C. arbeiten an der Bereitstellung für ihre angeschlossenen Kunden. Für das Nowcasting im Zeitraum von bis zu zwei Stunden steht NowCastSAT-Aviation zur Verfügung.

Der Lightning Potential Index (LPI) ist ein Parameter im Vorhersagemodell ICON-EU, der Rückschlüsse auf Konvektion und Blitzaktivität ermöglicht (Proxy). Er basiert auf dem Updraft in der Wolke; und zwar insbesondere auf dem Vertikalwind und der Verteilung der Hydrometeore im vertikalen Bereich der Ladungstrennung. Der LPI war bisher nur für konvektionsabbildende Modelle verfügbar, da bei gröberer Auflösung der Updraft subskalig ist und seine Eigenschaften nicht darstellbar sind. Seit vielen Jahren wird der LPI in den deutschen Vorhersagemodellen COSMO-D2 bzw. ICON-D2 berechnet. Nach inhaltlichen Verbesserungen und konkreter Gestaltung der resultierenden Produkte konnten bereits im Vorjahr operationell verwendbare Ergebnisse präsentiert werden. Zusätzlich wurde ein Verfahren entwickelt, das eine Blitzwahrscheinlichkeit vorhersagt. Es basiert auf dem LPI des Vorhersagemodells ICON-EU sowie weiteren Eingangsgrößen. Die Methode verwendet ein Neuronales Netz (Künstliche Intelligenz). Die Resultate wurden im Berichtsjahr evaluiert und könnten perspektivisch in das Verfahren ICONV eingehen.

Turbulenz: Modellbasierte Vorhersage und Satellitenbasiertes Nowcasting

Atmosphärische Turbulenz gehört zu den meteorologischen Phänomenen, die wesentlichen Einfluss auf die Sicherheit, Pünktlichkeit und Effizienz des Luftverkehrs haben. Wegen steigender Kundenanforderungen einerseits und optimierter aerodynamischer Flugzeugeigenschaften andererseits fordert die ICAO (siehe Annex 3) neue Methoden zur Vorhersage der Eddy Dissipation Rate (EDR), also der reibungsbedingten Dämpfungsrate Turbulenter Kinetischer Energie (TKE) durch Umwandlung in Wärme. Die Eddy Dissipation Rate kann sowohl aus numerischen Vorhersagemodellen als auch aus Flugzeugmessungen in situ abgeleitet

werden. Seit einigen Jahren wird im Deutschen Wetterdienst ein auf dem eigenen Modellsystem ICON basierendes, numerisches Prognoseverfahren verwendet, das die Turbulenzgröße Eddy Dissipation Parameter (EDP) ermittelt, wobei dank Ensemble-Technologien für die Resultate auch Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich sind (EDP Probability). Die EDP Probability wird für drei Wahrscheinlichkeitsstufen (möglich, wahrscheinlich, sehr wahrscheinlich) für Vorhersagepolygone bereitgestellt. Die Änderungen in der NWV-Routine wurden in die Ableitung der EDP Probability übernommen und das System nachgeführt.

Die Vorhersagbarkeit von Turbulenzen wird durch energieintensive Strömungsmuster beeinflusst, die deutlich kleiner sind als die horizontale Rasterskala der aktuellen numerischen Wettervorhersagemodelle. Die Arbeiten zu einem Turbulenz-Nowcasting auf Satellitenbasis wurden im Berichtsjahr fortgesetzt und intensiviert. Der vorhandene prototypische Algorithmus, der die vollständige »Meteosat-Scheibe« (zweidimensionaler, kreisförmiger Abbildungsbereich der Erdoberfläche um den Subsatellitenpunkt) umfasst und dessen präoperationelle Version zur Evaluierung bereitsteht, wurde auf Basis von neuen Erkenntnissen und numerischen Experimenten weiter entwickelt. Als Fernziel ist geplant, alle Turbulenzdatenarten (Messwerte, EDP, EDDP und Nowcasting-Informationen) in einem Produkt zusammengefasst anbieten zu können. Allerdings gestaltet sich aus finanziellen und nutzungsrechtlichen Gründen die Beschaffung von Turbulenzmessdaten als sehr schwierig und wurde deshalb im Berichtsjahr vorläufig zu Gunsten der Fortentwicklung des Turbulenz-Nowcastings zurückgestellt.

WAWFOR

Eine fachliche und technische Weiterentwicklung von WAWFOR in Anlehnung an die geplanten Änderungen des Next Generation (NextGen) World Area Forecast System (WAFS) von 2020–2028 ist umgesetzt worden. Die vertikale Auflösung des Datensatzes wurde erhöht. Weiterhin ist eine Bereitstellung der Signifikanten Wettererscheinungen (Vereisung, Turbulenz, Gewitter) sowie weiteren für eine SWC-Darstellung benötigten meteorologischen Elemente (Jets, Tropopausenhöhe) als Objekte/Polygone geplant.

Um einen räumlich und zeitlich höher aufgelösten Datensatz anbieten zu können, wurde auf Basis des ICON-D2 die Entwicklung eines Kundendatensatzes in Anlehnung an WAWFOR in den Jahren begonnen. Dabei wird der bestehende Drohnendatensatz mit den flugmeteorologischen Anforderungen der unbemannten Luftfahrt mit den Anforderungen des Luftsports (Ersatz Java TopTask/TOPTHERM), der Allgemeinen Luftfahrt (Nachfolge Skyview) und der Verkehrsluftfahrt (z. B. Anflugverfahren an Verkehrsflughäfen) kombiniert.

ADWICE: Weiterentwicklungen in der Vereisungsvorhersage

Die Weiterentwicklung von ADWICE im Hinblick auf die Vereisung durch Eiskristalle (»Ice Crystal Icing«) wurde bereits im Vorjahr wiederaufgenommen. Im Fokus steht zunächst die Entwicklung eines Vorhersagetools zur Erkennung von Gebieten mit hoher Eiskristallkonzentration, basierend auf einem bereits bestehenden Prototyp, der entsprechend erweitert wird.

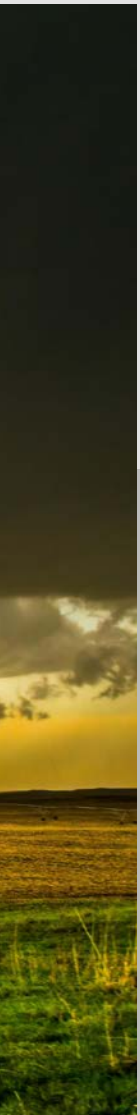


▲ Ceilometer vom Typ CHM8k
(Hersteller G. Luft Mess- und Regeltechnik GmbH,
von Dr. Eckehard Lanzinger, DWD)



Tornado nahe der Kleinstadt Wray, Colorado, USA, am 7. Mai 2016, von Jens Winninghoff, DWD

Tornados



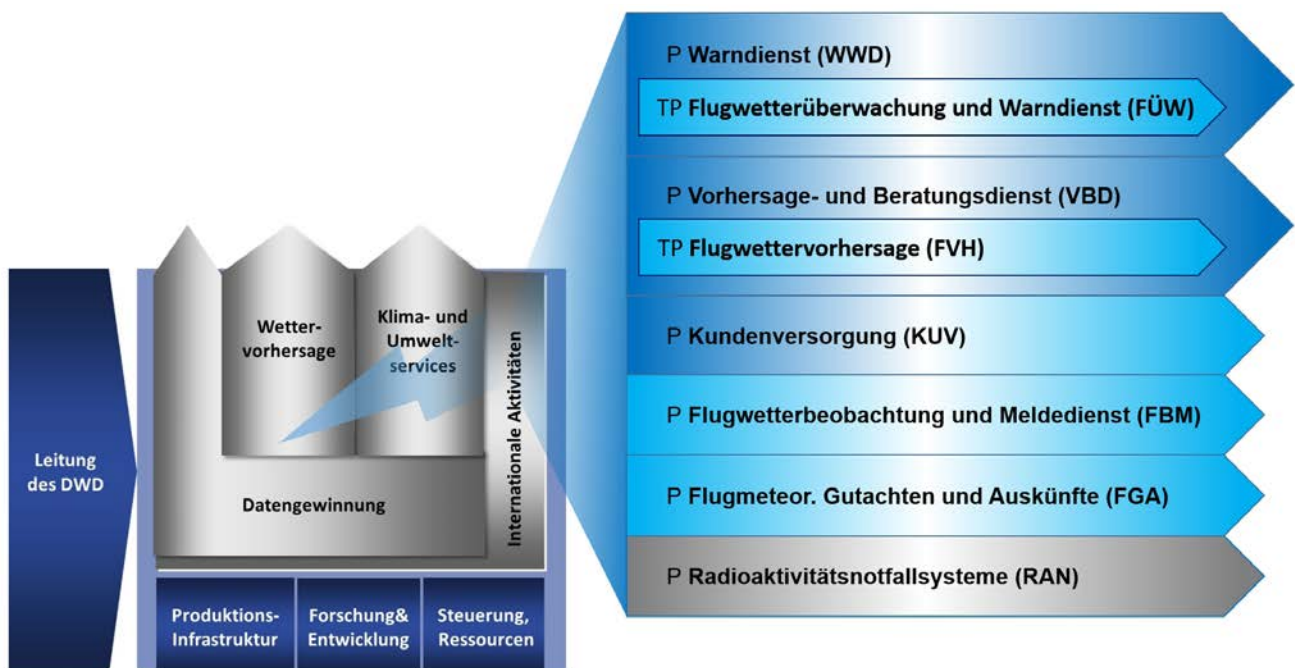
Tornados sind kleinräumige und kurzlebige Wirbel mit vertikaler Rotationsachse und einem schlauchartigen oder trichterförmigen Rüssel. Die enorme Rotationsbewegung mit bis zu $150 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ Bahngeschwindigkeit ist von einer Vertikalbewegung mit maximal $70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ überlagert und kann Druckfall um 100 hPa bewirken, sodass der Rüssel von kondensiertem Wasserdampf umhüllt ist. Druckfall und Rotationsenergie bilden das Zerstörungspotential dieser Großtromben, 780 hPa gelten als tiefster registrierter Innendruck. Der Durchmesser liegt meist bei 100 m . Tornados können rechts- oder linksherum rotieren. Die Verlagerungsgeschwindigkeit beträgt bis $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. In Mitteleuropa gelten Schauer- bzw. Gewitterlagen mit bodennah feucht-labiler Warmluftadvektion bei starker vertikaler Windscherung sowie Kaltluftadvektion in der Höhe als tornadogenetisch.

Qualitätsmanagement

Die gesamte Geschäftstätigkeit des Deutschen Wetterdienstes ist prozessorientiert, dabei wurden drei Strategische Prozesse (SP) etabliert, und zwar Datengewinnung (DG), Wettervorhersage (WS) sowie Klima- und Umweltservices (KS). Seit der Neuorganisation des DWD-Vorhersagedienstes mit dem Ziel der Nutzung von Synergien im wissenschaftlich-technischen und im kaufmännischen Bereich sowie der Personaleinsparung durch den gemeinsamen Betrieb der Bereiche Land-See-Wetterdienst und Flugwetterdienst wird der Flugwetterdienst innerhalb des Strategischen Prozesses Wettervorhersage nicht mehr durch einen thematisch abgegrenzten Management-Prozess beschrieben. Stattdessen werden die Flugwettervorhersage und -beratung als Teilprozess FVH im Prozess Vorhersage- und Beratungsdienst (VBD) dargestellt, wogegen Flugwetterüberwachung und -warndienst als Teilprozess FÜW im

Prozess Warndienst (WWD) abgebildet sind. Die Alt-Teilprozesse Kundenbetreuung und Vertrieb im Flugwetterdienst sowie Automatische Systeme und Selfbriefing gingen im Prozess Kundenversorgung (KUV) auf. Flugwetterbeobachtung und Meldedienst (FBM) sowie Flugmeteorologische Gutachten und Auskünfte (FGA) blieben inhaltlich unverändert und sind nun direkt dem Strategischen Prozess Wettervorhersage untergeordnet.

Die Definition der Prozesse, also deren Zweck, Ziele, Randbedingungen, Wechselwirkungen, Chancen und Risiken, ist in Prozessbeschreibungen hinterlegt, weitere Details finden sich in mitgelieferten Dokumenten, wie z.B. in den Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 7 (VuB 7) oder Notfallplänen. Die prozessorientierte Arbeitsweise im alltäglichen Dienstbetrieb unterliegt der Supervision von Führungskräften und Prozessverantwortlichen, letztere kümmern sich um Bestand, Pflege und Weiterentwicklung der Prozessdokumente. Die



▲ Komponenten des Flugwetterdienstes (hellblau) innerhalb des Strategischen Prozesses Wettervorhersage

Gewinnung von Beobachtungsdaten und die Bereitstellung von numerischen Vorhersageprodukten sowie die Abgabe der Flugwetterprodukte an unsere Kunden erfolgt über verschiedene Schnittstellen, die durch verbundene Prozesse definiert sind. Außerdem stellen Havarie- und Ausfallregelungen als Mitgeltende Unterlagen eine weitgehend kontinuierliche Dienstleistung bei Störfällen sicher.

Zur regelmäßigen Überprüfung der Zielerreichungsgrade und Steuerung der Prozessabläufe dienen die gemäß der ISO-Normen definierten Werkzeuge, wie etwa interne und externe Audits, kontinuierliche Verbesserungsprozesse (KVP) und die Definition von Kennzahlen, die den im QM-System definierten Zielgrößen zugeordnet werden. Für Flugwetterdienstleister deckt ein gemäß der DIN EN ISO 9001 zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem einen Großteil der Anforderungen der DVO (EU) Nr. 373/2017¹ an integrierte Managementsysteme ab. Aus dem Guidance Material und den Acceptable Means of Compliance der EASA zur DVO (EU) Nr. 373/2017 ergibt sich, dass die Sicherheitsziele eines meteorologischen Dienstleisters weitgehend mit den Qualitätszielen übereinstimmen. Für den Deutschen Wetterdienst bedeutet dies, dass die Dokumentation und Nachweiserbringung dementsprechend erweitert werden mussten. Die Zertifizierung gemäß der DIN-EN-ISO-9001-Qualitätsstandards wurde vom

DWD auch 2024 wieder erbracht. Die Messinstrumente zur Erfassung grundlegender flugmeteorologischer Planungsparameter, wie Luftdruck, Temperatur und Wind, werden regelmäßig in einem nach DIN EN ISO 17025 akkreditierten Labor kalibriert, um die Güte der erhobenen Messwerte zu sichern. Die Verantwortung für das Qualitätsmanagement trägt der Vorstand des Deutschen Wetterdienstes.

Sicherheits- bzw. Risikomanagement

Der DWD hat für alle Bereiche, die für die Sicherheit der Luftfahrt von Bedeutung sind, ein Sicherheits- bzw. Risikomanagement nach den Vorgaben der Verordnungen (EG) Nr. 550/2004² i. V. m. (EG) Nr. 1070/2009³, (EU) Nr. 2018/1139⁴ sowie der DVO (EU) Nr. 2017/373 definiert. Die fachliche Umsetzung des Sicherheits- und Risikomanagements erfolgt über Regelungen in der jeweiligen Prozessdokumentation und ist im Handbuch für das Sicherheitsmanagement dokumentiert, d. h. das Sicherheits- und Risikomanagement ist in das Qualitätsmanagement integriert. Ein IT-Sicherheitsmanagement ist gemäß den Vorgaben des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnologie im DWD eingeführt worden. Die Verantwortung für das Sicherheitsmanagement trägt der Vorstand des Deutschen Wetterdienstes.

- 1) Durchführungsverordnung (EU) 2017/373 der Kommission vom 1. März 2017 zur Festlegung gemeinsamer Anforderungen an Flugverkehrsmanagementanbieter und Anbieter von Flugsicherungsdiensten sowie sonstiger Funktionen des Flugverkehrsmanagementnetzes und die Aufsicht hierüber sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 482/2008, der Durchführungsverordnungen (EU) Nr. 1034/2011, (EU) Nr. 1035/2011 und (EU) 2016/1377 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 677/2011
- 2) Verordnung (EG) Nr. 550/2004 des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 10. März 2004 über die Erbringung von Flugsicherungsdiensten im einheitlichen europäischen Luftraum (Flugsicherungsdienste-Verordnung)
- 3) Verordnung (EG) Nr. 1070/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 549/2004, (EG) Nr. 550/2004, (EG) Nr. 551/2004 und (EG) 552/2004 im Hinblick auf die Verbesserung der Leistung und Nachhaltigkeit des europäischen Luftverkehrssystems
- 4) Verordnung (EU) 2018/1139 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2018 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit sowie zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 2111/2005, (EG) Nr. 1008/2008, (EU) Nr. 996/2010, (EU) Nr. 376/2014 und der Richtlinien 2014/30/EU und 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 552/2004 und (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates

Gefahrenabwehrmanagement

Der DWD betreibt ein Gefahrenabwehrmanagement nach den Vorgaben der DVO (EU) Nr. 2017/373. Die Verantwortung für das Gefahrenabwehrmanagement trägt der Vorstand des Deutschen Wetterdienstes. Die fachliche Umsetzung des Gefahrenabwehrmanagements erfolgt über Regelungen in den Prozessdokumentationen. Dazu gehören Regelungen der Zugangssicherung (Prozess Service und Liegenschaften, Gesundheits- und Arbeitsschutz), die Regelungen des Verbesserungs- und Beschwerdemanagements, die Regelungen zur IT-Sicherheit meteorologischer Fachanwendungen und das Sicherheitskonzept des DWD. Die Wirksamkeit der im Deutschen Wetterdienst getroffenen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr wird regelmäßig durch interne und externe Audits geprüft. Bei auftretenden Problemen der Gefahrenabwehr stehen erprobte Systeme zur Information, Aufklärung oder der Schulung von Mitarbeitern zur Verfügung.

Verifikationsverfahren für TAF

Für die Messung der Qualität von Prozessen kann man zunächst einfache, rein »technische« Kennzahlen definieren, etwa ganz allgemein die Ter-

mintreue oder die Systemverfügbarkeit im EDV-Bereich. Qualität und Kundenzufriedenheit sind dagegen bereits komplexe Größen, die auf der Abnehmerseite auch subjektive Komponenten beinhalten. Zur Qualitätssicherung in der Wettervorhersage ist es sinnvoll, die schiere statistische Prognoseverifikation (qualitativ und quantitativ) in eine aussagekräftige, vergleichbare und praktisch handhabbare Kennzahl zu transformieren.

Eines der wichtigsten Flugwetterprodukte ist der Terminal Aerodrome Forecast (TAF), eine codierte Wettervorhersage für größere Flugplätze, deren Form und Inhalt in ICAO-Richtlinien festgelegt sind. Der TAF enthält Windrichtung und -geschwindigkeit, Sichtweite am Boden, Signifikante Wettererscheinungen, Wolkenhöhe und -bedeckungsgrad sowie prognostizierte Änderungen dieser Wetterbedingungen innerhalb seines Gültigkeitszeitraumes. TAFs werden in Deutschland vom DWD planmäßig vier Mal am Tag alle sechs Stunden herausgegeben und bei deutlichen Abweichungen der Wetterentwicklung von den Prognosen amendiert. Verifikationen dieser Flughafenvorhersagen – kurz TAF-Verifikationen – sind Kernbestandteil der Qualitätsmanagementsysteme moderner Flugwetterdienste.

Kriterien für flugmeteorologische Parameter

Parameter	Sommerhalbjahr (April–September)	Winterhalbjahr (Oktober–März)
Sichtweite	800, 1.500, 3.000/3.500, 5.000 m	350, 600, 800, 1.500, 3.000/3.500, 5.000 m
Hauptwolkenuntergrenze (Ceiling)	500, 1.000, 1.500 ft	200, 500, 1.000, 1.500 ft
Signifikantes Wetter	mäßiger/starker Regen, Gewitter, Squall Lines, Tornados	mäßiger/starker Regen, mäßiger/starker Schneefall, gefrierender Nebel
Windrichtung	zulässige Richtungsabweichung ± 50 Grad bei Windgeschwindigkeit ≥ 10 Knoten	
Windgeschwindigkeit (Böen)	zulässige Geschwindigkeitsabweichung ± 10 Knoten	

TAF-KPI-Mittelwerte der 15 internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland für das Sommerhalbjahr 2024 und das Winterhalbjahr 2024/25

Parameter (Kennung)	Soll-Wert	KPI Sommer 2024 (Sommer 2023)	KPI Winter 2024/25 (Winter 2023/24)
Sichtweite (VIS)	≥ 0,30	0,36 (0,42)	0,51 (0,40)
Ceiling (CLD)	≥ 0,30	0,50 (0,57)	0,59 (0,54)
Signifikantes Wetter (WX)	≥ 0,30	0,51 (0,51)	0,51 (0,46)
Windrichtung (DD)	≥ 0,80	0,99 (0,99)	1,00 (0,99)
Windgeschwindigkeit (FFD)	≥ 0,90	0,99 (0,99)	1,00 (1,00)
Böen (FFXD)	≥ 0,90	0,92 (0,93)	0,96 (0,94)

Dabei ist ein Vergleich der Qualität von Flughafenvorhersagen unterschiedlicher Standorte nicht ganz trivial, denn die erreichbare Prognosegüte hängt von einer Reihe komplexer Einflussfaktoren ab, etwa von der Flughafen-Klimatologie, der Qualität der Modellvorhersagen, der Qualität von Anschlussverfahren sowie lokaler Vorhersagemethoden, dem Training und der Erfahrung des Vorhersagepersonals, dem Arbeitsumfeld inklusive Personalausstattung und Zeitmanagement, sowie nicht zuletzt von der Qualität der meteorologischen Beobachtungen. Daher erlauben statistische Verifikationsergebnisse keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die persönliche Leistungsfähigkeit einzelner Prognostiker, was auch nicht ihr Zweck ist, denn es sollen systematische Schwächen in den Arbeitsprozessen detektiert werden.

Um innerhalb des Deutschen Wetterdienstes die Qualität bzw. Qualitätsänderungen des Teilprozesses Flugwettervorhersage (FVH) messen zu können, werden für die internationalen Flughäfen Deutschlands im Rahmen eines MET-Alliance-Projektes (siehe auch Kapitel 1.2) halbjährlich TAF-Verifikationen durchgeführt. Die oben stehende

Tabelle zeigt die Kriterien, die für die wichtigsten flugmeteorologischen Parameter zugrunde gelegt werden.

Mittels dieser Kriterien werden aus den TAF-Prognosen parameterbezogene Kennzahlen ermittelt. Bei Sichtweite, Ceiling und Signifikantem Wetter wird für jeden Schwellenwert bzw. jedes Ereignis der Key Performance Indicator (KPI) als Mittelwert aus Pierce Skill Score (PSS) und Heidke Skill Score (HSS) berechnet und das Mittel gebildet (Wertebereich zwischen -1 und +1).

Der Wert von $\geq 0,30$ wurde als Mindestanforderung, der Wert $\geq 0,45$ als Zielgröße definiert. Diese Werte sind gleichbedeutend mit folgenden Bedingungen:

- ▶ KPI = 0,30: Eines von zwei beobachteten Ereignissen wird korrekt vorhergesagt; ein Ereignis wird innerhalb eines 6-stündigen Vorhersageintervalls mindestens einmal beobachtet.
- ▶ KPI = 0,45: Zwei von drei beobachteten Ereignissen werden korrekt vorhergesagt; ein Ereignis wird innerhalb eines 4-stündigen Vorhersageintervalls mindestens einmal beobachtet.

TAF-Verifikation für in Deutschland gelegene, internationale Flughäfen für den Zeitraum April bis September 2024 (Sommerhalbjahr). Diese Tabelle enthält den Met-Alliance-KPI der ersten 9 Stunden für alle meteorologischen Parameter.



Bei den Windvorhersagen (Windrichtung, -geschwindigkeit und -böen) wird überprüft, ob die zulässigen Abweichungen eingehalten wurden und die Trefferquote wird ermittelt. Die Sollwerte liegen hier bei 0,80 für die Windrichtung und bei 0,90 für Windgeschwindigkeit und Böen, die Zielwerte bei 0,85 bzw. 0,95.

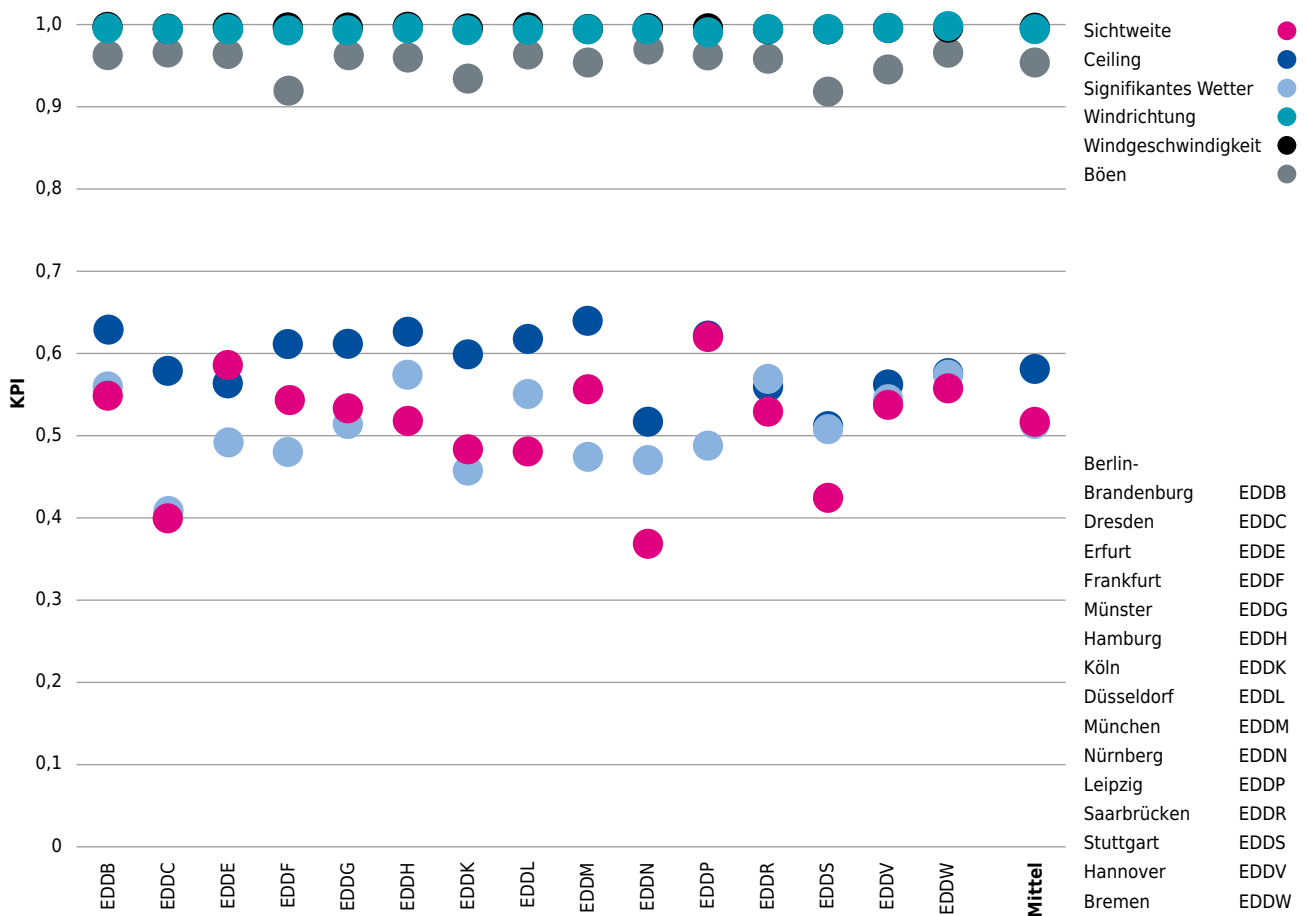
Die auf Seite 53 dargestellten KPI-Mittelwerte über alle 15 Verkehrsflughäfen mit internationalem Flugverkehr in Deutschland für das Sommerhalbjahr 2024 variieren außer demjenigen für die Sichtweite im Zielbereich. Der KPI-Mittelwert für

die Sichtweite liegt im Sollbereich, hat sich jedoch gegenüber dem Vorjahreswert verschlechtert.

Im Winterhalbjahr 2024/25 liegen die KPI-Mittelwerte für alle sechs flugmeteorologischen Parameter allesamt im Zielbereich.

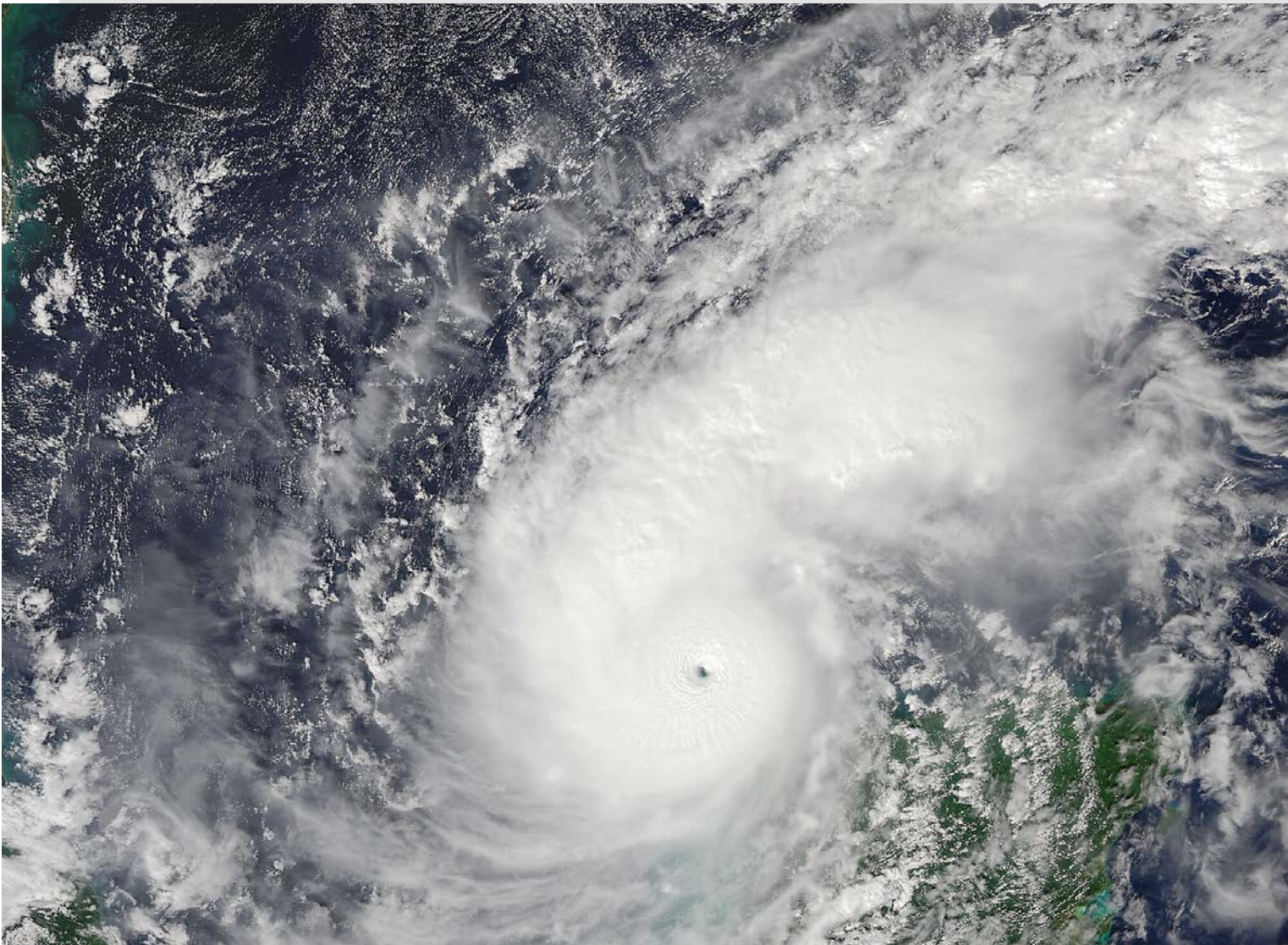
Die beiden folgenden Tabellen bieten einen Überblick über die TAF-Verifikationsergebnisse an den einzelnen in Deutschland gelegenen internationalen Verkehrsflughäfen für die Sommersaison 2024 und die Wintersaison 2024/25.

TAF-Verifikation für in Deutschland gelegene, internationale Flughäfen für den Zeitraum Oktober 2024 bis März 2025 (Winterhalbjahr). Diese Tabelle enthält den Met-Alliance-KPI der ersten 9 Stunden für alle meteorologischen Parameter.



Im Sommerhalbjahr 2024 (April bis September) wird für die einzelnen Flughäfen bei den Wind-Parametern (Richtung, Geschwindigkeit und Böen) sowie beim signifikanten Wetter und der Ceiling mindestens eine ausreichende, meist aber eine gute TAF-Vorhersagequalität erreicht. Im Falle der Sichtweite schnitten EDDB, EDDF, EDDL und EDDN ungenügend ab. Geringe Sichtweiten traten dort insgesamt selten auf und es gab meist gerade dann zu wenige Treffer, bei insgesamt zu vielen Fehllarmen und einigen verpassten Ereignissen.

Die Auswertung des Winterhalbjahres 2024/25 an den einzelnen Flugplätzen zeigt, dass für alle flugmeteorologischen Parameter im Mittel eine gute Vorhersagequalität erzielt wird. Für die einzelnen Flughäfen wird in mehr als 95 % aller Fälle eine gute, für knapp 5 % eine immer noch brauchbare Vorhersagequalität erreicht.



Hurrikan MILTON am 07.10.2024, 13:20 h MOZ (UTC-06:00), nordwestlich der Halbinsel Yucatán, kurz vor seiner größten Intensität
Von VIIRS imagery from the NOAA-21 Satellite - EOSDIS Worldview, Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=153652943>



Hurrikan MILTON

Hurrikan MILTON Anfang Oktober 2024 war einer der eindrucksvollsten Wirbelstürme überhaupt. Mit einem Kerndruck von 895 hPa und Windgeschwindigkeiten von max. 285 km/h war er der fünft- bzw. sechststärkste Hurrikan, der jemals im Atlantik beobachtet wurde und derjenige, der sich am schnellsten intensivierte. Außerdem war MILTON erst der dritte Kategorie-5-Hurrikan im Golf von Mexiko, der zwei Mal diese höchste Kategorie erreichte. Auch seine Zugbahn war ungewöhnlich, von der Bucht von Campeche nach Florida, wo er am 9. Oktober landete. Dort verursachte MILTON eine Sturmflut von 4 m Höhe und sintflutartige Regenfälle, in Saint Petersburg bspw. 479 mm innerhalb von 24 h. In seinem Umfeld bildeten sich vielerorts Tornados und auch das landeinwärts abgeschwächte Windfeld brachte noch Böen in Orkanstärke hervor.

Direct Costs und Core Costs

Die Systematik der Kostenermittlung zur meteorologischen Sicherung der Luftfahrt basiert auf einer Vollkostenrechnung für den gesamten DWD unter Berücksichtigung der nationalen und internationalen Vorgaben (SES-II-Verordnungen) und Rahmenbedingungen. Das Verfahren der Kostenaufstellung findet für die Erfassung/Ermittlung sowohl der Ist-, als auch der Plan-Kosten des Flugwetterdienstes (FWD) Anwendung. In die Met-Komponente des Gebührensatzes werden nur die Direct Costs als abrechnungsfähige Kostenbestandteile für den Instrumentenflug (IFR) angesetzt und in Rechnung gestellt.

Die Tabelle »Kennzahlenauswertungen zu Direct Costs und Core Costs« zeigt die absoluten und relativen Angaben zu den Direct und Core Costs des DWD und des IFR-Bereichs des Flugwetterdienstes. Im Jahr 2024 betrugen die Gesamtkosten für den DWD 413.334 Tsd. EUR, wovon 23,8 % den Direct Costs und 76,2 % den Core Costs zugerechnet werden konnten.

Der prozentuale Anteil der Direct Costs an den Gesamtkosten DWD für das Abrechnungsjahr 2024 zum Vorjahr 2023 blieb damit etwa auf gleichbleibendem Niveau. Der prozentuale Anteil der

IFR Direct Costs an den DWD Direct Costs ist von 15,4 % in 2023 auf 15,8 % im aktuellen Abrechnungsjahr 2024 nur leicht gestiegen. Der Anstieg der Gesamtkosten DWD, welche hauptsächlich aufgrund der in 2024 durchgeführten Operationalisierung des ersten Wettersatelliten der Serie MTG (Meteosat-12) entstanden sind, haben dabei keinen Einfluss auf die IFR Direct Costs, da diese den nicht abrechenbaren Core Costs zugerechnet werden.

Plan- und Ist-Kosten

Die Gesamtkosten des Flugwetterdienstes erhöhten sich in 2024 um ca. 24% gegenüber der Vorjahressumme, was abweichend zum sinkenden Trend der vergangenen Jahre war.

In absoluten Zahlen formuliert stiegen die Gesamtkosten von ca. 13,65 Mio. EUR im Jahr 2023 auf ca. 16,93 Mio. EUR im Jahr 2024, dementsprechend um etwa 3,28 Mio. EUR.

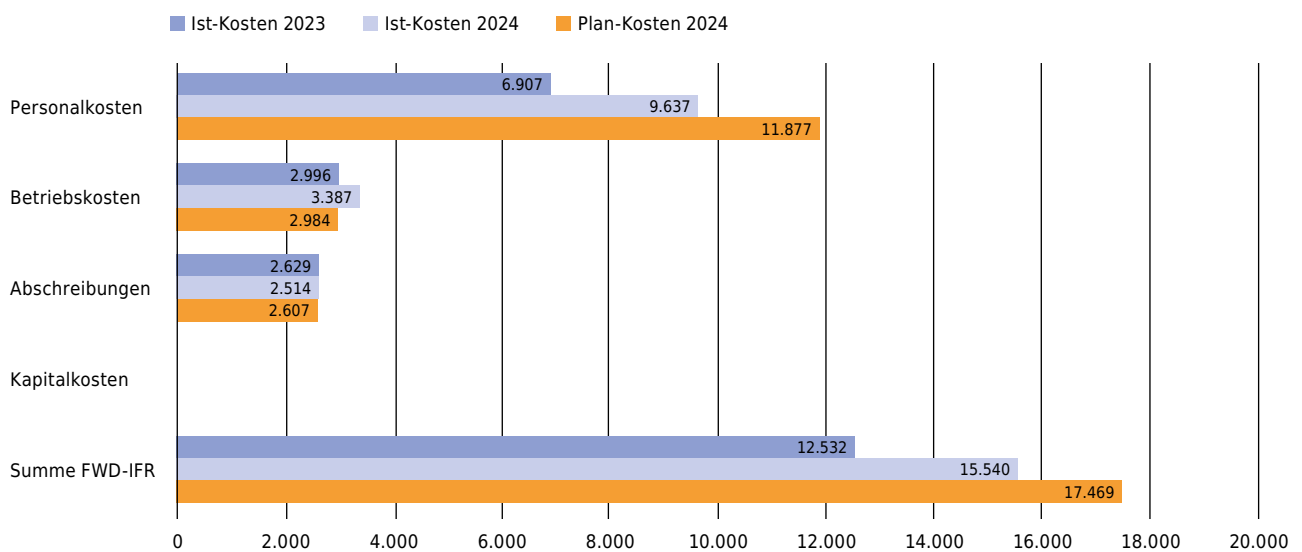
In nachstehender Zusammenstellung der Finanzergebnisse 2024 sind die Plan- und Ist-Zahlen des Flugwetterdienstes nach Kostenarten, IFR und VFR sowie nach den Anteilen des An-/Abfluges und des Streckenfluges untergliedert dargestellt.

Kennzahlenauswertungen zu Direct Costs und Core Costs

	Ist 2023		Plan 2024		Ist 2024	
	Tsd. EUR	Anteil	Tsd. EUR	Anteil	Tsd. EUR	Anteil
Direct Costs und Core Costs des Deutschen Wetterdienstes (absolut und relativ)						
Direct Costs DWD	81.463	23,3 %	97.703	19,6 %	98.438	23,8 %
Core Costs DWD	268.730	76,7 %	407.275	80,4 %	314.896	76,2 %
Summe: (Gesamtkosten DWD)	350.193	100 %	504.978	100 %	413.334	100 %
Direct Costs des Instrumentenflugs (IFR) an den o. g. Direct Costs des DWD (absolut und relativ)						
Direct Costs IFR aus den Direct Costs des DWD (s. o.)	12.532	15,4 %	17.469	20,6 %	15.540	15,8 %

FWD-Kosten »Ist« für 2023 sowie »Plan« und »Ist« für 2024 in Tsd. EUR			
Alle Kostenangaben in Tsd. EUR	2023 Ist	2024 Plan	2024 Ist
I. Summe IFR-Kosten	12.532	17.469	15.540
davon			
IFR An-/Abflug	4.387	5.260	5.502
IFR Strecke	8.145	12.209	10.038
Personalkosten IFR	6.907	11.877	9.637
davon			
An-/Abflug	2.418	3.576	3.412
Strecke	4.489	8.301	6.225
davon Kosten der Altersversorgung IFR	1.170	3.802	3.101
An-/Abflug	461	1.145	1.098
Strecke	709	2.657	2.003
Betriebskosten IFR	2.996	2.984	3.387
davon			
An-/Abflug	1.049	898	1.199
Strecke	1.947	2.086	2.188
Abschreibungen IFR	2.629	2.607	2.514
davon			
An-/Abflug	920	785	890
Strecke	1.709	1.822	1.624
Kapitalkosten IFR	0	0	0
davon			
An-/Abflug	0	0	0
Strecke	0	0	0
II. Summe VFR-Kosten	1.119	1.560	1.388
FWD-Kosten gesamt	13.651	19.029	16.928
Anteil IFR an FWD	91,80 %	91,80 %	91,80 %
Anteil VFR an FWD	8,20 %	8,20 %	8,20 %
Anteil An-/Abflug an IFR	35,01 %	34,80 %	35,41 %
Anteil Strecke an IFR	64,99 %	65,20 %	64,59 %
DWD-Kosten gesamt	350.194	430.731	413.334
Anteil FWD an DWD gesamt	3,90 %	4,41 %	4,10 %
Anteil FWD-IFR an DWD gesamt	3,58 %	4,06 %	3,76 %
Anteil FWD-VFR an DWD gesamt	0,32 %	0,35 %	0,34 %

Vergleich der IFR-Plan- und Ist-Kosten für die Jahre 2023 bis 2024 in Tsd. EUR



Der Vergleich zwischen den direkten Plan- und Ist-Kosten für das Berichtsjahr 2024 zeigt, dass insbesondere bei den Personalkosten die Planansätze höher geplant wurden. Die Differenzen sind dabei auf die geringeren geplanten Einsparungen bei den Personalkosten im Planansatz (durch die Automatisierung der Flugwetterstationen – AutoMETAR) und die dort nicht berücksichtigten Auswirkungen der in den letzten Jahren vollzogenen Zinswende bei der Bewertung der Pensionsverpflichtungen zurückzuführen.

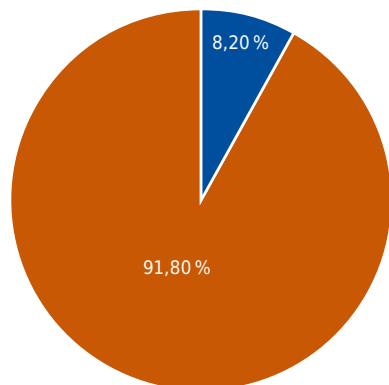
Die Ist-Personalkosten 2024 sind gegenüber den Ist-Kosten des Jahres 2023 aufgrund der im Jahr 2024 vollzogenen Tarifierhöhung und der Effekte, die sich daraus für die jährlich zu bildenden Rückstellungswerte der Pensionsverpflichtungen ergeben, gestiegen. Bei den Betriebskosten sind höhere direkte Ist-Kosten von 391 Tsd. EUR durch weiter steigende Energie- und Raumnebenkosten sowie auf erhöhte Kosten für Support und Softwarepflege zurückzuführen. Im Bereich der Abschreibungen fielen im Jahr 2024 etwas nied-

rigere Ist-Kosten an, hier hauptsächlich aufgrund des Endes der Abschreibungen von Anlagen für ASDUV-E. Verzögerungen bei der Beschaffung von AutoMETAR-Flughafensensoren führten außerdem ab dem Jahr 2021 im Bereich An-/Abflug zu höheren Ist-Kosten im Vergleich zu den Planansätzen für die Referenzperiode 3. Dies ist auch im Vergleich für das Jahr 2024 sichtbar.

Die direkten Kapitalkosten sind durch die Entscheidung des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) innerhalb der Referenzperiode 3 nicht in Ansatz zu bringen, sodass auch für 2024 weiterhin keine Kapitalkosten ausgewiesen werden.

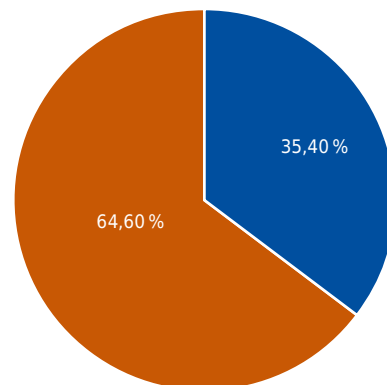
Insgesamt wird für den Bereich der meteorologischen Kosten gegenüber dem Planansatz ein um ca. 1,9 Mio. EUR niedrigeres FWD IFR Ist-Kostenresultat für das Abrechnungsjahr 2024 ausgewiesen, welches hauptsächlich durch die geringeren Personalkosten und geringe Kosten für die Altersversorgung begründet ist.

Verteilung der FWD-Kosten auf IFR und VFR



■ Anteil VFR an FWD ■ Anteil IFR an FWD

Verteilung der IFR-Kosten auf An-/Abflug und Strecke



■ IFR An-/Abflug ■ IFR Strecke

Für das Jahr 2024 wurden für den FWD direkte Ist-Kosten (Direct Costs) in Höhe von 15.540 Tsd. EUR ermittelt. Als Basis für die Ermittlung der IFR-/VFR-Anteile am Leistungsspektrum der flugmeteorologischen Sicherung der Luftfahrt durch den DWD dienen die erfassten Personalaktivitätsdaten. Diese mit dem BMV abgestimmte Kostenbemessungsgrundlage für Flugsicherungsgebühren wurde zum Zeitpunkt der Anmeldung der Determined Costs für den Performance Plan zur Referenzperiode 3 (SES-II-Verordnungen) neu berechnet. Daraus ergibt sich für die Referenzperiode 3 eine Verteilung der IFR-/VFR-Anteile zu 91,80 % vs. 8,20 %.

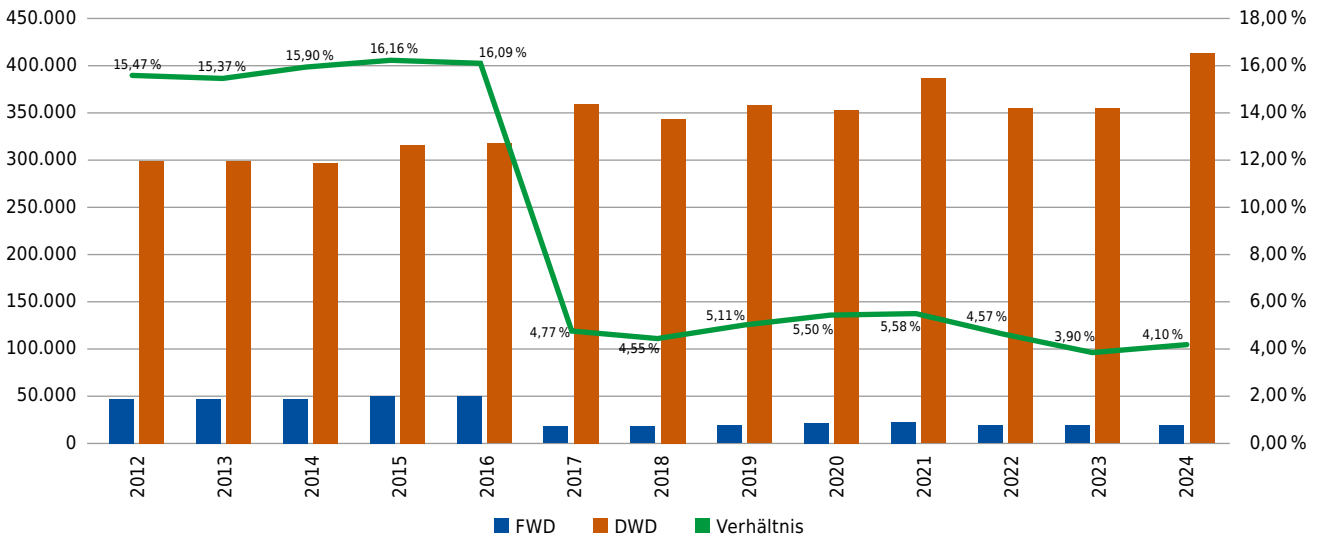
Ein Blick auf das Verhältnis von An-/Abflug zum Streckenflug zeigt, dass sich dieses in 2024 gegenüber 2023 (35,01 %) aufgrund der weiter verstärkten Inanspruchnahme der genutzten Kostenträgerleistungen im DWD in Richtung An-/Abflug entwickelte und damit eine Verteilung auf An-/Abflug mit 35,40 % und auf Strecke mit 64,60 % erfolgte.

Kostenentwicklung

Betrachtet man die Entwicklung der IFR Ist-Kosten des Flugwetterdienstes im Vergleich zu den DWD-Kosten insgesamt für den Zeitraum beginnend ab der Referenzperiode 1 im Jahr 2012, bleibt die Kostensenkung im Bereich Flugwetterdienst aufgrund der Umstellung der Abrechnungssystematik auf Direct Costs ab dem Jahr 2017 weiterhin deutlich sichtbar. Durch weitere, in der Referenzperiode 3 ab dem Jahr 2022 realisierte Kostensenkungen im Bereich der IFR-Kosten, konnte aufgrund der Automatisierung der Flugwetterstationen (AutoMETAR) der Anteil der IFR Ist-Kosten gegenüber steigenden DWD-Kosten leicht gesenkt werden. In der nachstehenden Grafik wird diese Entwicklung veranschaulicht, wobei der Kostenanteil des FWD an der Gesamtkostenbasis des DWD im Jahr 2024 ca. 4,10 % (2023: 3,90 %) bzw. 16.928 Tsd. EUR beträgt.

Auch bei der Entwicklung der IFR-Kostenarten insgesamt widerspiegelt sich diese Tendenz.

Entwicklung der Ist-Kosten für DWD und FWD seit dem Jahr 2012 in Tsd. EUR und deren Verhältnis



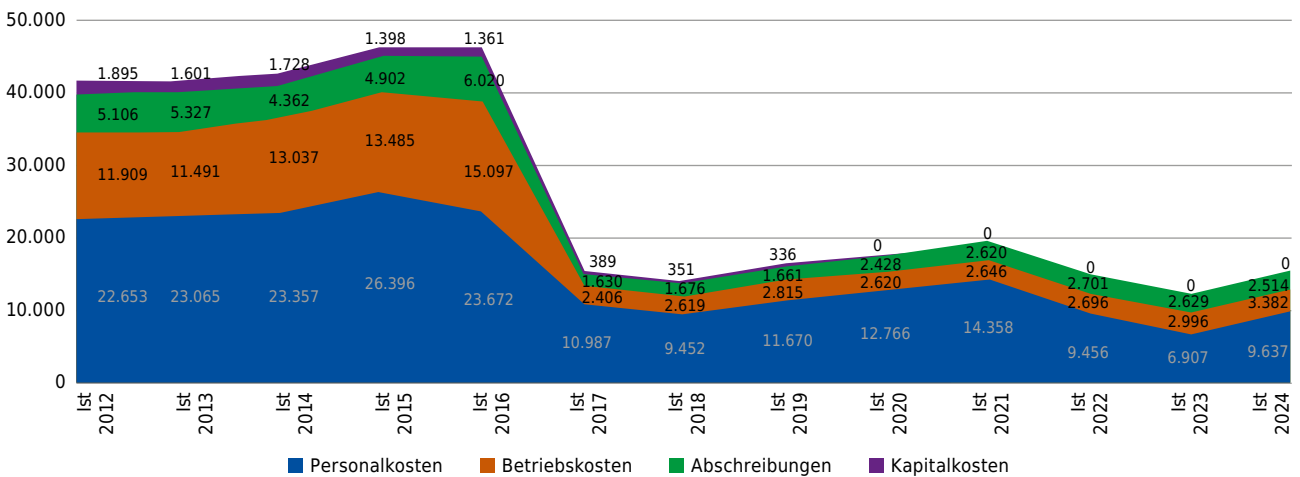
So ist der deutliche Rückgang der Kosten aller Kategorien in untenstehender Darstellungsgraphik zur Kostenentwicklung der FWD IFR-Kosten über den Zeitraum 2012-2024 in ihren Einzelpositionen ablesbar. Den größten Kostenblock bei Abrechnung nach Direct Costs bilden die Personalkosten. Die Kategorie der angefallenen Kapitalkosten wird

für die gesamte Referenzperiode 3 ab dem Abrechnungsjahr 2020 nicht mehr in der Flugwetterdienstabrechnung berücksichtigt.

Wirtschaftlichkeit

Die Entwicklung der sog. Service Unit Costs kann als Maß für die Wirtschaftlichkeit des Flugwetter-

Entwicklung der FWD-Ist-Kosten für den Bereich IFR von 2012 bis 2024 in Tsd. EUR (ab 2017 Direct Costs)

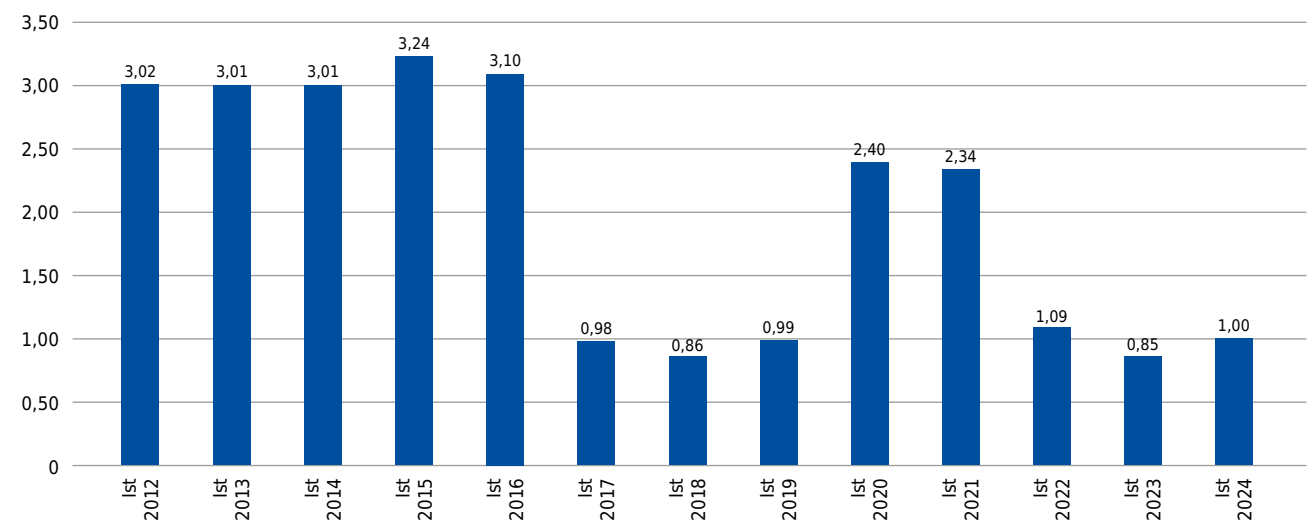


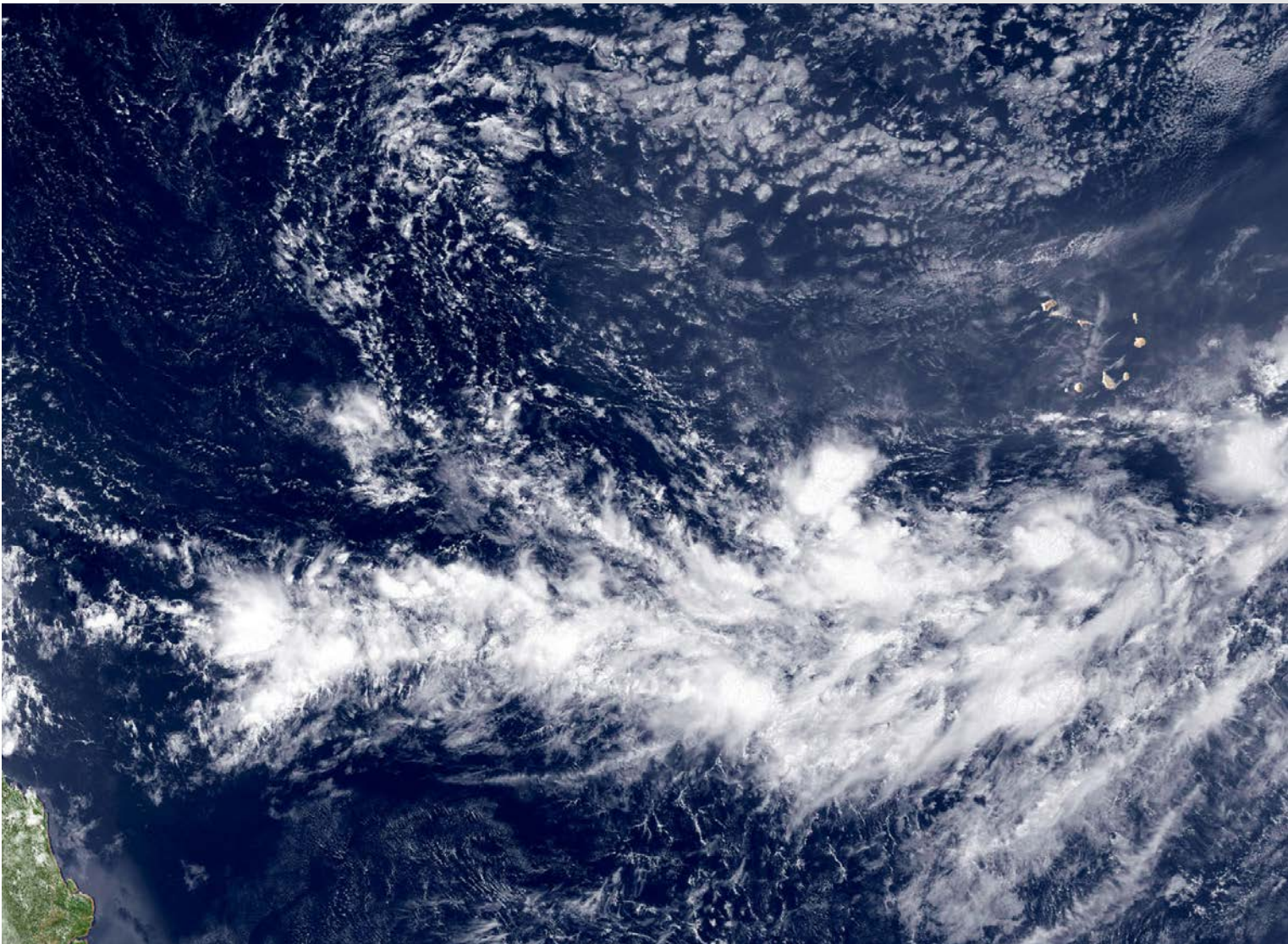
dienstes herangezogen werden. In den Jahren 2012–2016 war eine relativ gleichbleibende Entwicklung der Kosten für eine Service Unit von ca. 3 EUR für die beiden IFR-Bereiche An-/Abflug und Streckenflug zu verzeichnen. Seit dem Abrechnungsjahr 2017 sind die abrechenbaren Kosten für eine Service Unit bedingt durch die beschriebenen Maßnahmen zur Kostensenkung stark zurückgegangen. Seit 2020 sank aufgrund der COVID-19-Pandemie und der damit deutlich zurückgegangenen Anzahl der Service Units bei etwa gleichbleibendem Kostenniveau die Wirtschaftlichkeit zunächst enorm.

Ab dem Jahr 2022 konnte sich die Luftfahrt aufgrund wieder verbesserter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen deutlich erholen, was an der steigenden Anzahl von Service Units durch er-

höhte Flugbewegungen sichtbar wird. Die Kosten pro Service Unit in Höhe von 1,00 EUR weisen für das Jahr 2024, trotz leichtem Kostenanstieg der FWD IFR Direct Costs, erneut einen guten, die Wirtschaftlichkeit des DWD-Flugwetterdienstes belegenden Wert aus.

Entwicklung der Service Unit Costs in EUR / Service Unit (ab 2017 Direct Costs) - Erhöhung der Wirtschaftlichkeit





Satellitenbild des Wolkenbandes der ITCZ über dem Atlantik zwischen Südamerika und Westafrika, Von NOAA - <http://www.nvpl.noaa.gov/MediaDetail.php?MediaID=493&MediaTypeID=1>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11241604>, aufgenommen am 20.08.2010.

Innertropische Konvergenzzone (ITCZ)

Die innertropische Konvergenzzone (ITCZ) als Bestandteil der planetarischen Zirkulation existiert in den niederen Subtropen und den Tropen, wo der mittägliche Zenitstand der Sonne im Laufe eines Jahres zwischen den Wendekreisen wandert. Die intensive solare Einstrahlung sorgt für kräftige Erwärmung des Untergrundes, aufsteigende Luftbewegung und Druckfall im Bodenniveau, so dass sich in Äquatornähe eine die Erde quasi breitenkreisparallel umspannende Tiefdruckrinne bildet, die das mächtigste konvektive System in der Erdatmosphäre darstellt. Während des Aufstiegs gelangt die Luft unter abnehmenden Druck, dehnt sich adiabatisch aus und kühlt sich ab. Wird die Taupunkttemperatur unterschritten, kondensiert der in der feuchtwarmen Luft in erheblichen Mengen enthaltene Wasserdampf und es entstehen gewaltige und hochreichende Quellwolkenformationen, mit denen ergiebige und intensive Zenitalniederschläge, häufig von kräftigen Gewittern begleitet, einher gehen.



Was bringt die Zukunft?

Die Luftverkehrswirtschaft steht auch künftig vor komplexen Herausforderungen. Nachhaltigkeits- und Klimaschutzziele fordern technologische und betriebliche Anpassungen, die im Spannungsfeld zu den operationellen Anforderungen des Flugbetriebs stehen. Weltpolitische Entwicklungen und daraus resultierende Veränderungen auf den Energie- und Rohstoffmärkten beeinflussen die Kostenstrukturen des Sektors spürbar. Parallel treiben Digitalisierung und der Einsatz Künstlicher Intelligenz die Transformation meteorologischer und flugrelevanter Dienstleistungen voran, verbunden mit dem Ziel einer höheren Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Gleichzeitig steht der europäische Luftverkehrssektor – auch infolge des demografischen Wandels – zunehmend vor einem Fachkräftemangel.

Auf regulatorischer Ebene stärkt der Ausbau der europäischen Luftrauminitiative Single European Sky (SES) den Wettbewerb zwischen den zertifizierten MET Providern. Flugmeteorologische Services werden dabei künftig verstärkt in einem europäischen Marktumfeld bereitgestellt. Entscheidend sind Qualität, Interoperabilität und Wirtschaftlichkeit der Produkte sowie ihre Übereinstimmung mit den neuesten wissenschaftlich-technischen Standards. Der gezielte Einsatz digitaler Technologien und automatisierter Verfahren wird hierbei zum zentralen Erfolgsfaktor. Wie erfolgreich sich ein Anbieter international positionieren kann, hängt neben fachlicher Kompetenz auch von politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab. Deshalb bleibt die aktive Mitwirkung in den Fach- und Standardisierungsgremien von ICAO und WMO ein wesentliches Element strategischer Einflussnahme.



▲ Im Airbus A340 über der Karibik, von Thomas Ruppert, DWD

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

A6 Alliance	Konsortium europäischer Flugsicherungsdienstleister	BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
AAK2P+	ASDUV_Auto-Klasse 2P+ im Projekt AutoMETAR	BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
ABO	Aircraft Based Observations	BUFR	Binary Universal Form for the Representation of meteorological data
ADWICE	Advanced Diagnosis and Warning system for Aircraft Icing Environments	CAeM	Commission for Aeronautical Meteorology (WMO)
AERO	Luftfahrtmesse in Friedrichshafen	CAVOK	Wetterbeschreibung in der Luftfahrt - „clouds and visibility okay“
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung	CB oder Cb	Cumulonimbus
AIREP	Air Report, Bericht des Luftfahrzeugführers, enthält Flugdaten und meteorologische Informationen	CBS	Commission for Basic Systems (WMO)
AIRMET	Flugwetterwarnung vor weniger gefährlichen Wettererscheinungen für den unteren Luftraum	CBH	Cloud Base Height
Airport CDM	Airport Collaborative Decision Making	CD	Compact Disc
AMC	Acceptable Means of Compliance	COSMO	COnsortium for Small-scale MOdeling
AMDAR	Aircraft Meteorological Data Relay	COSMO-DE, -D2	auf Deutschland und die nähere Umgebung genestetes COSMO-NWV-System für den kurzfristigen Vorhersagebereich
ANS	Air Navigation Services (Flugsicherungsdienste)	COSMO-DE-EPS	auf Deutschland und die nähere Umgebung genestetes COSMO-Ensemble-Vorhersagesystem für den kurzfristigen Vorhersagebereich
ARS	Special Air Report	COSMO-EU	auf Europa und den Nord-Atlantik genestetes COSMO-NWV-System für den kurzfristigen Vorhersagebereich
ASDUV	Automatisches System zur Datenerfassung und -verbreitung an Verkehrsflughäfen (DWD)	Cross Section	dt. Vertikalschnitt; Grafische Darstellung, die entlang einer Flugroute einen vertikalen Schnitt durch die Erdatmosphäre zeigt, um verschiedene meteorologische Größen und Parameter zu visualisieren
ATC	Air Traffic Control Service (Flugverkehrskontrolldienst)	DACH	Kunstwort für Deutschland – Österreich – Schweiz
ATFM	Air Traffic Flow Management (Verkehrsflussregelung)	DACH-MWO	gemeinsames MWO für Deutschland, Österreich und die Schweiz
ATIS	Automatic Terminal Information Service	DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
ATM	Air Traffic Management (Flugverkehrsmanagement)	DIN ISO/IEC EN	Deutsche Industrie Norm e.V., Internationale Organisation für Normung der Internationalen elektrotechnischen Kommission
AUTO	Code-Zusatz automatisch erstellter Flugplatzwettermeldungen	DIN EN	Deutsche Industrie Norm e.V., Europäische Norm
autoCLD	Verfahren zur Bestimmung der Bewölkung	DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
autoKON	Verfahren zur Bestimmung der Konvektion	DMI	Dänischer Wetterdienst
AutoMETAR	DWD-Projekt zur Automatisierung der Flugplatzwettermeldungen	DVO	Durchführungsverordnung, hier in der EU-Gesetzgebung
autoOBS	Verfahren zur Erstellung konsistenter Wettermeldungen	DWD	Deutscher Wetterdienst
autoPWX	Verfahren zur Bestimmung des gegenwärtigen und des vergangenen signifikanten Wetters	DWDG	Wetterdienstgesetz
AutoTAF	Projekt zur automatisierten TAF-Generierung	EANPG	European Air Navigation Planning Group
AVAC	Aviation Advisory Committee	EASA	European Aviation Safety Agency
AVIMET	Aviation Meteorology (Arbeitsgruppe der EUMETNET)	EDP	Eddy Dissipation Parameter
ADWX_System	Aerodrome Weather System	EDPP	Eddy Dissipation Parameter Probability
AWEM	Aviation Weather Event Manager	EDR	Eddy Dissipation Rate
AWO	Automatischer (DWD-)Wolkenalgorithmus	EDV	Elektronische Datenverarbeitung
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung	EMS	European Meteorological Society
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung	EnVar	Hybrides Datenassimilationssystem auf Ensemblebasis
BIV-Brille	Bildverstärkerbrille		
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr		
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie		

EPM	Edition-Production-Monitoring (Ninjo-Layer)	ICON-EPS	Ensemble-basierte Version von ICON mit globaler Abdeckung
EPS	Ensemble Prediction System	ICON-LAM	-Local Area Model, ICON mit hoher räumlicher Auflösung
EU	Europäische Union	IFR	Instrument Flight Rules
EUMETNET	European Meteorological Services Network	ILS	Instrumentenlandesystem
EUR/NAT-Region	ICAO-Region Europa und Nordatlantik (u.a. inkl. Russland)	INT	Stabsstelle Internationale Angelegenheiten des DWD
EUR	ISO-4217-Code für die europäische Gemeinschaftswährung	ISO	einheitliche Kurzbezeichnung für die Internationale Organisation für Normung/Standardisierung
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment	IT	Informationstechnologie
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	IWXXM	ICAO Meteorological Information Exchange Model
EZMW	Europäisches Zentrum für mittelfristige Vorhersagen	JVEG	Justizvergütungs- und Entschädigungsgesetz
FAA	Federal Aviation Administration (Luftfahrtbehörde der USA)	KI	Künstliche Intelligenz
FAB	Functional Airspace Block (EC=Europe Central, IR=UK-Ireland)	KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
FE	Geschäftsbereich Forschung und Entwicklung des DWD	KONRAD	KONvektionsentwicklung in RADARprodukten
FMI	Nationaler Wetterdienst Finnlands	KONRAD3D	Weiterentwicklung von KONRAD unter Ausnutzung von dreidimensionalen Radarkomposit-Daten
FWD	1.) Flugwetterdienst, 2.) Managementprozess Flugwetterdienst im QMS des DWD	KPI	Key Performance Indicator – Leistungskennzahl
FTP	File Transfer Protocol	KU	Geschäftsbereich Klima und Umwelt des DWD
GAFOR	General Aviation Forecast	KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess, Strategie im QM
GAMET	General Aviation Meteorological Forecast, Area forecast for low level flights	L/m²	Liter pro Quadratmeter (= mm) Niederschlagsmenge
GeoInfoDBw	Geoinformationsdienst der Bundeswehr	LBA	Luftfahrtbundesamt
GG	Grundgesetz (der Bundesrepublik Deutschland)	LBZ	Luftfahrtberatungszentrale
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung	LINET	Blitzortungssystem der Firma nowcast
GML	Geographic Markup Language	LIZ	Lageinformationszentrum der DFS
GNSS	Global Navigation Satellite System	LLWAS	Low Level Wind-Shear Alert System
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure	LuftVG	Luftverkehrsgesetz
HYMEC	DWD-Algorithmus zur Klassifizierung von Hydrometeoriten, d. h. von Niederschlägen	LuftVO	Luftverkehrsordnung
IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer	MAB	Meteorological Airport Briefing
ICAO	International Civil Aviation Organization	MCC	engl. Mesoscale convective complex; dt. Mesoskaliger konvektiver Komplex
ICAO EUR/NAT	europäische Regionalgruppe der ICAO	MCS	engl. Mesoscale convective system; dt. Mesoskaliges konvektives System
ICICLE	In-Cloud ICing and Large-drop Experiment	MET	Meteorological Services im jeweiligen Zusammenhang
ICON	ICOsahedral Nonhydrostatic (aktuelle Modellfamilie des DWD)	MET-GATE	European MET Information Exchange (SESAR-Projekt)
ICON-ART	Version des ICON-Modells zur Prognose atmosphärischer Schwebstoffkonzentrationen	MET Alliance	Verbund aus neun europäischen Flugwetterdiensten
ICON-D2	auf Deutschland und die nähere Umgebung genestetes ICON-NWV-System für den kurzfristigen Vorhersagebereich	METAR	Flugplatzwettermeldung; frz. – Météorologique Aviation Régulière, engl. – Aviation Routine Weather Report
ICON-D2-EPS	auf Deutschland und die nähere Umgebung genestetes ICON-NWV-Ensemble-Vorhersagesystem für den kurzfristigen Vorhersagebereich	METG	Meteorology Group der EANPG
		Meteogramm	grafische Darstellung der zeitlichen Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter an einem Ort in Diagrammform

Meteo France	Nationaler Wetterdienst Frankreichs	SES	Single European Sky
Met Office	Nationaler Wetterdienst des Vereinigten Königreichs	SESAR	Single European Sky ATM Research (Programme)
MET Panel	Meteorologischer Fachausschuss der ICAO	SFTP	Secure File Transfer Protocol
MetReport/-Special	Meldungsart innerhalb ASDUV-E	SIGMET	Significant Meteorological Phenomena – Flugwetterwarnung vor gefährlichen Wettererscheinungen
Meteo Schweiz	Nationaler Wetterdienst der Schweiz	SINFONY	Integriertes Vorhersagesystem des DWD
MEZ	Mitteeuropäische Zeit	SPECI	Sonderwettermeldung
MHS	Microwave Humidity Sounder	SWIM	System Wide Information Management
Mode-S	Betriebsart von Transpondern	TAC	Traditional Alphanumeric Code
MOHP	Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg des DWD	TAF	Terminal Aerodrome Forecast
MOG	Meteorological Operations Group, Arbeitsgruppe innerhalb der ICAO	TI	Geschäftsbereich Technische Infrastruktur und Betrieb des DWD
MOS	Model Output Statistics	TMA	Terminal Area
MSC	Meteorological Service of Canada	TP	Teilprozess im QMS des DWD
MTG	METEOSAT Third Generation	TREND	TREND-Meldung: 2-h-Vorhersage wichtiger Änderungen des Wetters, wird weiteren codierten Vorhersageprodukten angefügt
MTSAT	japanisches satellitengestütztes Fernerkundungssystem	UAC	Upper Air Control Center
MWO	Meteorological Watch Office	UAS	Unmanned Aircraft System (Unbemannte Luftfahrtsysteme – Drohnen)
NCM-Ww	NowcastMIX-Winterwetter	UN	United Nations bzw. Vereinte Nationen
NinJo	Arbeitsplatzsystem in Client-Server-Architektur zur Visualisierung meteorologischer Daten	VAAC	Volcanic Ash Advisory Center
NVF	Night Vision Forecast	VADUGS	Volcanic Ash Detection Utilizing Geostationary Satellites
NWV	Numerische Wettervorhersage	VCTS	Code für in der Nähe befindliche Gewitter in Flugwetterprodukten
Obs oder OBS	Obeservation (Beobachtung)	VFR	Visual Flight Rules
OPMET	Operationelle meteorologische Informationen	VIL	Vertically Integrated Liquid
OPERA	Operational Program for the Exchange of Weather Radar Information	VuB	Vorschriften und Betriebsunterlagen
PANS	Procedures for Air Navigation Services	VZÄ	Vollzeitäquivalent
PC	Personal Computer	WAFS	World Area Forecast System
PB	Geschäftsbereich Personal und Betriebswirtschaft des DWD	WAWFOR	World Aviation Weather Forecast
pc_met	Selbbriefing-System für Flugwetterinformationen des DWD	WIGOS	WMO Integrated Global Observing System
PIREP	Pilot Report	WMO	World Meteorological Organization
POLARA	Polarimetrisches Radar Software Framework	WMS	(NinJo-)WebMapServices(-Layer)
PRR	Performance Review Report (EUROCONTROL)	WS	Strategischer Prozess Wettervorhersage im QMS des DWD
QNH	mittels ICAO-Standardatmosphäre auf Meeresniveau reduzierter Luftdruck	WV	Geschäftsbereich Wettervorhersage
QFF	unter Berücksichtigung der aktuellen Temperatur auf Meeresniveau reduzierter Luftdruck	WxVis4ATC	Weather Visualisation for ATC
QM(S)	Qualitätsmanagement(system)	XML	eXtensible Markup Language
RADAR	Radio Detection and Ranging		
RHWAC	Regional Hazardous Weather Advisory Center		
RUC	Rapid Update Cycle		
SADIS	Secure Aviation Data Information Service		
SAR	Search and Rescue		

Herausgeber

Deutscher Wetterdienst (DWD)

Konzeption und Redaktion

Thomas Ruppert, DWD

Gestaltung und Satz

Studio Schmidt – Grafisches Atelier
Frankfurt am Main

Druck

Druckerei BMV

Fotos

Titelblatt: Konradin Weber, FH Düsseldorf

Im Fokus: Konradin Weber, FH Düsseldorf,
andere Fotos siehe Bildunterschriften

Seite 3: Bundesfoto Lammel

Seite 4 (v. l. n. r. und v. o. n. u.):
Konradin Weber, FH Düsseldorf,
andere Fotos siehe Vorsatzseiten der Kapitel 1-7

Seite 17: Sabine Bork, DWD

Seite 19: Karsten Friedrich, DWD

Seite 35: Martin Wieczorrek, DWD

Seite 36: Matthias Wandel, DWD

Seite 41: Karsten Schubotz, DWD

Seite 47: Dr. Eckehard Lanzinger, DWD

Seite 66: Thomas Ruppert, DWD

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach am Main

ISSN der Druck-Ausgabe: 1865-4487
ISSN der Online-Ausgabe: 2194-8291
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes
Offenbach am Main 2024

Tel.: +49 (0) 69 / 80 62 - 0
E-Mail: luftfahrt@dwd.de
<http://www.dwd.de/luftfahrt>