



Jahresbericht 2021

Flugwetterdienst





▲ Landung einer Embraer 195 in München (EDDM) bei Nebel

Nebel

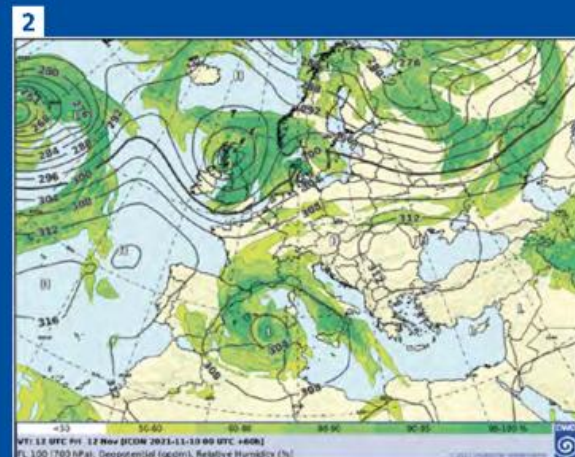
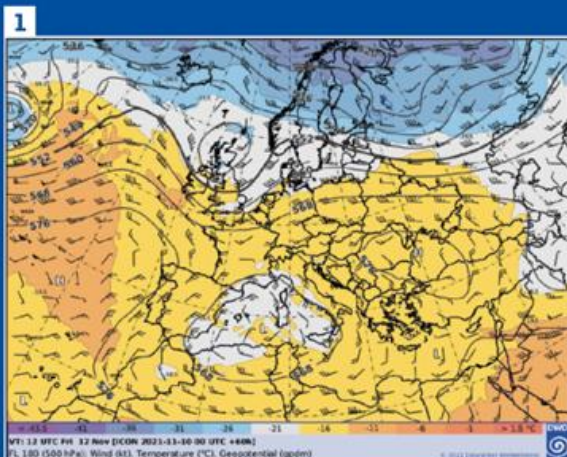
Bei Abkühlung kondensiert der in der Luft enthaltene Wasserdampf am Taupunkt und es entsteht Nebel. Dessen Tropfengröße hängt von der Menge des vorhandenen Wasserdampfes sowie der Anzahl der Kondensationskerne ab. Man findet ein ganzes Tropfenspektrum, leichter Nebel weist Radien von 1 bis 5 μm auf, dichter Nebel von 10 bis 20 μm . Die größten Nebeltropfen in nässendem Nebel können mit 50 μm die Dimension von Tautropfen erreichen. Wegen der »Größe« der Nebeltropfen relativ zur Wellenlänge des sichtbaren Lichtes ist die Streuung des wellenlängenunabhängig – Nebel erscheint also weiß.

Erst Nebel, dann Sturm

Die folgenden fünf Abbildungen zeigen beispielgebend Wetterkarten des nordatlantisch-europäischen Raumes, und zwar numerische Prognosen wichtiger meteorologischer Größen und Erscheinungen mittels des ICON-Vorhersagemodells des DWD. Startzeitpunkt der Berechnungen (60 Stunden im Voraus) ist Mittwoch, der 10. November 2021, 00:00 h UTC; Vorhersagetermin ist Freitag, der 12. November 2021, 12:00 UTC. (H und L bzw. T kennzeichnen die Zentren der Hoch- und Tiefdruckgebiete.)

Zum Vorhersagetermin erstreckt sich in der mittleren Troposphäre noch ein Geopotential-Sattel über große Teile West- und Mitteleuropas. Im korrespondierenden Bodendruckfeld liegt Deutschland am Rande einer sich abschwächenden Hochdruckzone und von den Britischen Inseln nähert sich ein kräftiges Sturmtief.

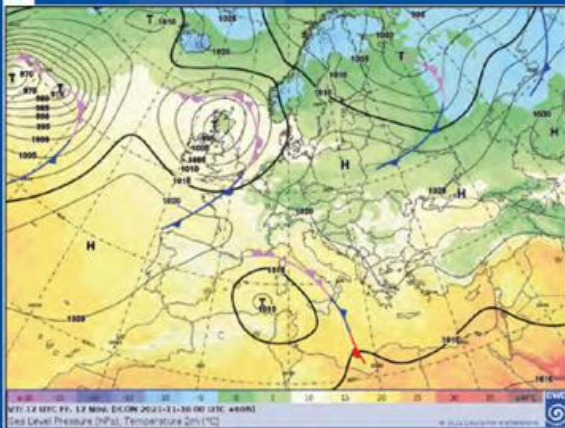
(Damit wird am Wochenende die zu Dunst, Nebel und Hochnebel neigende, von schlechten Sichten und tiefen Wolkenuntergrenzen begleitete, ruhige Spätherbstlage durch unbeständiges, stürmisches und niederschlagsträchtiges Wetter abgelöst – ein für die Westwinddrift der mittleren Breiten typischer Wetterumschwung.)



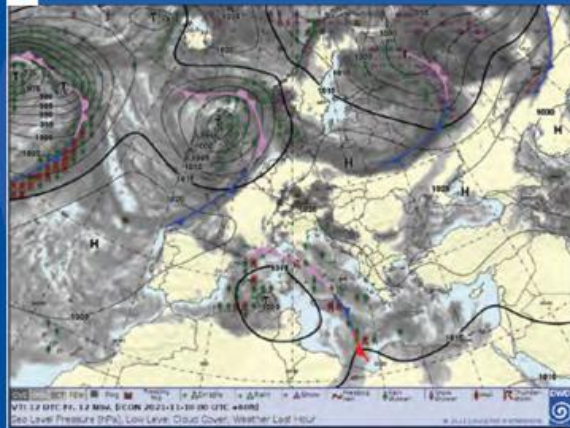
- 1 Wind [kt], Temperatur [°C] und Geopotential [gpm] auf Flight Level 180 (500-hPa-Hauptdruckfläche)
- 2 Geopotential [gpm] und relative Feuchte [%] auf Flight Level 100 (700-hPa-Hauptdruckfläche)
- 3 Druckfeld [hPa] auf Meeresniveau, 2-m-Temperatur [°C] und analysierte Fronten
- 4 Druckfeld [hPa] auf Meeresniveau, mittelhohe Bewölkung und stündliche Niederschlagsmenge [L/m²] zum Termin
- 5 Druckfeld [hPa] auf Meeresniveau, tiefe Bewölkung und signifikantes Wetter zum Termin
- 6 Punktterminprognose für EDDF, Darstellung wichtiger flugmeteorologischer Parameter über einen Zeitraum von drei Tagen

Schließlich folgt noch eine Punktterminprognose des ICON-EU-Vorhersagemodells in Form eines Meteogramms für den Flughafen Frankfurt am Main (EDDF), gültig von Mittwoch, den 10. November 2021, 00:00 h UTC bis Samstag, den 13. November 2021, 00:00 h UTC. In diesen Tagen herrscht eine ruhige, typisch spätherbstliche Wetterlage, damit einhergehende, fluggefährdende Erscheinungen wie Nebel und tiefe Wolkenuntergrenzen werden vom Modell simuliert und im Meteogramm dargestellt.

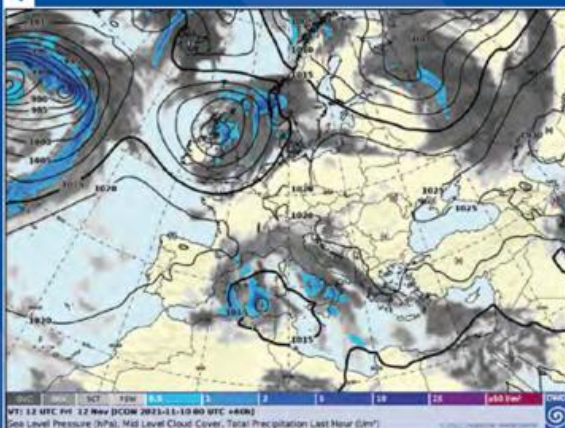
3



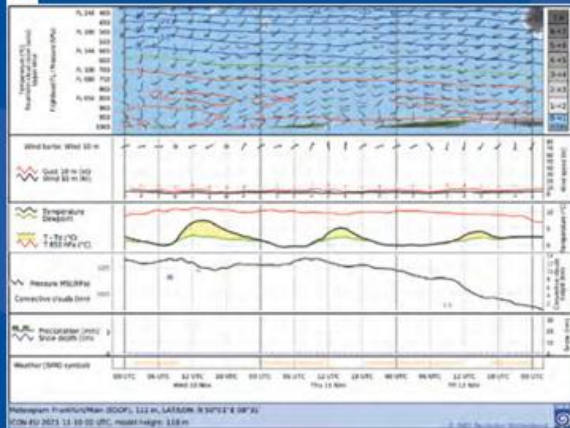
5



4



6



Der Flugwetterdienst auf einen Blick

Kennzahlen für den Flugwetterdienst		2021¹
Leistungsdaten IFR		
TAFs für deutsche Flughäfen		67.970
TREND-Vorhersagen		264.424
SIGMETs, Flughafenwarnungen, Windscherungswarnungen		11.096
Leistungsdaten VFR		
Low-Level-Flugwettervorhersage (GAFOR)		10.478
Flugwetterübersichten / 3-Tage-Prognosen		14.281
Mündliche Flugwetterberatungen		22.581
Leistungsdaten Spezialdienste		
Spezialvorhersagen für Such- und Rettungsoperationen		24.674
Spezialvorhersagen für die Flugsicherung (Höhenwindprognose)		5.840
Spezialvorhersagen für Flughäfen und Air Traffic Management (Flughafenvorhersagen, Winterdienst, ATM-Beratungen)		147.594
Kostendaten		2020 2021
Gesamtkosten FWD (Tsd. EUR)	19.405	21.377
Gesamtkosten IFR (Tsd. EUR)	17.814	19.624
An-, Abflug (Tsd. EUR)	5.321	5.709
Strecke (Tsd. EUR)	12.493	13.915
Gesamtkosten VFR (Tsd. EUR)	1.591	1.753
Anteil Direct Costs an DWD Direct Costs (%)	20,2	21,0
Qualitätskennzahlen (%)		2020 2021
Korrektheit TAFs in der Flugwettervorhersage	99,92	99,90
Selfbriefing-Systeme »Bearbeitungsdauer Supportanfragen < 2 Tage«	99,20	100
Kundenzufriedenheit individuelle Flugwetterberatung	98,40	98,55
Kennzahlen für Produktivität/Wirtschaftlichkeit für FWD/IFR		2020 2021
Service Units (Tsd.) ²⁾	7.422	8.383
Mitarbeiterproduktivität (Stunden IFR/Service Unit)	0,02	0,02
Wirtschaftlichkeit (Service Unit Costs) (Vollkosten IFR/Service Unit)	2,4	2,3
Vollzeitäquivalent		
des Flugwetterdienstes (abrechenbarer Anteil nach Direct Costs)	95	95
Kennzahlen zu Umsatz und Jahresabschluss DWD gesamt		2020 2021
Umsatz (Tsd. EUR)	19.735	20.116
Bilanzsumme (Tsd. EUR)	958.458	1.063.260
Cash-Flow (Finanzmittelsaldo, in Tsd. EUR)	-374.231	-385.561
Investitionen (Tsd. EUR)	93.495	136.916
Abschreibungen auf Anlagevermögen (Tsd. EUR)	30.267	37.701
Kostendaten		2020 2021
Gesamtkosten DWD (Tsd. EUR)	352.880	383.219
Anteil Core Costs (%)	75	75
Anteil Direct Costs (%)	25	25

1) wetterabhängige Leistungsdaten, daher kein Vorjahresvergleich sinnvoll

2) nach Angaben der Deutschen Flugsicherung

Jahresbericht 2021
Flugwetterdienst



Vorwort

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) ist eine Bundesoberbehörde mit Sitz in Offenbach am Main, der als teilrechtsfähigen Anstalt des öffentlichen Rechts im Geschäftsbereich des Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) die Funktion des nationalen Dienstleisters der Bundesrepublik Deutschland für Wetter und Klima obliegt. Laut Wetterdienstgesetz (DWDG) gehört zu den Aufgaben des DWD u. a. die meteorologische Sicherstellung der zivilen Luftfahrt, wobei weitere Gesetze (z. B. LuftVG) zu beachten und internationale Standards (ICAO, WMO) einzuhalten sind. Zur Erfüllung der vom Gesetzgeber gestellten Aufgaben hat der DWD innerhalb seiner Strukturen einen leistungsfähigen Flugwetterdienst etabliert, der seinen Kunden ein umfangreiches Produktportfolio anbietet.

Auch 2021 litt die Luftfahrt unter der Covid-Pandemie, wenn auch nicht in dem Maße wie im Vorjahr. Derzeit scheint sich der Weltluftverkehr wieder dem Vorkrisenniveau anzunähern. Davon einmal abgesehen – »Wetter gibt's ja immer« und so wurde und wird bei uns stetig an der Verbesserung unserer wissenschaftlich-technischen Basis sowie unseres Kundenportfolios gearbeitet.

Im Bereich der Informationsgewinnung modernisiert und automatisiert der DWD sein In-Situ-Mess- und Beobachtungsnetz an den Flugplätzen, entwickelt und raffiniert innovative Verfahren zur Nutzung neuester radar- und satellitenbasierter Fernerkundungsmethoden und forciert die Prozessierung und Verteilung georeferenzierter Daten und Produkte. Im Bereich der Wettervorhersage korrespondieren technische Fortschritte in der Hard- und Software mit erhöhter Performanz numerischer Vorhersagemodelle sowie meteorologischer Anschlussverfahren, Auswertelgorithmen und visueller Darstellungsmöglichkeiten. Einen



▲ Prof. Gerhard Adrian, Präsident des DWD

Schwerpunkt im DWD bilden weiterhin die Arbeiten im Projekt SINFONY, welches die methodische Lücke zwischen dem Nowcasting und der Kurzfristvorhersage schließen soll.

Um den hohen flugmeteorologischen Anforderungen mit einer kontinuierlichen bzw. verbesserten Produktqualität begegnen zu können und die erhöhten 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 Berichtszeitraum erneut zertifiziert.

Weiterhin engagiert sich der DWD innerhalb der europäischen Luftrauminitiative Single European Sky (SES) sowie bei der Harmonisierung flugmeteorologischer Produkte innerhalb des EU-Forschungsvorhabens SESAR.

Nur in der Kombination von wissenschaftlich-technischem Fortschritt mit unbedingtem Qualitätsanspruch wird es möglich sein, unter Beachtung höchster Sicherheits- und Umweltschutzstandards, die Leistung, Pünktlichkeit und Wirtschaftlichkeit des internationalen Luftverkehrssystems zu erhalten. Wie sich der Deutsche Wetterdienst dieser Herausforderung stellt, erfahren Sie bei der Lektüre dieser Publikation.

Mit freundlichen Grüßen, Ihr

A handwritten signature in blue ink that reads "Gerhard Adrian".

Gerhard Adrian



Mesoskalige meteorologische Phänomene

Meteorologische Phänomene können in unterschiedlichen Größenordnungen (»Skalen«) auftreten. Diese reichen von wenige Zentimeter messenden, turbulenten Wirbeln mit Lebensdauern von wenigen Sekunden bis hin zu den großräumigen atmosphärischen Wellensystemen von einigen 1.000 km räumlicher Erstreckung und Andauern von einigen Wochen (z. B. Monsune). Während etwa die Großwetterlagen Mitteleuropas durch das Kommen und Gehen von Hoch- und Tiefdruckgebieten mit »synoptischen« Skalen von circa 2000 km und einigen Tagen bestimmt werden, spielen die kleineren und kurzlebigeren, »mesoskaligen« meteorologischen Erscheinungen, also etwa Gewitter, Turbulenzen, Wolken und Nebel sowie Niederschlagsgebiete gerade in der Flugwetterberatung eine wichtige Rolle.



Inhalt

1	Rahmenbedingungen	8
2	DWD-Flugwetterdienst	14
3	Kundendienstleistungen	22
4	Innovation und Entwicklung	36
5	Managementsysteme für Qualität und Sicherheit	48
6	Finanzergebnisse	56
7	Was bringt die Zukunft?	64
	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	66
	Impressum	69



© Udo Riedel, ILS-Anflug auf den Flughafen Memmingen (EDJA) bei starkem Dunst

Dunst

Dunst wird durch Aerosole hervorgerufen, das sind in der Luft schwebende, mikroskopisch kleine Teilchen, etwa Staub-/Rauchpartikel, Salzkristalle oder Wassertropfchen, die das Licht streuen und eine Sichtverschlechterung verursachen. In Abgrenzung zum dichteren Nebel mit wasserdampfgesättigter Luft redet man bei Lufttrübungen mit Sichtweiten von einem bis wenigen Kilometern und Wasserdampfuntersättigung von Dunst. Im Allgemeinen entsteht Dunst durch Kondensation des in der ungesättigten Luft enthaltenen Wasserdampfes bei ausreichender Luftfeuchtigkeit und genügend hygroskopischen Aerosolpartikeln, die als Kondensationskerne der Tröpfchenbildung dienen.

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«) sowie Teile der Anhänge 11 (»Air Traffic Services«) und 14 (»Aerodromes«) 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. Damit sind die SES-Basisverordnungen für sämtliche Flugsicherungsdienstleister in Europa verbindlich und werden laufend überarbeitet bzw. ergänzt. Der Deutsche Wetterdienst ist laut Verordnung (EG) Nr. 550/2004² als Flugwetterdienst für Deutschland zertifiziert und benannt.

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 Rates vom 10. März 2004 über die Erbringung von Flugsicherungsdiensten im einheitlichen europäischen Luftraum (»Flugsicherungsdienste-Verordnung«) i. V. m. 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

Die Sicherheitsaufsicht über die Vorgaben und Anforderungen an die Erbringung von Flugsicherungsdiensten obliegt auf nationaler Ebene dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (**BAF**) in Langen³. In dieser Funktion überwacht das BAF auch die Dienstleistungen und Finanzen des DWD im Bereich des Flugwetterdienstes⁴. Die European Union Aviation Safety Agency (**EASA**) erstellt und überwacht die auf europäischer Ebene einheitlichen, hohen Sicherheits- und Umweltstandards. Die EASA ist berechtigt, verschiedene exekutive Aufgaben, z. B. im Bereich der Flugsicherheit, zu übernehmen⁵.

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 Betriebs- handbuch für den Flugwetterdienst (VuB Nr. 7) in Verbindung mit dem Wetterschlüsselhandbuch (VuB Nr. 2) und dem Beobachterhandbuch (VuB Nr. 3) sowie das Handbuch zur Richtlinie Flugwetterdienste. Die Dokumentation folgt dabei den Vorgaben des zertifizierten Qualitätsmanagementsystems des DWD.

3) Verordnung (EG) Nr. 549/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 10. März 2004 zur Festlegung des Rahmens für die Schaffung eines einheitlichen europäischen Luftraums, geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1070/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009

4) Durchführungsverordnung (EU) Nr. 1034/2011 der Kommission vom 17. Oktober 2011 über die Sicherheitsaufsicht im Bereich des Flugverkehrsmanagements und der Flugsicherungsdienste und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 691/2010 BAF Sicherheitsaufsicht auf Grundlage 1034

5) 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 (Text von Bedeutung für den EWR.)

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 Entwicklerteams des Flugwetterdienstes sind DWD-intern aktiv in die Fortentwicklungen des meteorologischen Arbeitsplatz- und Visualisierungssystems NiJo eingebunden, einem Gemeinschaftsprojekt von Deutschem Wetterdienst (**DWD**), Geoinformationsdienst 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. Nur so können wir an der Gestaltung zukünftiger Standards und Verfahren für Flugwetterdienstleistungen nachhaltig und prägend Einfluss nehmen. 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), SES-Projekten (**SESAR**), 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.

Bei der WMO ist die Bundesrepublik Deutschland in der Commission for Weather, Climate, Water and Related Environmental Services & Applications (Services Commission) und in der Commission for Observation, Infrastructures and Information Systems (Infrastructure Commission) sowie deren angeschlossenen Arbeitsgruppen vertreten. 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 Vulkanausbrüche vorzubereiten. Das Volcanic Ash Advisory Center (VAAC) London initiiert und koordiniert 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 VOLCEX21 teilgenommen, dabei wurde eine luftfahrtgefährdende Eruption des im April 2010 tatsächlich ausgebrochenen, isländischen Vulkans Eyjafjöll (1651 m MSL) trainiert.

Im Rahmen des Zusammenschlusses von 31 europäischen Wetterdiensten (EUMETNET) ist der DWD in der **AVIMET**-Arbeitsgruppe von EUMETNET sowie im EUMETNET-Leitungsgremium, der **AVAC** vertreten. Weiterhin arbeitet der DWD über EUMETNET aktiv in SES-Projekten mit. Hier gilt es, den DWD adäquat im Wettbewerb zur Gestal-

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

Gremium/Projekt	DWD-Beteiligung
ICAO	Abgesandter (Member) im MET Panel Experten (Advisors) in den MET-Panel-Arbeitsgruppen MIE, MISD, MRI, MOG, MCRGG Chair EANPG METG (EUR/NAT-Region) Experts EANPG, METATM und METG (EUR/NAT-Region)
WMO	Abgesandte CAeM und CBS Task Teams/Expert Teams (ET/TT): TT-XML (Formats); TT-AvCI (Aviation Coding Issues), ET-ASC (Aviation, Science and Climate)
EUMETNET SES EASA	AVAC, AVIMET SESAR Projekte Advisory Group ATM/ANS.TEC
DACH-Kooperation	Steuerungsgruppe, DACH Operations Group, DACH-MWO
MET Alliance	Steering Committee und Board Projekte: TAF- und Trend-Verifikation, AutoMETAR, MOS/TAF-Guidance, KPI, Common Regulations

tung des europäischen Luftraums mit standardisierten MET-Produkten zu positionieren, wozu 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. Ziel ist hier insbesondere, den operationellen Flugwetterdienstbetrieb aller drei Länder zu harmonisieren und zu optimieren. Diese Zusammenarbeit wurde im Rahmen des Projektes **DACH-MWO** im Berichtsjahr fortgeführt.

Neben der DACH-Kooperation haben sich die Flugwetterdienste von neun europäischen Ländern (Belgien, Deutschland, Frankreich, Irland, Kroatien, Luxemburg, Niederlande, Österreich und Schweiz) zur MET Alliance zusammengefunden, um die weitere grenzüberschreitende Zusammenarbeit zu fördern und die Qualität flugmeteorologischer Dienstleistungen zu verbessern. Auch diese Kooperation wurde im Berichtsjahr fortgeführt.



© Martin Wieczorrek, winterlicher Stratokumulus von oben,
Blickrichtung etwa Südwest

Stratokumulus

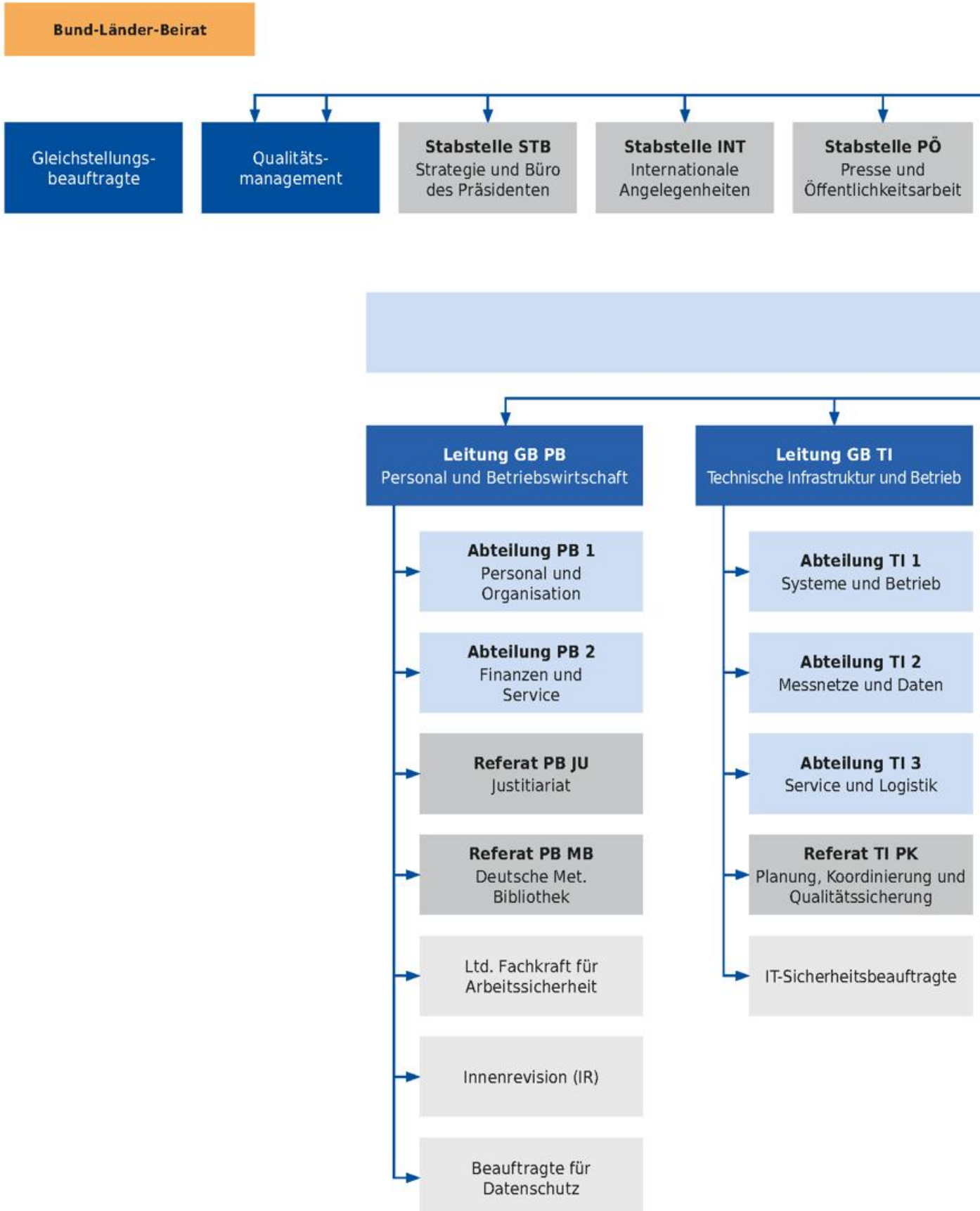
Nach der offiziellen Klassifizierung ist Stratokumulus mit einer Wolkenuntergrenze ≤ 2000 m die »tiefe Haufenschichtwolke«. Er besteht aus zusammengewachsenen Ballen oder Schollen, die an den Rändern dünner sind, was beim Betrachten oftmals eine mosaikartige Textur ergibt. Plausible mikrophysikalische Parameter sind ein Wasserdampfgehalt von bis zu $20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, eine Teilchendichte von wenigen hundert pro m^3 mit einem Partikeldurchmesser von etwa $10 \mu\text{m}$. In Stratokumuli sinkt die Sichtweite quasi gegen Null, was bei zusammenhängender Wolkendecke bedeutet, dass VFR-Flüge nur unterhalb der Ceiling möglich sind. Beim Durchfliegen besteht im Falle negativer Temperaturen Vereisungsgefahr.



2 DWD-Flugwetterdienst

2.1 Organisation DWD gesamt und Flugwetterdienst

14



Präsident
Vorsitzender des
Vorstandes

Gruppe Meteorologie
der Bundeswehr
beim DWD

Leitung GB FE
Forschung und Entwicklung

Leitung GB WV
Wettervorhersage

Leitung GB KU
Klima und Umwelt

Abteilung FE 1
Met. Analyse und
Modellierung

Abteilung FE 2
Zentrale Met.
Fachverfahren

Referat FE PK
Planung und
Koordiniierung

Referat FE HP
Met. Observatorium
Hohenpeißenberg

Referat FE LG
Met. Observatorium
Lindenberg

Abteilung WV 1
Beratungs- und
Warndienste

Abteilung WV 2
Kundenservices und
Entwicklung

Referat WV PK
Planung und
Koordiniierung

Abteilung KU 1
Klima- und
Umweltberatung

Abteilung KU 2
Klimaüberwachung

Abteilung KU 3
Agrarmeteorologie

Abteilung KU 4
Hydrometeorologie

Referat KU PK
Planung und
Koordiniierung

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) ist im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als nationaler Wetterdienst verantwortlich für die meteorologische Sicherung 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 des Single European Sky (SES) als Flugsicherungsdienste erbracht, und entsprechend 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) und der WMO (World Meteorological Organization).

Die Vorhersage-, Warn- und Beratungsdienste für die Luftfahrt werden innerhalb des Geschäftsbereiches Wettervorhersage (WV) erbracht. Dazu gehören in der Abteilung Beratungs- und Warndienste die Flugwetterzentrale Frankfurt und vier weitere Luftfahrtberatungszentralen in Hamburg, Essen, Berlin und München, sowie die Fachleitung in Offenbach. In der Abteilung Kundenservice und Entwicklung sind vor allem der Kundenservice Luftfahrt und die Entwicklungsreferate für den Betrieb und Entwicklung der flugmeteorologischen Kundenportale tätig.

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 des Rechenzentrums vor allem die Messtechnik, Kommunikationssysteme und der Betrieb der Flugwetterwarten an 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, Thermik) und die Softwareentwicklung für meteorologische Arbeitsplatzsysteme durchgeführt sowie Fernerkundungsverfahren mittels Satelliten und Wetterradaren fachlich betreut.

Im Geschäftsbereich Klima und Umwelt (KU) werden flugklimatologische Daten ausgewertet und Statistiken erstellt sowie Fragestellungen zum Themenkreis Klima und Klimawandel in Zusammenhang mit dem Luftverkehr bearbeitet.

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 des Präsidenten 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 Geoinformationsdienstes der Bundeswehr beim Deutschen Wetterdienst (MetBw).

2 DWD-Flugwetterdienst

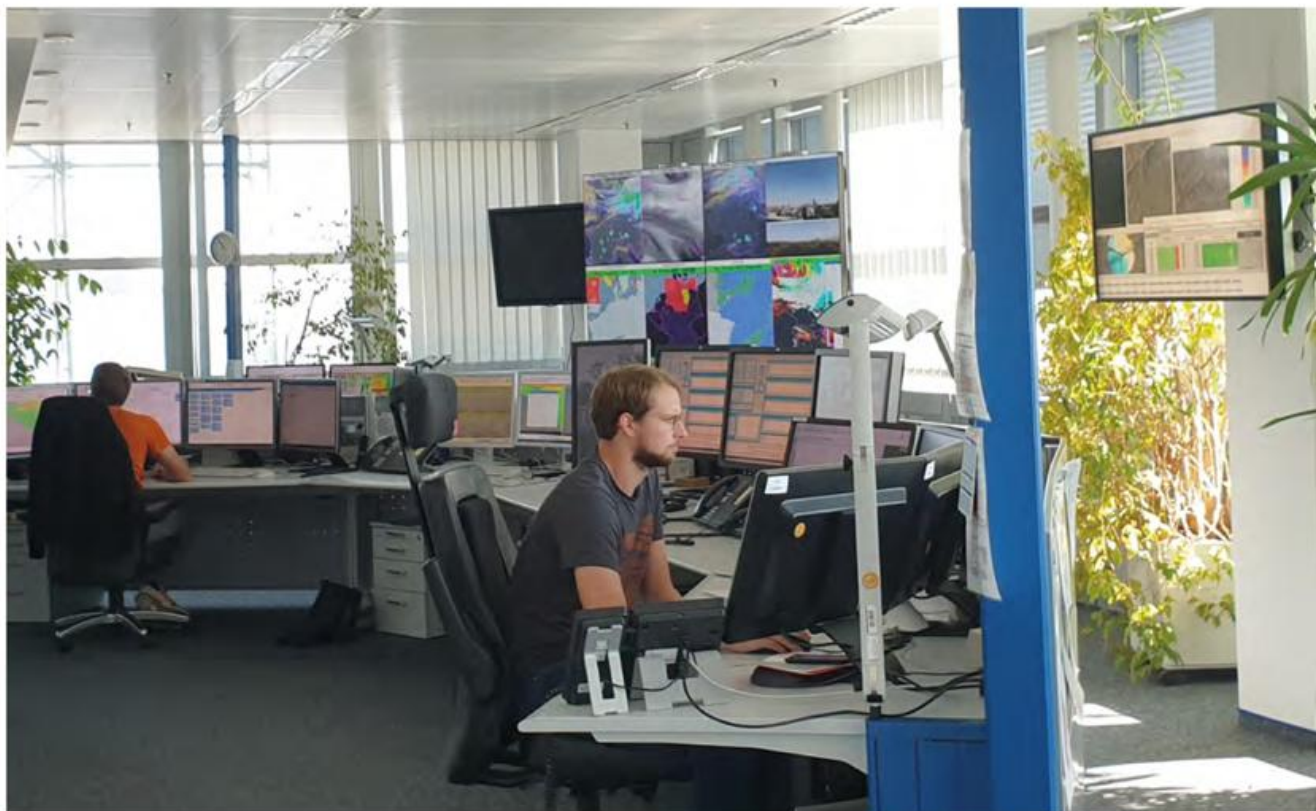
2.2 Personal und Personalentwicklungen

Personalkosten und Mitarbeiterproduktivität

Die Leistungen des DWD, die im Jahr 2021 den Luftfahrtnutzern angeboten 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.

Das im Flugwetterdienst des DWD tätige Personal, in Vollzeitäquivalenten (VZÄ) ausgedrückt,

bestand im Jahr 2021 aus 287 VZÄ. Der abrechenbare Anteil nach Direct Costs betrug für das Jahr 2021 100 VZÄ. Diese lagen für das Abrechnungsjahr 2021 bei 162.077 Stunden. Davon abrechnungsfähig gegenüber den Luftfahrtern sind die mit dem Instrumentenfluganteil (IFR) zusammenhängenden 148.787 Stunden im Jahr 2021. 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 auch in 2021 weiterhin weltweit herrschenden COVID-19-Pandemielage stieg die Anzahl der Service Units im



▲ © Berthold Lescher, DWD: Flugwetterberater bei der Arbeit

1) Quelle: DFS

Leistungen des DWD für Luftfahrtnutzer 2021	
Art der Leistung	Anteil (in % der geleisteten Arbeitszeiten)
Interne Leistungen für den FWD	49,1
Spezialdienstleistungen (auf Kundenanforderung)	3,8
Leistungen des Flugwetterdienstes	47,1
davon	
FWD Daten und Produkte	0,6
FWD Vorhersagen	24,0
FWD Warnungen	0,7
FWD Bereitstellung/Vertrieb	0,4
FWD Beratung/Information	4,7
Andere LF-Leistungen	13,0
FWD Projekte	3,6

Jahr 2021 nur leicht auf 8.382.790 Units an. Der durchschnittliche Betriebsaufwand blieb mit ca. 0,02 Stunden Zeitaufwand pro Service Unit konstant. Damit ergibt sich für 2021 ein fast

gleichbleibender durchschnittlicher Betriebsaufwand des Flugwetterdienstes von 0,02 Stunden pro Service Unit.

Unsere Kolleginnen und Kollegen in der praktischen 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 Flugwetterdienst erfordern altersbedingte Abgänge sowie Bewerbungen von Kolleginnen und Kollegen auf andere Dienstposten innerhalb des DWD eine kontinuierliche Zuführung neuen Personals. Dank aufmerksamen Monitorings der Personalsituation durch die WV-Führungsebene im engen Zusammenwirken mit dem Personalmanagement des DWD können sich abzeichnende, negative Entwicklungen in diesem Sektor rechtzeitig erkannt und so Personalengpässe und die damit einhergehenden übermäßigen Belastungen der verbleibenden Kolleginnen und Kollegen stark reduziert oder vermieden werden.

Prinzipiell werden alljährlich Stellen für die Laufbahn des gehobenen Dienstes ausgeschrieben,

Ermittlung der Mitarbeiterproduktivität für den Bereich FWD IFR	2020	2021
Direkte Arbeitsstunden auf FWD-Kostenträger des DWD	152.180	162.077
davon für IFR (ca. 92 %)	139.702	148.787
Service Units* (in Tsd.)¹	7.422	8.383
Mitarbeiterproduktivität für FWD-IFR (in Stunden/Service Unit)	0,02	0,02

* direkte und verrechnete Arbeitsstunden (siehe Text)

1) Quelle: DFS



▲ DWD-Niederlassung Essen mit der LBZ West und weiteren Dienststellen

zum einen für das Studium an der Hochschule des Bundes (Fachbereich Wetterdienst, Dipl.-Met. FH), zum anderen für »fertige« Absolventen und Absolventinnen des an verschiedenen deutschen Universitäten angebotenen Bachelorstudienganges der Meteorologie (B. Sc. Met.). Im Berichtsjahr 2021 schlossen drei Bachelors ihre Ausbildung zur gemeinsamen Land-See- und Flugwetterberatungs-

lizenz erfolgreich ab und begannen ihre Tätigkeit im Vorhersagedienst. Die Laufbahnausbildung des gehobenen Dienstes absolvierten zwei Personen, von denen eine in den Vorhersagedienst ging, während die andere den Vorhersagedienst sozusagen aus dem »Backoffice« heraus, d. h. in der Betriebsleitung unterstützt.



© Beatrix Ott, sommerlicher Regenschauer an der Atlantikküste Floridas



Schauer

Schauer sind kurz andauernde (maximal 45 min) sowie räumlich eng begrenzte ($< 10 \text{ km}^2$) Niederschläge mit relativ hoher, manchmal rasch wechselnder Intensität. Sie können in verschiedenen Niederschlagsarten auftreten, so gibt es Regen-, Schnee-, Graupel- und Hagelschauer. Die konvektive Niederschlagsform Schauer entsteht durch adiabatische Abkühlung, Kondensation, Wolken- und Niederschlagsbildung infolge starker vertikaler Luftbewegungen (»Konvektion«). Neben deutlicher Sichtverschlechterung bergen Schauer auch die Gefahren von Vereisung und Turbulenz in sich, heftige konvektive Entwicklungen gehen häufig mit elektrischen Entladungen einher.

3 Kundendienstleistungen

3.1 Kunden und Leistungen

22

Dem Flugwetterdienst im DWD obliegt die Aufgabe der meteorologischen Sicherung des Luftverkehrs. Gemäß LuftVG sind Flugwetterberatungs- und Flugwetterbetriebsdienste bereitzustellen und die dafür erforderlichen technischen Einrichtungen, Forschungen und Entwicklungen zu betreiben. Die Aufgaben- und Verantwortungsbereiche umfassen:

- ▶ die Wetterüberwachung,
- ▶ die Warnung vor Wettererscheinungen mit Auswirkungen auf den An- und Abflug sowie auf den Rollverkehr,
- ▶ die Warnung vor fluggefährdenden Wetterereignissen auf der Strecke,
- ▶ die Bereitstellung von standardisierten Flugwettervorhersagen,
- ▶ die individuelle Flugwetterberatung,
- ▶ die Sammlung und die Bereitstellung flug-klimatologischer Daten und Statistiken.

Die einzelnen zu erbringenden Leistungen und bereitzustellenden meteorologischen Daten und Produkte sind den einschlägigen nationalen und internationalen Richtlinien und Verordnungen der EU, ICAO, WMO und der Aufsichtsbehörden zu entnehmen.

Das Leistungsprogramm des DWD-Flugwetterdienstes orientiert sich darüber hinaus auch an den Kunden bzw. den jeweiligen Anforderungen und Bedürfnissen an flugmeteorologischen Dienstleistungen und Produkten.

Gerade in Zeiten weltweiter Tourismus- und Geschäftskontakte, internationaler Verkehrsvernetzung und Just-in-Time-Logistik hat das Wetter einen zunehmenden Einfluss auf die gesamte Luftverkehrsbranche und gewinnt sowohl regional als auch global weiter an Bedeutung. Die Modernisierung der Flugsicherungslandschaft, die Einführung von Airport CDM, die unbemannte Luftfahrt als neuer Verkehrsteilnehmer, die Automatisierung verschiedener Prozesse, die Digitalisierung und

nicht zuletzt der Klimawandel bringen neue Herausforderungen für die Luftfahrt, denen sich auch der DWD als flugmeteorologischer Dienstleister stellen muss und denen er mit einem modernen, sich laufend weiterentwickelnden Produkt- und Leistungsportfolio begegnet.

So helfen wir unseren Kunden erfolgreich zu sein und leisten einen Beitrag für die SES-Leistungsziele Sicherheit, Kapazität, Kosteneffizienz und Umweltverträglichkeit des Luftverkehrs.

Die im Folgenden aufgeführten Kundengruppen der Verkehrsluftfahrt und der Allgemeinen Luftfahrt nutzen die meteorologischen Informationen des DWD-Flugwetterdienstes für die Wahrnehmung ihrer jeweiligen Aufgaben:

- ▶ Flugsicherungsorganisationen, u. a. DFS Deutsche Flugsicherung GmbH und EUROCONTROL,
- ▶ deutsche Flughäfen und ihre Dienstleister,
- ▶ Linien- und Charterverkehr inkl. der Luftfrachtbranche
- ▶ Geschäftsreiseflugverkehr
- ▶ allgemeine Luftfahrt inkl. Luftsport
- ▶ fliegende Einheiten von Polizei, Rettungsdiensten und des Katastrophenschutzes,
- ▶ Flugmodelle und unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS),
- ▶ IT-Systemhäuser im Umfeld der aeronautischen Datenverarbeitung und Navigation
- ▶ Luftfahrtverbände und -vereine,
- ▶ Flugschulen,
- ▶ Luftfahrtbehörden.

Alle materiellen und immateriellen Dienstleistungen, die der DWD für die Luftfahrt bereitstellt, werden in einem Leistungskatalog Flugwetterdienst geführt und dem BMDV regelmäßig vorgelegt. Dabei wird unterschieden zwischen regulierten FWD-Leistungen die im Auftrag des Staates zur Versorgung der Luftfahrt erbracht und in der Regel über Gebühren und den Bundes-

haushalt gedeckt sind und solchen, die im Auftrag eines Kunden erfolgen und individuell abgerechnet werden.

Die Systematik zur Luftfahrtkostenrechnung mit der Verteilung der Kosten auf An-/Abflug- und Strecke sowie die Abgrenzung zwischen Instrumentenflug (IFR) und Sichtflug (VFR) ist dem Kapitel 6 zu entnehmen.

Die folgenden Tabellen zeigen jeweils für das Berichtsjahr 2021 die Anzahl verschiedener Produkte und Leistungen getrennt nach Luftfahrt-kundengruppen und die Umsätze für die entgelt-pflichtigen Leistungen.

Anzahl erstellter Produkte und Leistungen des DWD zur meteorologischen Sicherung der Luftfahrt im Jahr 2021	
Leistungen	Anzahl in 2021
Meteorologische Dienstleistungen für die IFR-Luftfahrt	
Mündliche Flugwetterberatungen	1.969
TAFs für deutsche Flughäfen	67.970
Trend-Vorhersagen (internationale Verkehrsflughäfen)	264.424
METAR (internationale Verkehrsflughäfen)	266.962
SPECI (internationale Verkehrsflughäfen)	39.637
SIGMETs, Flughafenwarnungen, Windscheringwarnungen	11.096
GAFOR-Gebietswarnungen	23.986
Flugzeugwettermeldungen (ARS/PIREP)	663
Low-Level Significant Weather Charts	4.463
Flugwetterübersichten/3-Tage-Prognosen	14.281
Meteorologische Dienstleistungen ausschließlich für die VFR-Luftfahrt	
Vorhersagen für Low-Level-Flüge (GAFOR)	10.478
Mündliche Flugwetterberatungen (nur VFR)	22.581
Meteorologische Dienstleistungen für Rettungsdienste, Flugsicherung, Flughäfen	
Spezialvorhersagen für Such- und Rettungsoperationen	24.674
Spezialvorhersagen für die Flugsicherung (Höhenwindprognose)	5.840
Spezialvorhersagen für Flughäfen und Air Traffic Management (Flughafenvorhersagen, Winterdienst, ATM-Beratungen)	147.594
Selbrieffingdienste für die zivile Luftfahrt (IFR/VFR), Flughäfen und Luftfahrt Dienstleister	
Kunden der Selbrieffingsysteme pc_met Internet Service	15.070

Umsätze aus meteorologischen Spezialdienstleistungen zur Sicherung der Luftfahrt 2021	
Produktgruppe	(EUR)
Selfbriefingsysteme (pc_met u. a.)	926.056
Flugmeteorologische Gutachten und Auskünfte (inkl. Sachverständigenleistungen nach JVEG)	8.063
Meteorologische Betreuung der Regionalflugplätze einschließlich Ausbildung des Personals	181.954
Mehrwertdienste (individuelle mündliche Flugwetterberatungen, TAF-Guidance und abgeleitete Produkte)	63.276
Erstellung/Bereitstellung flugmeteorologischer Informationen für Flughäfen und Service Provider	96.700
Sonstiges (Lehrfilme für die Pilotenaus-/fortbildung, Flugwetterseminare für Piloten etc.)	9.468
Umsatz Spezialdienstleistungen gesamt	1.285.517

Ein Blick auf die Anzahl der vom Deutschen Wetterdienst erstellten und abgegebenen flugmeteorologischen Produkte und Leistungen aus den Jahren 2020 und 2019 erlaubt interessante Aussagen zum Einfluss der COVID-19-Pandemie auf die Dienstleistungen des Flugwetterdienstes. Obwohl wegen der Pandemie die durchgeführten Flüge laut Performance Review Report von EUROCONTROL im Jahr 2020 um rund 55 % und im Jahr 2021 um rund 44 %, jeweils im Vergleich zum Jahr 2019, zurückgegangen sind, lässt sich bei der Anzahl der flugmeteorologischen Produkte und Leistungen kaum ein Covid-Effekt erkennen, denn die überwiegenden Produkte und Leistungen des Flugwetterdienstes sind unabhängig von der Verkehrsdichte zu erstellen. Eine Ausnahme stellen die Flugzeugwettermeldungen dar, die von den Flugzeugbesatzungen über die DFS an den DWD gemeldet werden und dann in die Produkte ARS bzw. PIREP münden. Hier zeigt sich selbstverständlich eine Abhängigkeit von der Anzahl der durchgeführten Flüge. Während im Jahr 2019 vor Corona 1.284 Flugzeugwettermeldungen gezählt wurden, lag die Anzahl im Jahr 2020 bei 611 und im Jahr 2021 bei 663. Dieser Rückgang um circa 50 % demonstriert eindrucksvoll den pandemiebe-

dingten Einbruch des Luftverkehrs. Bei der Anzahl der durchgeführten individuellen telefonischen Flugwetterberatungen ist der Covid-Effekt schwächer, aber deutlich. So wurde 2020 ein Rückgang der individuellen telefonischen Beratungen von rund 34 % und 2021 von etwa 22 % gegenüber dem Referenzjahr 2019 verzeichnet.

Wenn also die Pandemie auf das Leistungsportfolio des DWD-Flugwetterdienstes nur wenig Einfluss genommen hat, führte Covid-19 jedoch auch 2021 zu insgesamt erheblichen Einschränkungen und finanziellen Schäden in der Luftverkehrsindustrie. Anfängliche Reisebeschränkungen und weitere Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie verursachten zunächst eine geringere Nachfrage nach Flugreisen. Im Laufe des Jahres brachten dann die Impfungen, die Einführung des digitalen COVID-Zertifikates der EU sowie die Lockerung der Reise- und allgemeinen Beschränkungen wieder einen erheblichen Anstieg des Passagierluftverkehrs, vor allem im Sommer 2021 mit Flügen in die traditionellen Urlaubsgebiete. Schließlich führte die Omikron-Welle Ende vergangenen Jahres wieder zu leicht rückläufigen Verkehrszahlen.

Laut Performance Review Report 2021 stieg das Verkehrsaufkommen im EUROCONTROL-Gebiet gegenüber 2020 um 25,5 % auf 6,2 Millionen Flüge. Trotz dieser deutlichen Steigerung liegt dieser Wert immer noch 43,8 % unter dem Niveau von 2019. Im Vergleich zu 2019 mit etwa 11,1 Mio. Flügen, wurden im Jahr 2021 etwa 4,9 Mio. Flüge weniger durchgeführt. Der Höchststand an täglichen Flugbewegungen wurde am 27.08.2021 mit 26.773 Flügen erreicht und lag damit immer noch 27,9 % unter dem Vor-Corona-Höchstwert von 37.133 Flügen am 28.06.2019. Wie man dem folgenden Diagramm der En-route-Verspätungen für die Jahre 2019 bis 2021 entnehmen kann, reduzierten sich aufgrund des deutlich geringeren Luftverkehrsaufkommens in den Corona-Jahren auch die Flugverspätungen. Während im Jahr 2020 nach dem starken Einbruch der Verkehrszahlen seit April die Zahl der ATFM-Verspätungen nahezu gegen Null ging, stieg sie mit dem Wiederaufleben des Luftverkehrs im Sommer 2021 wieder an. Hauptgründe für Verspätungen waren dann Kapazitäts- und Personalengpässe, wogegen, anders als im Vor-Corona-Jahr 2019 wetterbedingte Verspätungen eine etwas geringere Rolle spielten.

Der EUROCONTROL Performance Review Report 2021 schlussfolgert: »Es ist vor allem die Kombination aus mangelnden Kapazitäten zur Bewältigung höherer Verkehrslasten und schwierigen Wettersituationen, die Verspätungen verursachen.«



3 Kundendienstleistungen

3.2 Kundenversorgung

26

Die Versorgung der Kunden mit flugmeteorologischen Informationen und Produkten erfolgt über verschiedene Vertriebswege. Dabei werden die Richtlinien des BSI beachtet, d. h. die übermittelten Daten werden in ihren Grundwerten Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit angemessen geschützt. Ein vom DWD betriebener, gesicherter Server (data.dwd.de) bietet nach Authentifizierung den Datenabruf über die Protokolle HTTPS und SFTP an. Flugwetterinformationen werden außerdem über die Briefing-Portale, via E-Mail, per Push-Service oder über einen Geoserver zur Verfügung gestellt.

Der konkrete Übertragungsweg richtet sich in Abstimmung mit dem Kunden nach der Art der Daten und Produkte. So muss z. B. die Versendung bzw. Übermittlung von Warnungen aktiv durch den DWD erfolgen, etwa telefonisch oder über E-Mail, während die Lieferung regelmäßig erstellter Produkte, wie beispielsweise Modelldaten oder Radarbilder, auf passivem Modus über Server (Datenserver, Geoserver) oder Briefing-Portale erfolgen kann. Über den Geoserver des DWD werden z. B. die Produkte NowcastMIX-Aviation, NowcastMIX-Winterwetter, NowCastSAT-Aviation, Turbulenz, Vereisung und einige Modell-Layer, aber auch Radar und Satellitendaten angeboten.

Der DWD bietet eine SWIM-konforme Datenabgabeschnittstelle an. Der Aufbau erfolgte im Rahmen eines EU-geförderten Projektes im Rahmen des Single European Sky ATM Research Programms (SESAR) gemäß den gesetzlichen Vorgaben und vorgeschriebenen Formaten und Protokollen. Deren aktuelle Nutzer sind Vertreter verschiedener Kundengruppen, wie etwa Fluggesellschaften, Flugsicherungsorganisationen, Systemhäuser sowie der EUROCONTROL-Netzwerkmanager. Grundsätzlich ist diese Schnittstelle eine reine Maschine-Maschine-Schnittstelle und unterstützt die im Global Air Navigation Plan

(GANP) der ICAO und im ATM-Masterplan beschriebene Vollautomatisierung der Verkehrsluftfahrt. Die Leistungen des DWD werden je nach Anwendungszweck oder Kundengruppe gebündelt bereitgestellt. Als erste Daten bzw. Produkte stehen METAR, TAF, SIGMET (im IWXXM-Format) sowie das harmonisierte Turbulenz- und Vereisungsprodukt aus dem SESAR Implementierungsprojekt European Harmonised Forecasts of Adverse Weather zur Verfügung. Eine Servicebeschreibung wurde in der zentralen europäischen SWIM Registry veröffentlicht. Die SWIM Registry ist dabei nicht die Datenquelle selbst, sondern eher ein Verzeichnis, in dem die Services einheitlich beschrieben sind. Diesen Beschreibungen kann entnommen werden, was die Services liefern und wie sie genutzt werden können. Zusätzlich erhält der potenzielle Kunde die Kontaktdaten des Anbieters. Ein Vertragsabschluss zur Nutzung eines SWIM-Service erfolgt dann direkt zwischen Kunde und Anbieter.

Die Fluglotsinnen und Fluglotsen im Tower der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH an den Verkehrsflughäfen benötigen zeitnah Messwerte der dort aktuellen meteorologischen Parameter und erhalten diese wichtigen Daten über direkte Modemstrecken. Dazu wird das Automatische System zur Datenerhebung und -verbreitung (ASDUV) eingesetzt, bestehend aus verschiedenen Sensoren auf dem Flugplatz in unmittelbarer Nähe des Start-Landebahnsystems (u. a. Wind, Sichtweite, Luftdruck, Temperatur, Feuchte, Wolkenhöhe) und entsprechender Rechentechnik zur Auswertung und visuellen Darstellung der gemessenen Parameter sowie zur Erstellung von Wettermeldungen und Datentelegrammen. Auch die Center-Lotsen erhalten meteorologische Daten vom DWD, die von

einem speziellen Datenserver über eine abgesicherte und redundant ausgelegte Datenleitung aus der Zentrale des DWD die DFS-Zentrale in Langen geschickt werden.

Die Fluglotsinnen und Fluglotsen an den Regionalflugplätzen werden auch mit qualitätsgesicherten Wetterdaten versorgt. Die Durchführung des Wetterbeobachtungs- und Wettermeldedienstes erfolgt im Gegensatz zu der an den internationalen Verkehrsflughäfen mit flugplatzeigener Mess- und Datenverarbeitungstechnik (AWOS) und mit eigenem Personal des Flugverkehrsdienstes oder des Flugplatzunternehmers. Die Technik ist vom DWD musterzugelassen und wird nach einer technischen Abnahme am Flugplatz in Betrieb genommen. Die Lotsinnen und Lotsen im Tower haben direkt Zugriff auf die meteorologischen Messwerte. Die Flugplatzwettermeldungen werden zur Weiterleitung an z.B. die DFS und zur Integration in die Distributionssysteme wie z. B. die Briefing-Systeme an den DWD geschickt.

Der DWD arbeitet auch mit anderen Dienstleistern für Wetter- und Navigationsdaten zusammen, die zur Versorgung der Verkehrsluftfahrt anwendungsbezogene IT-Systeme digital zur Verfügung stellen. Hierbei sind die Prozesse der Flugplanung und Navigation dynamisch miteinander verbunden. Dank moderner Technik lösen diese Systeme und Applikationen klassische »Papierkarten« und Übermittlungswege ab. Zukünftig werden alle Wetter-, Luftraum- und Verkehrsinformationen digital dargestellt und übermittelt. Eine optimale und sichere Navigation setzt hochwertige, aktuelle und weltweit verfügbare flugmeteorologische Daten voraus, die der Deutsche Wetterdienst hauptsächlich über Datenserver und Geoserver bereitstellt. Dank dieser modernen Technik können die Nutzer bereits heute u. a. auf Turbulenz-, Vereisungs- und Konvektions-Daten des DWD in höchster Qualität zugreifen.

Außerdem ist die Bereitstellung von Flugwetterinformationen durch die Flugwetterzentrale Frankfurt (FWZ) und die Luftfahrtberatungszentralen (LBZn) in Form von regelmäßigen und situativen Wetterbriefings (telefonisch oder persönlich) für die Verkehrsluftfahrt sowie in Form der individuellen telefonischen Flugwetterberatung für die Allgemeine Luftfahrt oder die fliegenden Einheiten von Polizei, Rettungsdiensten und des Katastrophenschutzes von besonderer Bedeutung.

Nicht zuletzt bietet der DWD speziell eingerichtete Webseiten zur eigenständigen Durchführung des Flugwetterbriefings an (Selfbriefing-Systeme). Neben den Schlüsselkunden der Verkehrsluftfahrt haben alle Pilotinnen und Piloten der Allgemeinen Luftfahrt die Möglichkeit, diese Art des Briefings zu nutzen, alternativ oder ergänzend zur individuellen Flugwetterberatung. Nachfolgend werden die drei, sich inhaltlich durch die Ausrichtung auf die jeweilige Nutzergruppe unterscheidenden Flugwetter-Selfbriefing-Systeme des Deutschen Wetterdienstes kurz beschrieben.

Selfbriefingsysteme

► Meteorological Airport Briefing (MAB)

Meteorological Airport Briefing ist ein web-basiertes Portal mit meteorologischen Produkten für die Steuerung sämtlicher Prozesse im Air Traffic Management (ATM) und ist zugeschnitten auf Flughäfen, die dort ansässigen Flughafendienstleister (z. B. Winter- und Verkehrsdienste), Fluggesellschaften und Flugsicherungsorganisationen. Hervorzuheben sind dabei die von den jeweiligen Luftfahrtberatungszentralen bzw. der Flugwetterzentrale Frankfurt speziell für die Verkehrsflughäfen erstellten Airport-Briefing-, Nowcast- und Winterdienstberichte, aber auch die kundenspezifischen Radar-, Gewitter- und Blitzinformationen.

Hierzu gehören auch die Produkte NowCastMIX-Aviation und NowCastMIX-Winterwetter sowie die Anwendung WarnELEC. Über MAB werden zusätzlich noch die Flugverkehrsdienste für den oberen Luftraum der DFS in Karlsruhe und von EUROCONTROL in Maastricht versorgt.

► **Heliportal**

Eigens für die Kundengruppe der Hubschrauberbesatzungen (u.a. für Polizei- und Rettungsflug) bietet der DWD das webbasierte Flugwetterbriefing-System **Heliportal** zur meteorologischen Flugvorbereitung an. Spezialprodukte wie Nachtflugvorhersage mit Bildverstärkerbrillen (BIV-), Marinogramme und Seegangsvorhersagen für Einsätze im Offshore-Bereich ergänzen die Standardprodukte des Flugwetterbriefings.

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

Für die Pilotinnen und Piloten der Verkehrsluftfahrt und der Allgemeinen Luftfahrt offeriert der DWD das Selfbriefing-System **pc_met Internet Service** zur meteorologischen Flugvorbereitung. Neben Warnungen, Vorhersageberichten und -karten, werden räumlich hochaufgelöste Radar-, Blitz- und Satelliteninformationen in z. T. fünfminütiger Aktualisierung angeboten. Schon seit über 20 Jahren wird diese Anwendung genutzt, derzeit von über 15.000 Kunden (siehe Grafik rechts).

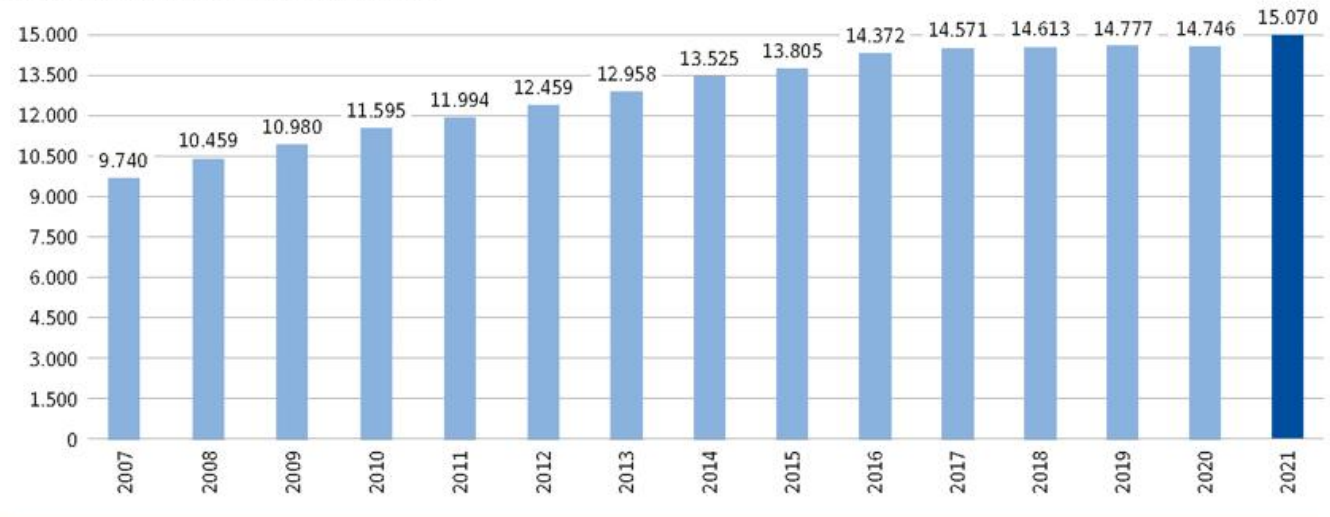
Die Briefingsysteme im DWD (Luft, Land und See) werden kontinuierlich dem raschen wissenschaftlich-technischen Fortschritt angepasst. Meteorologische Informationen sind zukünftig in Geowebdienste eingebunden und erhalten ein modernes »Look & Feel«. Dazu wird eine neue technische Plattform entwickelt, die dann die kundenspezifischen Daten, Produkte und Anwendungen aufnimmt. Dabei ergeben sich Synergien in den Softwarearchitekturen, bei den Authentifizierungsprozessen, im Layout

sowie in der Produkteinbindung. Diese Umstellung bedeutet in den nächsten Jahren intensive Entwicklungsarbeit. Erste Anwendungen existieren bereits, denn die Visualisierungssoftware der NowCastMIX-Produkte im Meteorological Airport Briefing und im Heliportal basiert bereits auf Geowebdiensten.

Für Kunden des Flugwetterbriefing-Systems **pc_met Internet Service** bietet der Deutsche Wetterdienst mit der **DWD FlugWetter-App** eine mobile Ergänzung für die meteorologische Flugvorbereitung an. Diese ermöglicht dem Kunden z. B. kurz vor der Flugdurchführung noch mal einen kurzen Blick auf das aktuelle Wetter für Start, Ziel und die geplante Strecke mit aktuellen Radar- und Blitzinformationen, dem GAFOR, aktiven Warnungen und einiges mehr.

In Zyklen von etwa 6 Monaten wird die **DWD FlugWetter-App** regelmäßig mit weiteren Flugwetterinformationen upgedated. So sind für 2022 Vorhersagedaten aus dem WAWFOR-Datensatz und neue RADAR-Bilder geplant.

pc_met Kunden in den Jahren 2007 bis 2021



Innovationen in der Kundenversorgung

► WarnELEC-Blitzwarntool

Für die Erkennung von Gewitteraktivität wird den Flughafenbetreibern, Bodenverkehrsdiensten und Flugsicherungsorganisationen das Blitzwarntool **WarnELEC** angeboten. **WarnELEC** ist eine gewebbasierte Browser-Anwendung, die aktuelle RADAR- und Blitzdaten in vordefinierten Warnbereichen mit unterschiedlichen Radien um den Flughafenbezugspunkt in hoher raum-zeitlicher Auflösung darstellt und die zeitliche Verlagerung der Blitzaktivität - von der Vergangenheit bis zum aktuellen Zeitpunkt beobachtet und bis zu zwei Stunden in die Zukunft extrapoliert - in Form von Vorhersagepolygonen visualisiert. Wenn erforderlich, kann eine automatisierte Blitzschlagwarnung per E-Mail versendet werden. Seit Jahresbeginn 2021 wird **WarnELEC** operationell genutzt und mit den in der Praxis gewonnenen Erfahrungen fortentwickelt.

► Kundenversorgung durch externe IT-Dienstleister

Der Deutsche Wetterdienst stellt seinen Kunden a priori ein umfangreiches Portfolio an flugmeteorologischen Daten, Produkten, Verfahren und Dienstleistungen zur Verfügung. Doch gerade in der Luftfahrt sind die Anforderungen häufig sehr individuell, sei es nun in speziellen Wünschen bei der grafischen Darstellung oder aber bei der Datenhaltung im kundeneigenen IT-System. Folglich bietet der DWD seine Daten und Produkte nicht ausschließlich in den haus-eigenen Briefing-Systemen an, sondern liefert auch direkt an Abnehmer, die z. B. die Rohdaten selbst alphanumerisch oder/und visuell darstellen möchten. Speziell auf seine Bedürfnisse abgestimmt, kann der Kunde auf diesem Wege außerdem Flugwetterdaten in seine Prozess-abläufe integrieren und so den Nutzwert der Daten gegenüber dem »Briefing-Pauschalangebot« erhöhen. Viele unserer Kunden beauftragen zur Systemintegration im IT-Bereich Drittanbieter, denen der DWD die bereits von der Luftfahrt finanzierten flugmeteorologischen

Daten zur Verfügung stellt und lediglich ein Bereitstellungsentgelt berechnet, um die Luftfahrtbranche nicht mehr als nötig finanziell zu belasten. Diese Lieferprozesse unterliegen speziellen Nutzungsbedingungen und sind vertraglich geregelt, beispielsweise muss bei der digitalen Verarbeitung meteorologischer Daten deren Aussagekraft erhalten bleiben. Der Sicherstellung der Integrität von Flugwetterinformationen bei der Implementierung und Darstellung in Fremdsystemen liegt das Dokument AMC DWD-01 Display of Meteorological Information zugrunde.

Unbemannte Luftfahrt

► Neuer Rechtsrahmen

Mit der DVO 2021/664 wurde 2021 der Rechtsrahmen für die unbemannte Luftfahrt (Unmanned Aircraft Systems) 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 unterstützte in diesem Zusammenhang das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) und die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH bei der Umsetzung der EU-Durchführungsverordnungen in nationales Recht und ist in der Arbeitsgruppe für Luftverkehrssicherheit und Luftraum im nationalen Beirat unbemannte Luftfahrt vertreten. Auf internationaler Ebene hat der Kundenservice Luftfahrt eine Arbeitsgruppe mit den Europäischen Flugwetterdiensten (AVIMET) und EUMETNET ins Leben gerufen,

die den fachlichen Austausch zwischen den beteiligten (Flug-)Wetterdiensten koordiniert, die fachlichen Herausforderungen adressiert und seit Frühjahr 2021 auch am »Rule-Making-Prozess« der EASA mitwirkt.

► Wetterinformationen für Drohnenflüge

Für kommerzielle UAS-Nutzer wird **pc_met Internet Service** angeboten, außerdem steht allen Piloten ferngesteuerter Luftfahrzeuge die kostenpflichtige individuelle Flugwetterberatung zur Verfügung. Weiterhin stellt der DWD für Flugmodelle und Drohnen eine kostenfreie Grundversorgung mit Flugwetterinformationen unter www.dwd.de/luftsport zur Verfügung. Dazu gehören Windprognosen für die Erdoberfläche, eine Niederschlagsradar- und Blitzkarte sowie ein Windprofilrechner für die untere Grenzschicht. Für die meteorologische Unterstützung der Flugplanung im bodennahen Luftraum stellt der DWD - nicht nur für unbemanntes Fliegen - einen Vorhersagedatensatz mit hochauflösenden COSMO-D2-Daten (seit Februar 2021 ICON-D2) und zusätzliche Wetterradar- und Blitzdaten bereit. Dieser Datensatz kam im Sommer 2021 im U-Space-Reallabor im Hamburger Hafen als bundesweit erstes Testfeld für einen Drohnen-Luftraum zum Einsatz. Weitere Anwendungen des Datensatzes im Rahmen der Digitalen Plattform für unbemannte Luftfahrt (dipul) des BMDV sind für 2022 vorgesehen.

► **OBeLiSk: Betriebskonzept für unbemannte Stratosphärenplattformen**

Im Projekt OBeLiSk (Operationelles Betriebskonzept zur sicheren und effizienten Luftraumintegration von Stratosphärenplattformen) beteiligt sich der DWD unter der Projektleitung der Leichtwerk Research GmbH, und zusammen 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 HAPS (High Altitude Pseudo Satellites). Der DWD entwickelt zur Unterstützung der

Start- und Landephase der HAPS kritische meteorologische Vorhersageparameter auf probabilistischer Basis. Das Projekt OBeLiSk wird im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.



▲ Rückseite einer gealterten Schauerwolke

3 Kundendienstleistungen

3.3 Kundenkonsultationen

32 Die wissenschaftlich-technische Entwicklung, Produktion und Abgabe innovativer flugmeteorologischer Vorhersageprodukte und Beratungsdienstleistungen sind nur der erste Schritt zum Ziel der umfassenden meteorologischen Sicherung der Luftfahrt, der zweite, ebenso wichtige ist die serviceorientierte Betreuung der verschiedenen Nutzergruppen. Die Covid-19-Pandemie sorgte auch im Jahr 2021 dafür, dass direkte Kundenkontakte kaum möglich waren. Dank der fortgeschrittenen Digitalisierung konnten wir mittels Webkonferenzsystemen unsere Bestandskunden trotz der Corona-Beschränkungen bei der Integration meteorologischer Informationen in ihre Prozessabläufe unterstützen und ihnen produktberatend zur Seite stehen. Auch in Corona-Zeiten nehmen wir Wünsche und Anregungen unserer

Kunden und Partner gerne auf, um gemeinsam den Nutzwert meteorologischer Information für die Luftfahrt zu optimieren.

Messe- und Ausstellungspräsenz

Messen und Veranstaltungen der Allgemeinen Luftfahrt und des Luftsports, an denen der DWD sonst regelmäßig teilnimmt, mussten im Berichtsjahr aufgrund der Covid-19-Pandemie ausfallen. Dies betraf die Leitmesse der Branche in Europa, die AERO Friedrichshafen, den DFS-Pilotentag, den Segelfliegertag, den Luftsporttag und das Luftsport-Jugendlager. Die bereits im Sommer 2020 abgesagte Weltmeisterschaft des Segelfluges in Stendal konnte auch 2021 nicht nachgeholt werden.



Kundenforum

Wegen der pandemischen Lage mussten im Herbst 2021 jegliche Veranstaltungen mit Publikumsverkehr ausfallen. Da es uns stets sehr wichtig ist, gegenüber Kunden, Partnern und Behörden über unsere aktuellen Tätigkeiten, Projekte und Produkte zu berichten, um in Kontakt zu bleiben und Feedback zu erhalten, wurde das Luftfahrt-Kundenforum zum zweiten Mal in Folge am 02.12.2021 als Web-Konferenz durchgeführt. Dazu wurden der Jahresbericht 2020 Flugwetterdienst, eine separate Darstellung der Luftfahrtkosten und drei Vorträge online publiziert und zum Abruf bereitgestellt.

Hauptthemen waren die Präsentation des Jahresberichtes 2020 Flugwetterdienst, ein Überblick über das aktuelle Leistungsspektrum, die neuesten Entwicklungen und Projekte sowie die Kosten des Flugwetterdienstes. Darüber hinaus gab es drei Fachvorträge zu den Themen Automatisierung des Flugwetterbeobachtungsbetriebes an internationalen Verkehrsflughäfen (AutoMETAR), Entwicklung und Einrichtung einer SWIM-konformen Datenschnittstelle zu meteorologischen Informa-

tionen für die Verkehrsluftfahrt sowie zu den Nowcasting-Produkten des DWD für die Luftfahrt. Anschließend konnten die Teilnehmer in verschiedenen Themenräumen direkt mit den Fachleuten des DWD sprechen und Fragen stellen.

Mit dieser Web-Veranstaltung war der Gedanken- und Erfahrungsaustausch mit Vertretern des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV), weiteren Behörden wie dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF) und dem Luftfahrt-Bundesamt (LBA), der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, EUROCONTROL, Flughafenbetreibern, Fluggesellschaften, Luftfahrt- und Luftsportverbänden und vielen anderen möglich. Wir konnten einen Einblick in unsere Aktivitäten geben und kaufmännisch Rechenschaft über Leistungen und Kosten des Flugwetterdienstes ablegen. Persönliche Kontakte wurden gepflegt und dank des digitalen Formates erreichten wir sogar eine größere Anzahl Interessenten als es bei einer reinen Präsenzveranstaltung möglich gewesen wäre.



Projekte und Neuigkeiten

Position	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Personnel	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Material	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Operating	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Investment	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Other	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Total	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000

Luftfahrtkostenrechnung 2020

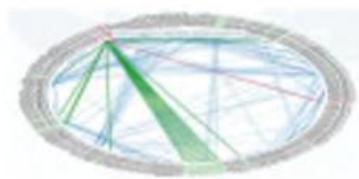


Jahresbericht 2020 Flugwetterdienst

Fachvorträge



AutoMETAR



Swim



DWD-Produkte für die Luftfahrt



© Clemens Weidemann, Blitzeinschlag unweit des Frankfurter Flughafens

Blitz und Donner

Blitze entstehen in hoch aufgetürmten Quellwolken, wenn sich die u. a. durch Reibung der Wolkenpartikel entstandenen, elektrischen Potenziale 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 einhergehende Druckanstieg erzeugt eine Schockwelle, die sich in der unmittelbaren Umgebung des Blitzes als scharfer Knall (»Donnerschlag«) bemerkbar macht. Verschiedene Laufzeiten von unterschiedlichen Punkten des Blitzkanals verursachen das »Donnerrollen« durch Überlagerung der Schallwellen.



4 Innovation und Entwicklung

4.1 Informationstechnik, Messtechnik und Arbeitsplatzsysteme

Modernisierung der Datenformate für OPMET-Daten

OPMET-Daten sind codierte meteorologische Informationen (z. B. METAR, SPECI, TAF und SIGMET), deren aktuelles Format (TAC - Traditional Alphanumeric Code) auf das durch ICAO und WMO definierte Austauschformat IWXXM (ICAO Meteorological Information Exchange Model) umgestellt wird. Seit November 2021 werden die OPMET Daten des DWD operationell international verbreitet und können von den Nutzern operationell verwendet werden. Beide Datenformate (IWXXM und TAC) werden in den nächsten Jahren parallel operationell angeboten, um den Nutzern eine reibungslose Migration auf das neue Datenformat zu ermöglichen. Ein Termin für die Abschaltung wird derzeit auf globaler ICAO Ebene koordiniert. Eine Einstellung der Meldungen im TAC Format vor 2030 wird angestrebt.

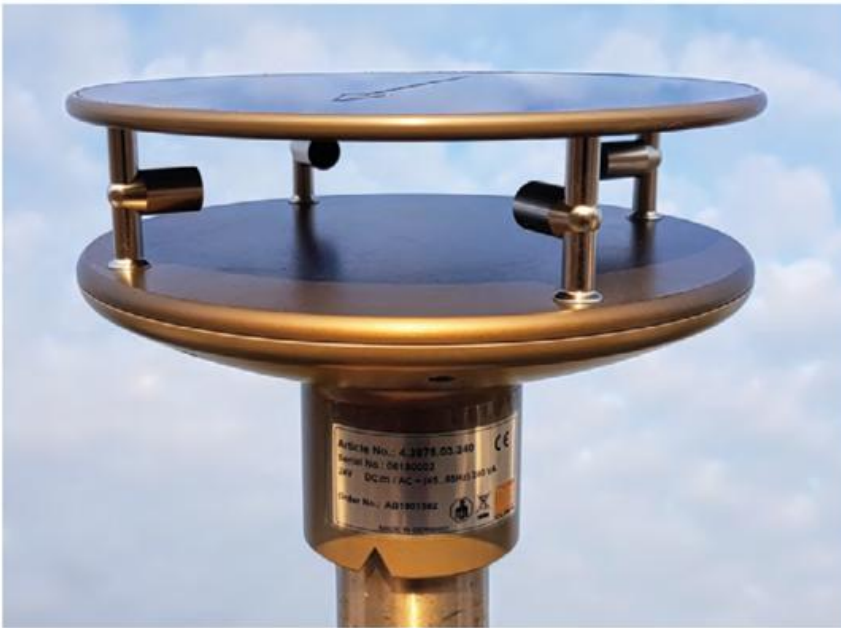
Bereitstellung von Geo-Webdiensten

Durch die georeferenzierte Bereitstellung von Karten und Daten können unsere Kunden die Produkte des DWD nun in ihre eigenen Anwendungen und Visualisierungstools integrieren. Auch die Abgabe von modellbasierten Turbulenz- und Vereisungspolygonen wird als Geo-Webdienst angeboten und die flugmeteorologischen Verfahren und Produkte zum satellitenbasierten Konvektions-Nowcasting sowie zur Turbulenz- und Vulkanaschevorhersage stehen im Routinebetrieb zur Verfügung. 2021 wurde die Software für die Geo-Webdienste erweitert. Es erfolgten einerseits umfangreiche Arbeiten an der Datenbereitstellung, sodass nun die interne Datenhaltung für mehrere Datenarten an die externen Abgabesysteme angekoppelt werden kann. Andererseits wurde in einer nächsten Ausbaustufe mit einem externen Auftragnehmer weiter an einem neuen

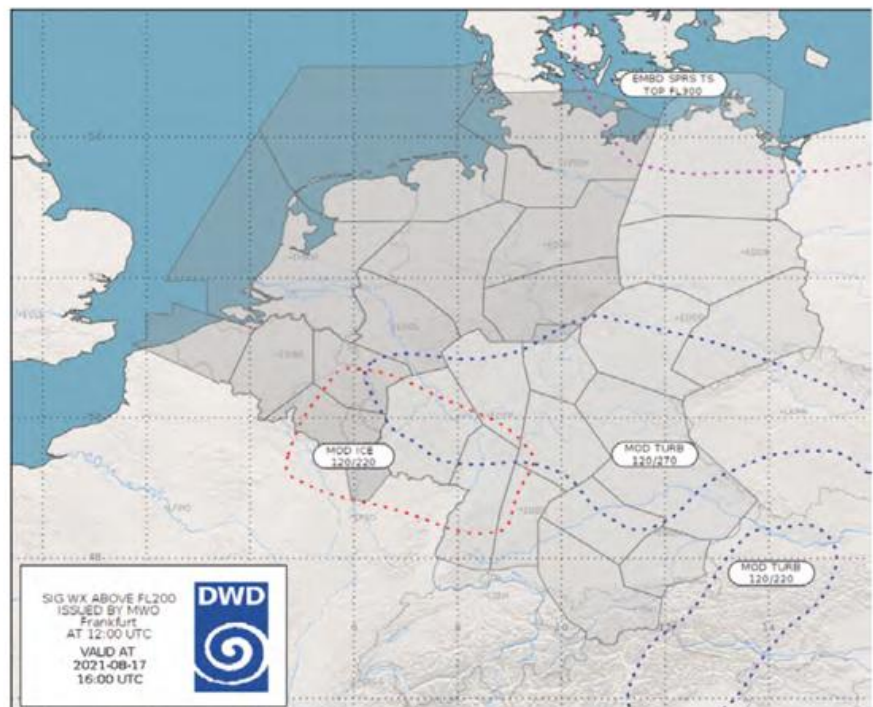
Clientsystem zur Visualisierung der Geodaten gearbeitet. Der Beginn einer Testphase mit ausgewählten Schlüsselnutzern ist für den Beginn des Jahres 2023 geplant.

Messtechnik

In den Jahren 2020 bis 2021 mussten die bisher eingesetzten Wolkenhöhenmessgeräte an internationalen Verkehrsflughäfen nach über 20 Jahren Betriebsdauer aus technischen Gründen ersetzt werden. Zusätzlich wurden im Rahmen des AutoMETAR-Projekts weitere Messpositionen für die Wolkenmessungen an den internationalen Verkehrsflughäfen eingerichtet. Zu diesem Zweck wurde eine Ausschreibung durchgeführt und Ende 2019 der Auftrag für die Lieferung von 97 Ceilometern vom Typ CHM8k an die Firma G. Luft Mess- und Regeltechnik GmbH vergeben. Die Installation hatte Mitte 2020 begonnen und wurde Ende 2021 abgeschlossen. Eine weitere Ausschreibung zum Ersatz der konventionellen Windmessgeräte (Schalensternanemometer und Windfahne) gewann die Firma Adolf Thies GmbH & Co. KG, an sie wurde der Auftrag für die Lieferung von Ultraschall-Anemometern des Typs Ultrasonic Anemometer 2D compact vergeben. Mitte bis Ende 2023 sollen 90 Windmessgeräte an den internationalen Verkehrsflughäfen ersetzt werden. Darüber hinaus wurden einheitliche Kamerasysteme zur Wetterüberwachung für alle 16 internationalen Verkehrsflughäfen beschafft, die im gleichen Zeitrahmen nach einer Interimslösung an ihren endgültigen Standorten auf dem Flughafengelände installiert werden sollen.



◀ Ultraschall-Anemometer vom Typ Ultrasonic Anemometer 2D compact



▶ Upper Air Significant Weather Chart für die UAC Centers Karlsruhe und Maastricht mit Angabe der signifikanten Wettererscheinungen nach ICAO Annex 3 für den oberen Luftraum (Konvektion, Turbulenz, Vereisung und Gebirgswellen), Beispiel vom 17. August 2021, 16:00 UTC

4 Innovation und Entwicklung

4.2 Flugwettervorhersage und -warnung

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. 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 (sog. 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) 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 Frühjahr 2021 wurden das deterministische Ausschnittsmodell COSMO-D2 und das Ensemble-Vorhersagesystem COSMO-D2-EPS durch ICON-D2 (deterministisches Ausschnittsmodell auf ICON-Basis mit einer Maschenweite von 2,1 km und 65 Schichten) und ICON-D2-EPS ersetzt. Das Modellgebiet (Deutschland und Anrainerstaaten) und die Spezifikationen entsprechen denen des SINFONY Rapid Update Cycle. Alle 3 Stunden werden ICON-D2 und ICON-D2-EPS (mit mindestens 20 Ensemble-Members) zukünftig bis 48 h in die Zukunft rechnen. Diese Modellumstellung wird die Qualität der deutschen Vorhersage für alle Vorhersageparameter weiter steigern.

Integriertes Vorhersagesystem SINFONY

Zur Schließung der »methodischen Lücke« zwischen dem speziell für die Flugmeteorologie 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« Kurzzeitvorhersage (2 bis 12 Stunden im Voraus) werden zurzeit im Deutschen Wetterdienst struktur- und modellbasierte Lösungsansätze verfolgt. Die Kombination beider Paradigmen würde 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. Mit dem ambitionierten Pilotprojekt SINFONY (Seamless INtegrated FOrecastINg sYstem) stellt sich der Deutsche Wetterdienst weiterhin der wissenschaftlich-technischen Herausforderung, ein »Integriertes Vorhersage-System« aufzubauen.

Radarbasierte Detektion von Niederschlägen und Konvektion

Die auf Radarmessungen basierenden Verfahren zur Niederschlagsklassifikation (Hydrometeore) bieten insbesondere für die meteorologische Sicherstellung der Luftfahrt ein enormes Steigerungspotenzial. Zur Niederschlagsklassifikation auf Radarstrahlhöhe werden hierfür im Verfahren Hymec dual-polarimetrische Radardaten mit Daten der NWV kombiniert. Die Berücksichtigung von Phasenübergängen unterhalb des Radarstrahls im Bereich der Grenzschicht spielt insbesondere im Winter eine große Rolle, um eine korrekte Niederschlagsklassifikation in Bodennähe zu erreichen. Dieser Aspekt wird im nach-

gelagerten Verfahren HymecNG adressiert. Hierbei werden Vertikalprofile von Temperatur und Feuchte aus der NWV mit in-situ Messungen verfeinert und Phasenübergänge aufgrund von empirisch bestimmten Schwellenwerten abgeschätzt.

Im Berichtsjahr wurde neben der verbesserten Behandlung nicht-meteorologischer bzw. unplausibler Radarsignaturen und einiger Schwellenwertanpassungen die Detektion von Graupel verbessert. Bisher häufig aufgetretene Fehlklassifikationen von schmelzendem Schnee als Graupel vor allem im oberen Bereich der Schmelzschicht aufgrund sehr ähnlicher dual-polarimetrischer Radarsignaturen konnten durch die zusätzliche Berücksichtigung von 3D-Radar-Volumendaten erheblich reduziert werden. Die genannten Änderungen wurden im Berichtsjahr entwickelt und getestet und im Januar 2022 in die operationelle Version überführt.

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 **KON**vektive Entwicklung in **RAD**arprodukten) sind die Erhöhung 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 und stehen dem AutoMETAR-Teilprojekt AutoKON, dem integrierten Vorhersagesystem SINFONY sowie im meteorologischen Visualisierungs- und Produktionssystem NinJo zwecks Evaluierung zur Verfügung.

Im Berichtsjahr wurden folgende Anpassungen und Erweiterungen am KONRAD3D-System implementiert:

- ▶ Einführung sogenannter Vertikalchecks: Im Bereich einer detektierten Zelle wird jede vertikale Säule der Zelle über einem Pixel des unterliegenden Gitters auf ausreichende vertikale Ausdehnung und genug Niederschlagswasser (»Gitter-VIL«, **vertically integrated liquid**) untersucht. Bereiche mit zu geringer vertikaler Ausdehnung oder zu wenig VIL werden vom Algorithmus entweder entfernt oder die gesamte Zelle wird als Fehldetektion eingestuft und gelöscht. Ziel ist es, Fehl-Erkennungen z. B. durch Radarechos an Schiffen, Windenergieanlagen oder durch Bright-Band-Effekte sowie starke stratiforme Niederschläge zu vermeiden.
- ▶ Anpassung der Berechnung verschiedener Zellattribute wie VIL, Starkregenwarn-Flag und Böenwarn-Flag mit dem Ziel, in früheren Versionen aufgetretene Überschätzungen zu vermeiden.
- ▶ Tuning der Parameter des Kalman-Filter-Modells zur Stabilisierung der Vorhersage-Tracks langsam ziehender Zellen und von Zellen mit rasch variierender Form oder rasch variierendem geometrischen Zentrum (**centroid**).
- ▶ Tuning der Parameter zur Bestimmung des Zellschweregrades.

NowCastMIX-Aviation

Im Jahr 2021 wurde begonnen, das Verfahren durch Informationen über die vertikale Mächtigkeit der detektierten Gewitterzellen sowohl aus Satellitenmessungen als auch aus zusätzlichen Radar-Volumendaten zu ergänzen. Diese Erweiterung wird im Jahr 2022 zu einem Prototypen führen, der den Flugsicherungsorganisationen DFS Deutsche Flugsicherung GmbH und Euro-control MUAC zum Testen zur Verfügung gestellt werden soll, mit dem Ziel, gegen Ende 2022 in den Routinebetrieb zu gehen.

NowCastSAT-Aviation: Satellitenbasiertes Nowcasting für Konvektion

Der Deutsche Wetterdienst entwickelt Nowcasting-Produkte, um die Entstehung konvektiver Ereignisse wie Schauer und Gewitter schon 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 an. NowCastSat leistet die Erkennung und Vorhersage von konvektiven Zellen verschiedener Schwerestufen im Kurzzeitbereich über ganz Europa und auch weltweit. 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, wird seit 2021 in enger Kooperation mit der Lufthansa Systems an einer operationellen Visua-

lisierung der Daten im Cockpit gearbeitet, mit dem Ziel, diese Entwicklungen im Jahr 2022 abzuschließen.

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.

Die Vorhersagbarkeit von Turbulenzen wird durch energieintensive Strömungsmuster beeinflusst, die deutlich kleiner sind als die horizontale Rasterskala der aktuellen numerischen Wettervorhersagemodelle. Im Jahr 2021 wurden die Arbeiten zu einem Turbulenz-Nowcasting auf Satellitenbasis abgeschlossen. Als Resultat steht ein prototypischer Algorithmus für die vollständige »Meteosat-Scheibe« (zweidimensionaler, kreisförmiger Abbildungsbereich der Erdoberfläche mit dem Subsatellitenpunkt im Zentrum) zur Verfügung. 2022 werden diese Arbeiten fortgesetzt, um im Folgejahr ein erstes Test-Produkt anbieten zu können.

ADWICE: Weiterentwicklungen in der Vereisungsvorhersage

Der DWD nimmt mit seinem ADWICE-Produkt weiterhin eine Spitzenstellung in Europa ein. Sein Output umfasst nun auch georeferenzierte ADWICE-Polygone. Auf Basis der der ICICLE-Messkampagne (**In-Cloud ICing and Large-drop Experiment**) wurden im Berichtsjahr Schwerpunkte der Weiterentwicklung spezifiziert und mit deren Umsetzung begonnen, die im Spätjahr 2022 vollendet sein soll.

Toptherm - Thermikverhältnisse für den Segelflug

Das Postprocessing-Verfahren Toptherm dient der Vorhersage der Thermikverhältnisse für den Segelflug in Mitteleuropa. Dazu nutzt es Daten des ICON-EU-Modells, des synoptischen Messnetzes und des DWD-Radarverbundes. Änderungen im Stationskollektiv des synoptischen Messnetzes werden regelmäßig in Toptherm eingepflegt. Gravierende Änderungen in der Verfügbarkeit synoptischer Messungen gab es im Berichtsjahr im Messnetz von Meteo France. Bisher nutzte Toptherm die Daten von 135 synoptischen Messstationen von Meteo France, die zum großen Teil kostenpflichtig waren. Seit Juli 2021 können nun die Messungen von über 1500 Meteo-France-Stationen genutzt werden, die dem DWD im Rahmen einer bilateralen Vereinbarung kostenlos auch für andere Anwendungen zur Verfügung stehen. Im Zuge der Modellpflege wurde 2021 auch die Zuordnung der Synop-Stationen der anderen nationalen Messnetze aktualisiert.

Lightning Potential Index für europaweites Modellgebiet

Der Lightning Potential Index (LPI) ist ein Parameter, 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 ist der LPI in den deutschen Vorhersagemodellen COSMO-D2 bzw. ICON-D2 implementiert. Neu ist, dass der LPI nun auch für ICON-EU verfügbar ist, ohne dass die Konvektion direkt aufgelöst wird. Die zur Berechnung nötigen Eigenschaften des Updrafts werden hierbei aus der Konvektionsparametrisierung abgeleitet. Das ICON-EU rechnet seine Vorhersagen auf einem wesentlich größeren Modellgebiet als das ICON-D2, d. h. der LPI steht jetzt europaweit und räumlich nahtlos zur Verfügung.

Projekt AutoMETAR

Im Projekt AutoMETAR werden von April 2014 bis Mai 2022 die technischen, regulatorischen und operativen Voraussetzungen für eine Einführung vollautomatischer Flugwetterbeobachtungen (METAR, MET REPORT und SPECIAL), gemäß ICAO Annex 3 und Doc 9837 AN/454, geschaffen und an den internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland umgesetzt. Dabei werden die Produkte MET REPORT und SPECIAL eingeführt und im Gegenzug auf SPECI-Meldungen verzichtet. Um die erforderliche Evaluierungsphase zu ermöglichen, wurde parallel zum operativen Betrieb ein quasi-operationeller Testbetrieb eingerichtet, welcher in Echtzeit die Ergebnisse des vollautomatischen Systems ermittelt.

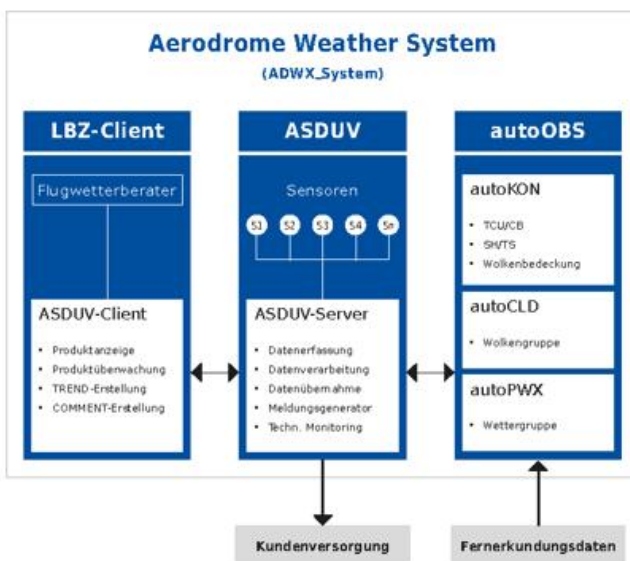
Die vollautomatischen Flugwetterbeobachtungen und -meldungen werden an den internationalen Verkehrsflughäfen durch das neu entwickelte Aerodrome Weather System (ADWX_System) erzeugt, das aus den drei Komponenten ASDUV, LBZ-Client und autoOBS besteht. ASDUV (Automatisches System zur Datenerhebung und -ver-

breitung), das lokale Datenerfassungssystem an den Flughäfen, erfasst Sensormesswerte und erzeugt und verbreitet Flughafenwettermeldungen. Der LBZ-Client stellt ein Terminal zur Anzeige von Messwerten und Meldungen aus ASDUV und autoOBS dar und ermöglicht die Erstellung von TREND- und COMMENT-Meldungen durch das Flugwetterberatungspersonal. Das autoOBS-System fusioniert Fernerkundungsdaten und durch ASDUV erfasste Messwerte zu Beobachtungen der Bewölkung und des gegenwärtigen Wetters. In autoOBS kommen die Teilverfahren autoKON zur Erkennung konvektiver Wetterelemente, autoCLD zur Ableitung von Bewölkungsinformationen und autoPWX zur Bestimmung des aktuellen Wetters zum Einsatz. Nach mehrjähriger Entwicklungszeit wurde der für den Routinebetrieb benötigte Qualitätsstand erreicht.

Alle Bestandteile des ADWX-Systems sind redundant ausgelegt und bereits seit Mitte 2019 läuft das vollautomatische ADWX-System nebst



▲ Das CHM8k (G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH) ist ein modernes Ceilometer, das auf Lidar-Basis Rückstreuprofile misst, aus denen bis in eine Höhe von 8 Kilometern Wolkenuntergrenzen für bis zu drei Wolkenschichten werden können.



▲ Das Aerodrome Weather System (ADWX-System) besteht aus den drei Komponenten LBZ-Client, ASDUV und autoOBS und dient zur vollautomatischen Erzeugung von Wettermeldungen für die Luftfahrt.

prozessorientiertem Monitoring mit kontinuierlicher Überwachung im Probebetrieb stabil. Der gesamte Produktionsprozess sowie alle technischen Komponenten werden durch den Meteorologischen Leitstand überwacht. Die operationelle Einführung des ADWX-Systems erfolgt stufenweise seit Anfang 2022. Die Abbildung links zeigt schematisch das Aerodrome Weather System mit seinen Komponenten und deren Funktionen.

Schließlich wurde im Bereich der meteorologischen Messtechnik die im Jahr 2020 begonnene Installation von Laser-Wolkenhöhenmessern (Luft CHM8k) und Hageldetektoren vollendet, ihre Überführung in den Routinebetrieb soll 2022 erfolgen.

SESAR-Projekte

► Implementierungsprojekt System Wide

Information Management (SWIM) Governance

SWIM besteht aus der Definition von Standards, Infrastrukturen und Unternehmensführung (Governance), die das Management von ATM-Informationen und deren Austausch zwischen qualifizierten Parteien über interoperable Dienste unterstützen. Der DWD beteiligt sich in diesem Projekt als Partner im Namen von EUMETNET bei der Definition von Regelwerken, der zukünftigen Organisation und den Entscheidungsprozessen, rechtlichen und finanziellen Aspekten sowie den gemeinsamen Komponenten, etwa dem SWIM-Register. Das Projekt wurde bereits im Sommer 2020 abgeschlossen. Eine Überführung in die Praxis konnte nicht abschließend durchgeführt werden, da es zwischen den Beteiligten Unstimmigkeit über die Struktur der Einbettung gibt. Derzeit wird die Thematik im Rahmen von Veranstaltungen weiterverfolgt, die vom SESAR Deployment Manager, EUROCONTROL und der A6 Alliance durchgeführt werden.

► Implementierungsprojekt European MET

Information Exchange (MET-GATE)

Das Projekt MET-GATE wurde im vergangenen Jahr erfolgreich abgeschlossen. Ziel war die operationelle und vereinheitlichte Bereitstellung von MET-SWIM-Services, vor allem für die harmonisierten Produkte aus den beiden anderen Implementierungsprojekten (Adverse Weather und

3D Radar). Dabei wurden SWIM Services im Schema Publish-Subscribe (Push) und Request-Reply (Pull) realisiert. Die über diese Schnittstellen verfügbaren Daten umfassen unterschiedliche Datenarten, z. B. OPMET-Daten im IWXXM-Format, Rasterdaten wie z. B. harmonisierte Modellvorhersagen in GRIB2- oder NetCDF-Format oder Fernerkundungsdaten. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Integration der entwickelten Lösung in die vorhandene operationelle Infrastruktur des DWD. Im Rahmen von MET-GATE wurde die Interoperabilität der implementierten SWIM Services mit der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH getestet, darüber hinaus fand eine Validierung auf Standardkonformität auch gemeinsam mit EUROCONTROL statt. Die durch den DWD bereitgestellten Dienste sind in der EUR-SWIM Registry¹ beschrieben und veröffentlicht. Hier finden Nutzer die notwendigen Informationen, um sich für diese Services zu registrieren und sie in ihre Prozesse und Schnittstellen integrieren zu können.

► Implementierungsprojekt SESAR European

Harmonized Forecasts of Adverse Weather (Icing, Turbulence, Convection and Winter Weather)

Der prä-operationelle Betrieb der harmonisierten Vorhersageprodukte für signifikante Wettererscheinungen, wie Vereisung, Turbulenz, starke Konvektion und Winterwetterereignisse wurde sukzessive in den Quasi-Routinebetrieb überführt. Aus den Rasterdaten werden Polygone erzeugt, die auf das Integrationssystem des DWD-Geoservers abgelegt werden.

¹ EUR-SWIM Registry, betrieben von EUROCONTROL: <https://eur-registry.swim.aero/home>

► **Implementierungsprojekt SESAR European Weather Radar Composite of Convection Information Service**

Innerhalb dieses SESAR-Implementierungsprojektes arbeiten Met Office, Météo-France und DWD gemeinsam an der Inbetriebnahme verschiedener, auf Daten des Radar-Volumenscans basierender Verfahren, wie z. B. der Realisierung dreidimensionaler Konvektionsprodukte. Entsprechende Systeme sind beim Met Office und bei Météo-France eingerichtet und im Berichtsjahr in Betrieb genommen worden. Sie liefern radarbasierte Wettervorhersage- und Überwachungsprodukte für ganz Europa sowie in hochauflösender Form für den zentralen Bereich Westeuropas.

► **Met4Airports: Meteorologische Impaktvorhersagen zu kollaborativen Entscheidungsprozessen**

Das Projekt Met4Airports hat zum Ziel, Entscheidungen und Abläufe in Prozessen des **Airport Collaborative Decision Making (A-CDM, kollaborative Entscheidungsfindung)** im Bereich der Flugsicherung und am Beispiel der internationalen Verkehrsflughäfen München und Frankfurt durch Integration meteorologischer Daten zu optimieren. Dazu wird ein auf Künstlicher Intelligenz basierender Algorithmus zur Verknüpfung von Daten über Betriebseinschränkungen in Flugsektoren und an den Flughäfen mit meteorologischen Daten entwickelt. Mit diesem Verfahren sollen Zusammenhänge erkannt, quantifiziert und in wetterbedingte Impact-Vorhersagen von Kapazitätsengpässen oder Verspätungen umgesetzt werden. Bislang werden im A-CDM meteorologische Daten und Verkehrsfluss-Informationen meist rein kognitiv verknüpft um daraus Entscheidungen abzuleiten. Diese Impact-Vorhersagen können dazu beitragen, Entscheidungsprozesse beim operativen Personal effektiver und effizienter zu gestalten. 2021

wurden verschiedene Anwendungsfälle und die Zielgrößendarstellung beschrieben sowie die Daten zum Trainieren des KI-Verfahrens bereitgestellt. Das Projekt Met4Airports wird vom mFUND Förderprogramm des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) getragen.



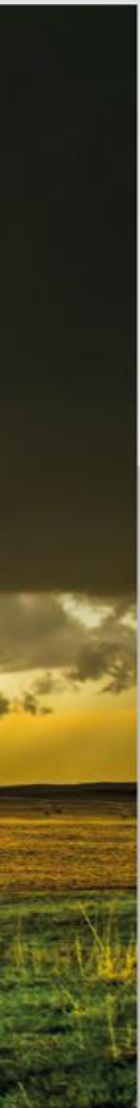
▲ © Martin Wieczorrek, DWD: Digitales Cockpit eines modernen Sportflugzeuges



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

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 Zerstörungspotenzial 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.



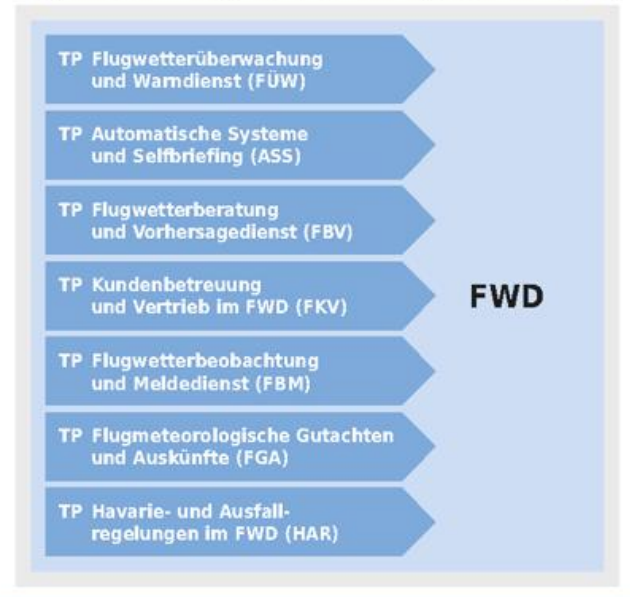
Qualitätsmanagement

Die gesamte Geschäftstätigkeit des Deutschen Wetterdienstes ist prozessorientiert, dabei wurden drei Strategische Prozesse (SP) mit direkten Schnittstellen nach außen etabliert, und zwar Datengewinnung, Wettervorhersage sowie Klima- und Umweltservices. Der Prozess Flugwetterdienst (FWD) ist in den Strategischen Prozessen Wettervorhersage (WS) eingebettet und gliedert sich in aufgabenbezogene Teilprozesse (TP) und diese wiederum in Unterteilprozesse. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass im Berichtszeitraum die Prozesslandschaft trotz der Umorganisation des Geschäftsbereiches Wettervorhersage unverändert blieb, d. h., dass die »alten« Managementprozesse Land-See-Wetterdienst (LSW) und Flugwetterdienst (FWD) sowie deren Teilprozesse fortexistierten.

Die Definition der Prozesse, also deren Zweck, Ziele, Randbedingungen, Wechselwirkungen und Risiken ist in Prozessbeschreibungen hinterlegt, weitere Details finden sich in mitgeltenden Dokumenten, wie z.B. in den Verordnungen und Betriebsvorschriften Nr. 7 (VuB 7) oder Notfallplänen. Die prozessorientierte Arbeitsweise im alltäglichen Dienstbetrieb unterliegt der Supervision von Prozessverantwortlichen, die sich auch um Bestand, Pflege und Weiterentwicklung von Prozessdokumenten kümmern. Die Datengewinnung sowie die Vermittlung der Flugwetterprodukte an unsere Kunden erfolgt über verschiedene Schnittstellen, die durch weitere spezifisch ausgerichtete, verbundene Prozesse definiert sind. Selbstverständlich stellen umfangreiche Havarie- und Ausfallregelungen die kontinuierliche und qualitativ hochwertige Dienstleistung auch bei Störfällen sicher.

Zur regelmäßigen Überprüfung der Zielerreichungsgrade und Steuerung der Prozessabläufe dienen die gemäß der ISO-Normen definierten

Teilprozesse des Managementprozesses Flugwetterdienst (FWD)



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. 373/2017 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 Nachweise bringung dementsprechend erweitert werden mussten. Die Zertifizierung gemäß der DIN-EN-ISO-9001-Qualitätsstandards wurde vom DWD auch 2021 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 DWD.

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. 550/2004 i. V. m. (EG) Nr. 1070/2009, (EU) Nr. 2018/1139 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 DWD.

Gefahrenabwehrmanagement

Der DWD betreibt ein Gefahrenabwehrmanagement nach den Vorgaben der DVO (EU) Nr. 2017/373. Die Verantwortung für das Gefahrenabwehrmanagement trägt der Vorstand des DWD. 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 DWD 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 Termintreue 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 Prognose für größere Flugplätze, deren Form und Inhalt in ICAO-Richtlinien festgelegt sind. Der TAF enthält Windrichtung und -geschwindigkeit, Sichtverhältnisse, 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 signifikanten Abweichungen der Wetterentwicklung von den Prognosen amendiert. Verifikationen dieser Flughafenvorhersagen – kurz TAF-Verifikationen – sind Kernbestandteil der Qualitätsmanagementsysteme moderner Flugwetterdienste.

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 Flugwetterberatung und Vorhersagedienst (FBV)/Teil 2 - Flugwettervorhersage messen zu können, werden für die internationalen Flughäfen Deutschlands im Rahmen eines MET-Alliance-Projektes (siehe Kapitel 1.2) halbjährlich TAF-Verifikationen durchgeführt. Die nachstehende 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.

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.

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 2021 und das Winterhalbjahr 2021/22

Parameter (Kennung)	Soll-Wert	KPI Sommer 2021 (Sommer 2020)	KPI Winter 2021/22 (Winter 2021/22)
Sichtweite (VIS)	≥ 0,30	0,42 (0,41)	0,46 (0,47)
Ceiling (CLD)	≥ 0,30	0,52 (0,51)	0,57 (0,59)
Signifikantes Wetter (WX)	≥ 0,30	0,50 (0,49)	0,46 (0,45)
Windrichtung (DD)	≥ 0,80	0,99 (0,99)	1,00 (1,00)
Windgeschwindigkeit (FFD)	≥ 0,90	0,99 (0,92)	1,00 (1,00)
Böen (FFXD)	≥ 0,90	0,94 (0,94)	0,96 (0,97)

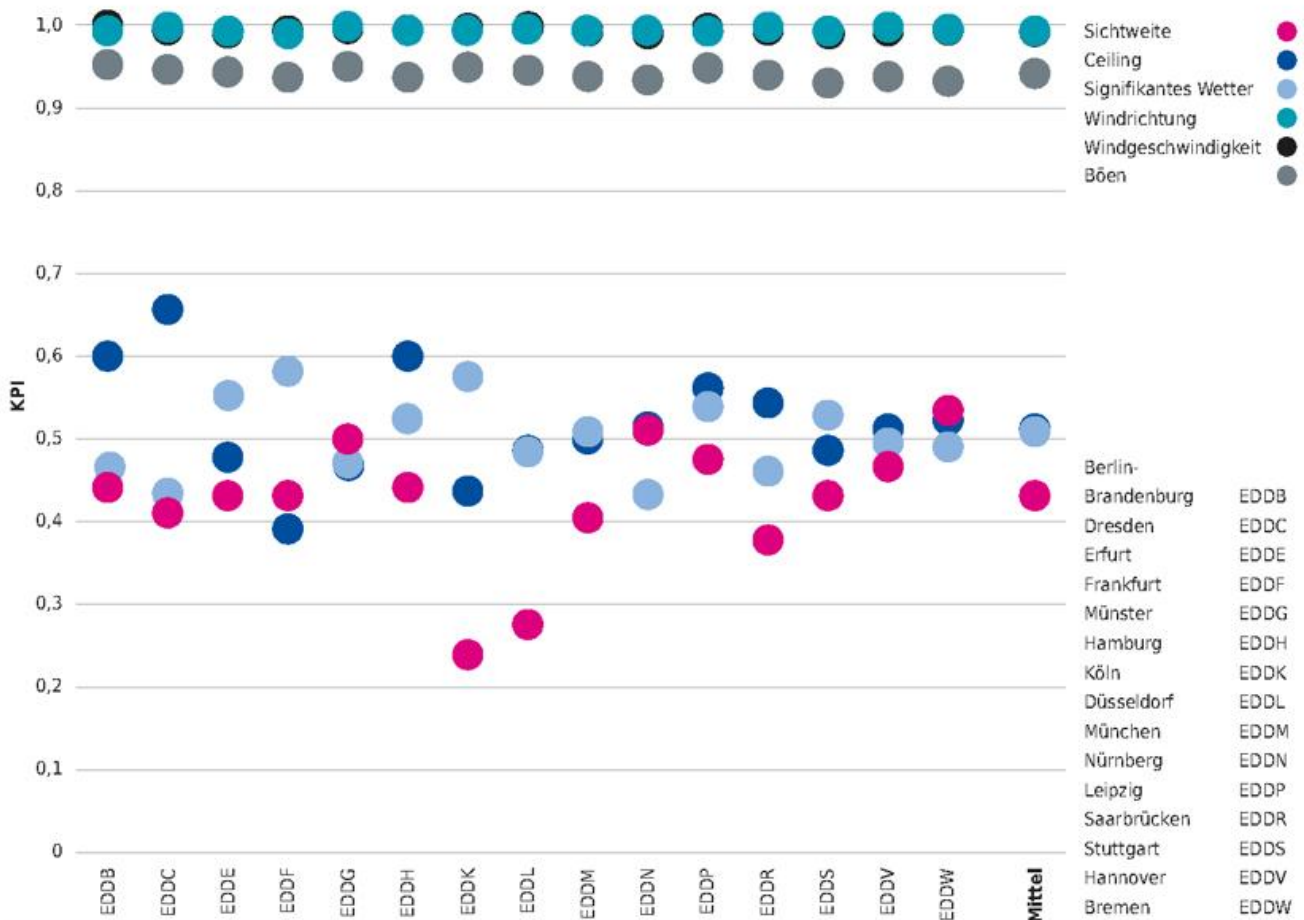
Die in der obigen Tabelle dargestellten KPI-Mittelwerte über alle 15 Verkehrsflughäfen mit internationalem Betrieb in Deutschland für das Sommerhalbjahr 2021 und das Winterhalbjahr 2021/22 zeigen, dass die Sollwerte der Terminal

Aerodrome Forecasts (TAF) bei allen Parametern erreicht wurden und bis auf die Sichtweite im Sommer auch die Zielwerte. Der Vergleich zum Vorjahr zeigt keine markanten Veränderungen.



▲ Cirrostratus-Bewölkung mit Sonnenhalo

TAF-Verifikation deutscher internationaler Verkehrsflughäfen für den Zeitraum April bis September 2021 (Sommerhalbjahr), d.h. MET-Alliance-KPI der ersten 9 Stunden für alle meteorologischen Parameter



Die beiden Streudiagramme bieten einen Überblick über die TAF-Verifikationsergebnisse an den einzelnen Flughäfen für die Sommer- und die Wintersaison.

Im Sommerhalbjahr 2021 wird fast durchgängig eine ausreichende bis gute Vorhersagequalität erreicht. Die KPIs der Windprognosen sind ausgezeichnet, diejenigen für Wetter und Ceiling (Untergrenze der tiefsten Wolken) unproblematisch. Bei der Sichtweite gibt es Verbesserungspotenzial am Flughafen Köln/Bonn (EDDK) sowie am Flughafen Düsseldorf (EDDL). Im Falle EDDK traten kaum Sicht(weit)en unter 1500 m auf, bei EDDL wenige

unter 800 m. Bei dieser geringen Anzahl von Fällen gab es kaum Treffer, dafür relativ viele Fehlalarme und auch verpasste Ereignisse.

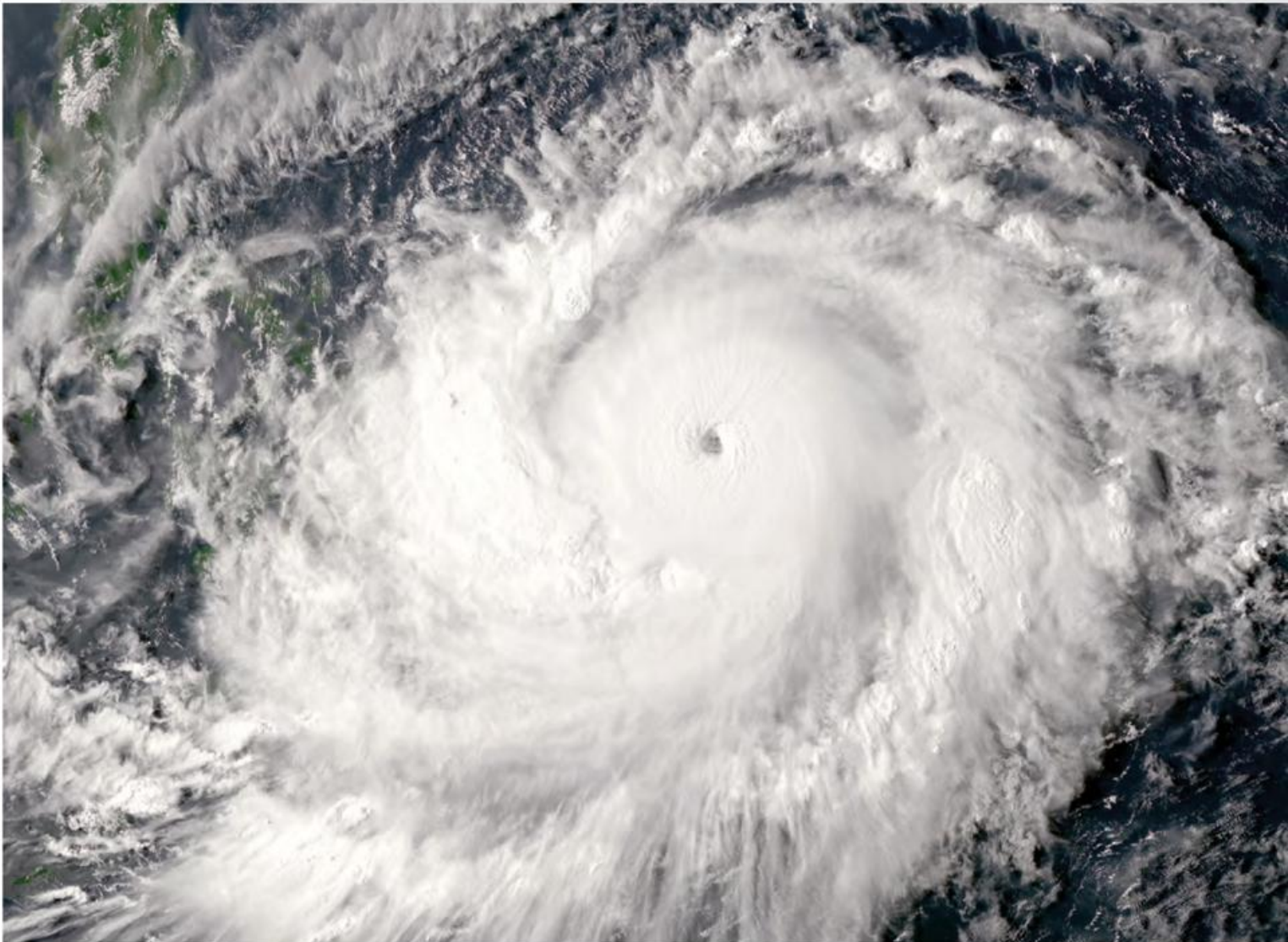
Auch die Auswertung des Winterhalbjahres 2021/22 zeigt fast durchgängig eine ausreichende bis gute Vorhersagequalität. Die KPIs der Windprognosen liegen im Zielbereich, diejenigen für Wetter und Ceiling (Untergrenze der tiefsten Wolken) im Sollbereich. Bei der Sichtweite gibt es weiterhin Verbesserungspotenzial für den Flughafen Köln/Bonn (EDDK). Dort traten selten Sichtweiten unter 3.000 m auf und durch die geringe Fallzahl sowie die gleichzeitige »Über-

TAF-Verifikation deutscher internationaler Verkehrsflughäfen für den Zeitraum Oktober 2021 bis März 2022 (Winterhalbjahr), d.h. MET-Alliance-KPI der ersten 9 Stunden für alle meteorologischen Parameter



vorhersage« geringer Sichten gab es wenige Treffer, viele Fehlalarme, aber auch einige verpasste Ereignisse.

Wie diese kleine Auswertung zeigt, können wir durch routinemäßige Verifikation unserer Vorhersageergebnisse beobachteten Auffälligkeiten gezielt nachgehen und deren Ursachen beseitigen, unser Qualitätsmanagement wird sozusagen in jedem einzelnen flugmeteorologischen Parameter alltäglich »gelebt«.



© By NASA - <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=103818499>,
Super-Taifun SURIGAE östlich der Philippinen am 17.04.2021



Super-Taifun SURIGAE

SURIGAE war der stärkste tropische Wirbelsturm des Jahres 2021 und einer der mächtigsten seit Beginn der Aufzeichnungen. Er entstand am 12. April im Bereich der mikronesischen Inseln, verstärkte sich rasch und erreichte am 17. April als Super-Taifun seine höchste Intensität; und zwar bei einem Kerndruck von 895 hPa zehnteinütig andauernde Windgeschwindigkeiten von $220 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ und einminütig andauernde Windgeschwindigkeiten von $305 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Auf seiner fast 8.000 km langen Reise bis in den Nordpazifik verwandelte er sich in einen subtropischen Sturm, dann in eine außertropische Zyklone mit einem Comeback in Orkanstärke.

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 zugrunde gelegte 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 2021 betrugen die Gesamtkosten für den DWD 383.219 Tsd. EUR, wovon 25 % den Direct Costs und 75 % den Core Costs zugerechnet werden. Der prozentuale Anteil der Direct Costs an den Gesamtkosten DWD für das Abrechnungsjahr 2021 zum Vorjahr 2020 ist auf gleichbleibendem Niveau bei 25 %. Der prozentuale Anteil der

IFR Direct Costs an den DWD Direct Costs ist von 20,2 % in 2020 auf 21,0 % in 2021 leicht angestiegen.

Plan- und Ist-Kosten

Die Gesamtkosten des Flugwetterdienstes erhöhten sich für 2021 um knapp 10 % gegenüber der Vorjahressumme, nämlich von ca. 19,4 Mio. EUR im Jahr 2020 auf ca. 21,4 Mio. EUR im Jahr 2021, dementsprechend um etwa 2 Mio. EUR, welches hauptsächlich auf die gestiegenen Personalkosten zurückzuführen ist.

In nachstehender Zusammenstellung der Finanzergebnisse 2021 sind die Plan- und Ist-Zahlen des Flugwetterdienstes nach Kostenarten, IFR und VFR sowie nach den Anteilen des An-/Abfluges und der Strecke untergliedert dargestellt.

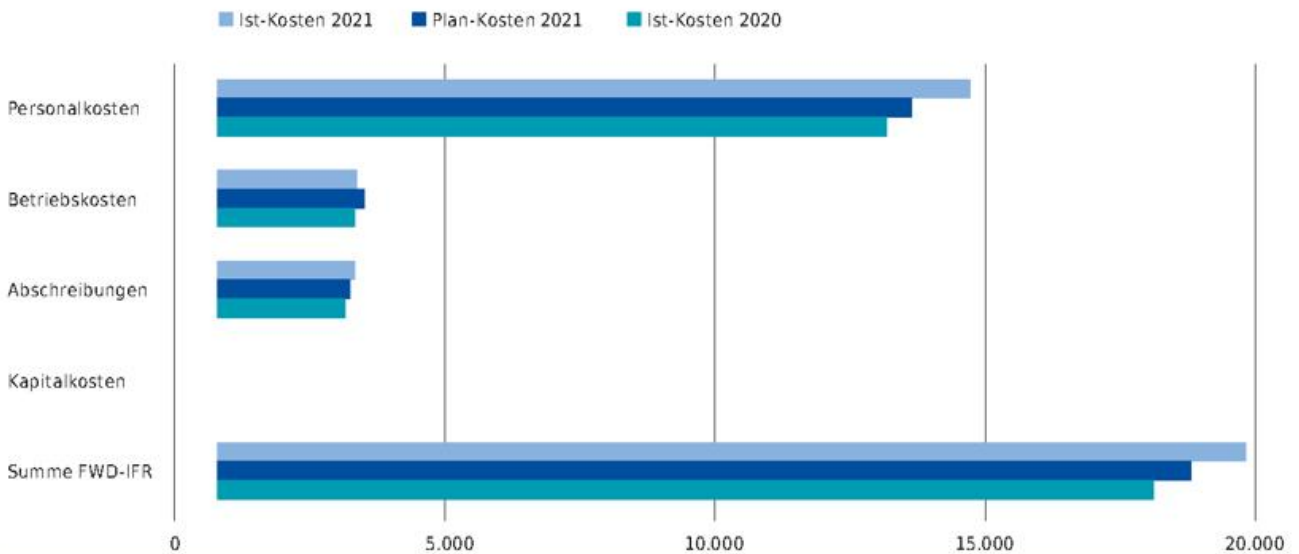
Der Vergleich zwischen den direkten Plan- und Ist-Kosten für das Berichtsjahr 2021 zeigt, dass insbesondere bei den Personalkosten höhere Ist-Kosten entstanden sind als ursprünglich geplant. Die direkten Ist-Personalkosten 2021 sind hierbei aufgrund der zu niedrig geplanten Kosten für Pensionsrückstellungen, bedingt durch die weiterhin anhaltende Niedrigzinspolitik, aber auch durch die höheren Urlaubsrückstellungen auf-

Kennzahlenauswertungen zu Direct Costs und Core Costs

	Ist 2020		Plan 2021		Ist 2021	
	Tsd. EUR	Anteil	Tsd. EUR	Anteil	Tsd. EUR	Anteil
Direct Costs und Core Costs des Deutschen Wetterdienstes (absolut und relativ)						
Direct Costs DWD	88.776	25 %	98.099	25 %	94.021	25 %
Core Costs DWD	264.105	75 %	290.135	75 %	289.199	75 %
Summe: (Gesamtkosten DWD)	352.880	100 %	388.234	100 %	383.219	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.)	17.814	20,2 %	18.569	19,8 %	19.624	21,0 %

FWD-Kosten »Ist« für 2020 sowie »Plan« und »Ist« für 2021 in Tsd. EUR			
Alle Kostenangaben in Tsd. EUR	2020 Ist	2021 Plan	2021 Ist
Summe IFR FWD	17.814	18.569	19.624
davon			
IFR An-/Abflug	5.321	5.456	5.709
IFR Strecke	12.493	13.112	13.915
Personalkosten IFR	12.766	13.244	14.358
davon			
An-/Abflug	3.813	3.892	4.177
Strecke	8.953	9.353	10.181
davon Kosten der Altersversorgung IFR	3.957	4.348	4.857
An-/Abflug	1.182	1.278	1.413
Strecke	2.775	3.070	3.444
Betriebskosten IFR	2.620	2.799	2.646
davon			
An-/Abflug	782	823	770
Strecke	1.837	1.977	1.876
Abschreibungen IFR	2.428	2.525	2.620
davon			
An-/Abflug	725	742	762
Strecke	1.703	1.783	1.858
Kapitalkosten IFR	0	0	0
davon			
An-/Abflug	0	0	0
Strecke	0	0	0
VFR-Kosten	1.591	1.659	1.753
FWD-Kosten gesamt	19.405	20.227	21.377
Anteil IFR an FWD	91,8 %	91,8 %	91,8 %
Anteil VFR an FWD	8,2 %	8,2 %	8,2 %
Anteil An-/Abflug an IFR	29,9 %	29,4 %	29,1 %
Anteil Strecke an IFR	70,1 %	70,6 %	70,9 %
DWD-Kosten gesamt	352.880	388.234	383.219
Anteil FWD an DWD gesamt	5,5 %	5,2 %	5,6 %
Anteil FWD-IFR an DWD gesamt	5,0 %	4,8 %	5,1 %
Anteil FWD-VFR an DWD gesamt	0,5 %	0,4 %	0,5 %

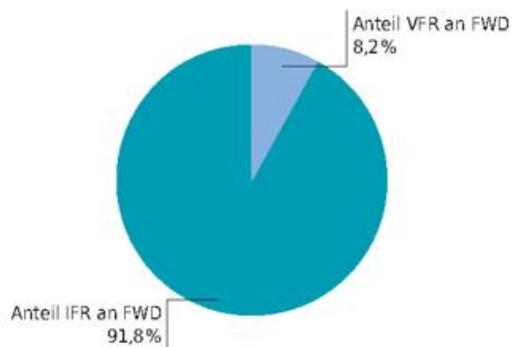
Vergleich der IFR-Plan- und Ist-Kosten für die Jahre 2020 bis 2021 in Tsd. EUR



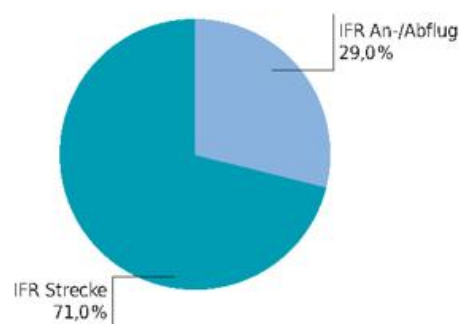
grund der COVID-19-Pandemielage, insgesamt ca. 1,1 Mio. EUR höher ausgefallen. Bei den Betriebskosten sind geringere direkte Ist-Kosten von ca. 150 Tsd. EUR durch zu hoch geplante direkte Vorleistungen für FWD-Produkte angefallen. Im Bereich der Abschreibungen wurde auch im Jahr 2021 ein Anstieg der Kosten um ca. 94 Tsd. EUR verzeichnet. Grund hierfür sind wie bereits im Jahr 2020 die zeitlichen Verschiebungen im Rah-

men der Beschaffungsmaßnahme zur Flughafen-Sensorik und die daraus gegenüber dem Planansatz für das Jahr 2021 entstandenen höheren Kosten. Die direkten Kapitalkosten sind durch die Entscheidung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (ehemals BMVI) innerhalb der Referenzperiode 3 nicht in Ansatz zu bringen, sodass auch für 2021 keine Kapitalkosten ausgewiesen werden. Insgesamt wird für den Bereich

Verteilung der FWD-Kosten auf IFR und VFR



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



der meteorologischen Kosten gegenüber dem Planansatz ein um ca. 1,1 Mio. EUR höheres FWD IFR Ist-Kostenergebnis für das Abrechnungsjahr 2021 ausgewiesen.

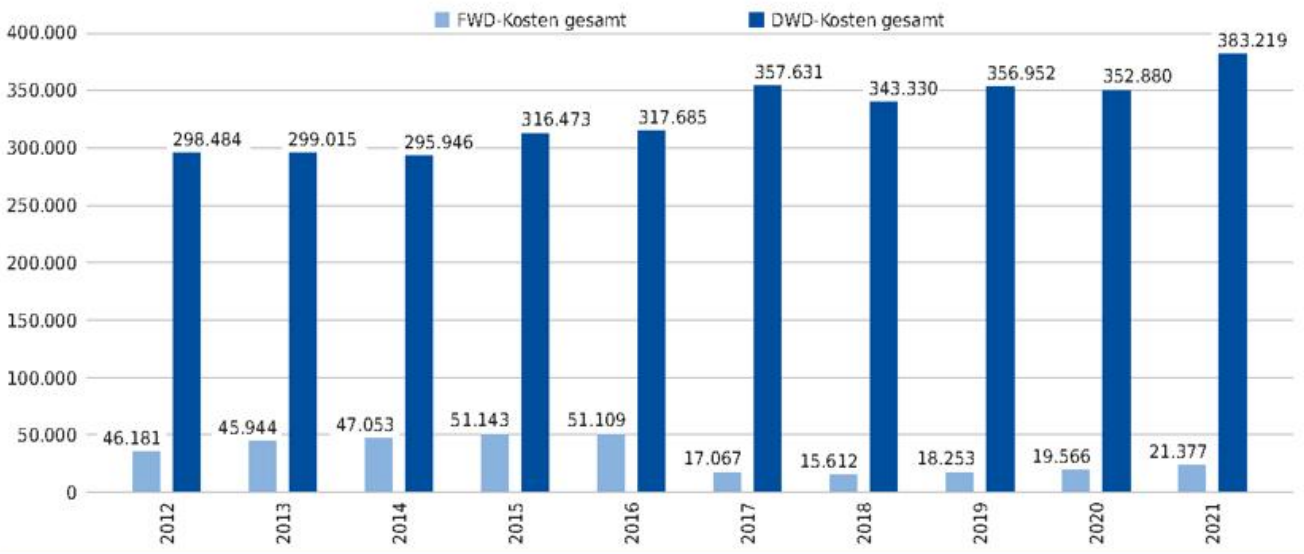
Für das Jahr 2021 wurden für den FWD direkte Ist-Kosten (Direct Costs) in Höhe von 19.624 Tsd. EUR ermittelt. Als Basis für die Ermittlung der IFR-/VFR-Anteile am Leistungsspektrum der flugmeteorologischen Sicherung der Luftfahrt durch den DWD dienen die erfassten Personalaktivitätsdaten. Diese mit dem BMDV (ehemals BMVI) abgestimmte Kostenbemessungsgrundlage für Flugsiche-

rungsgebühren 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 91,8 % vs. 8,2 %.

Ein Blick auf das Verhältnis von An-/Abflug zu Strecke zeigt, dass sich dieses in 2021 aufgrund stärkerer Inanspruchnahme der genutzten Kostenträgerleistungen im DWD in Richtung Strecke entwickelte und damit eine Verteilung auf An-/Abflug mit 29 % und auf Strecke mit 71 % erfolgte.

▼ Rettungshubschrauber »Christoph 2«

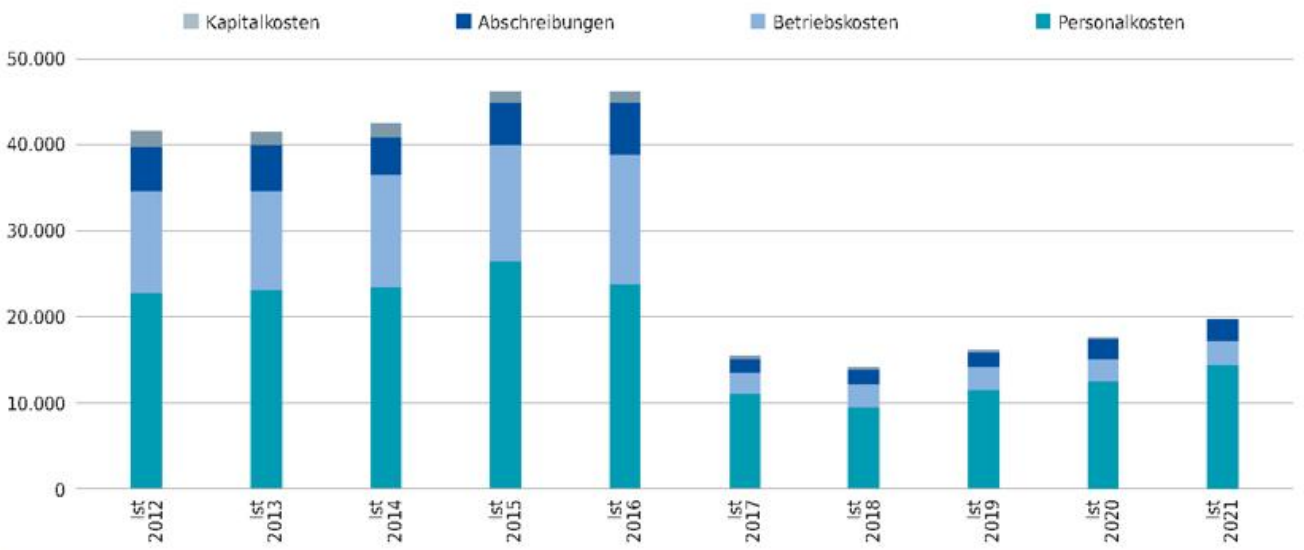


Entwicklung der Ist-Kosten für DWD und FWD seit dem Jahr 2012 in Tsd. EUR


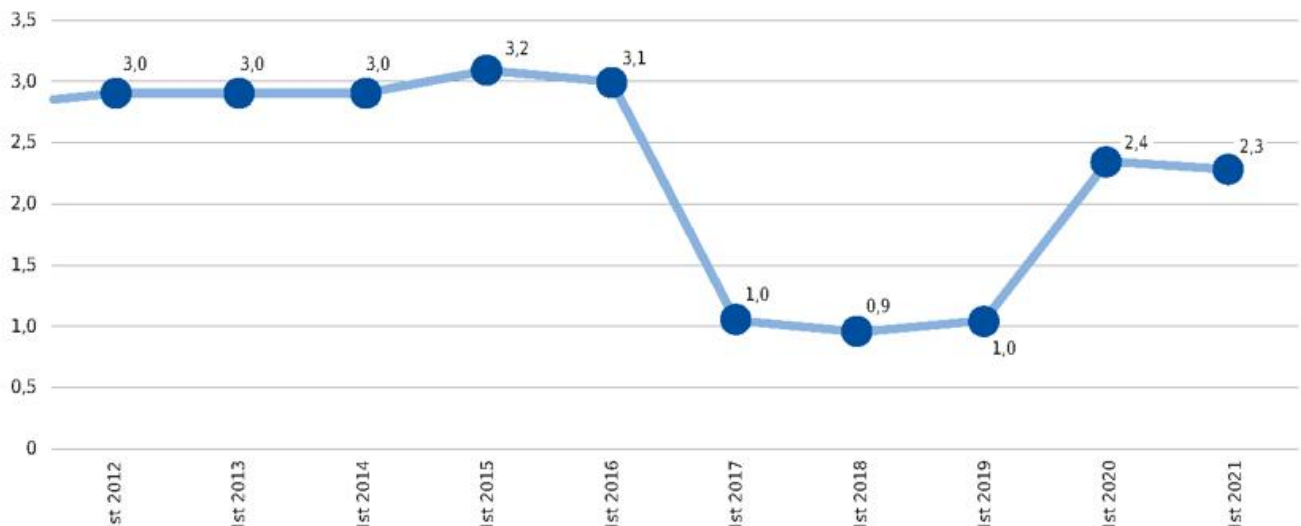
Kostenentwicklung

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,

wird die vorgenommene Kostensenkung im Bereich Flugwetterdienst aufgrund der Umstellung der Abrechnungssystematik auf Direct Costs ab dem Jahr 2017 sichtbar. Wie in der nachstehenden Grafik veranschaulicht, ist der Kostenanteil des

Entwicklung der FWD-Ist-Kosten für den Bereich IFR von 2012 bis 2021 in Tsd. EUR (seit 2017 Direct Costs)


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

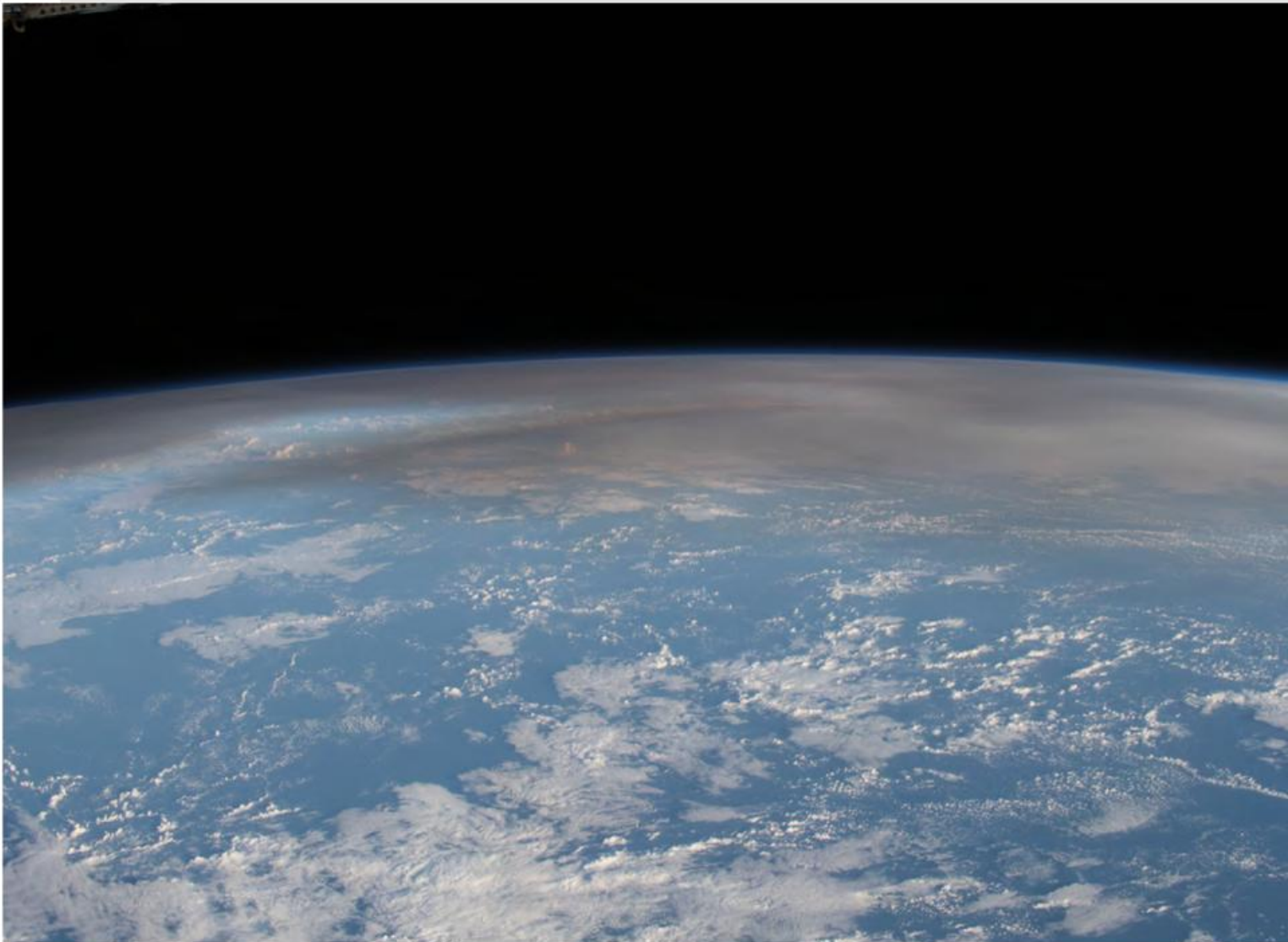


FWD an der Gesamtkostenbasis des DWD seit 2017 deutlich gesunken und beträgt im Jahr 2021 ca. 5,6 % bzw. 21.377 Tsd. EUR.

Auch bei der Kostenentwicklung der einzelnen IFR-Kostenarten zeigt sich diese Entwicklung. Hierbei ist der deutliche Rückgang der Kosten in allen Kostenkategorien in der folgenden Darstellungsgraphik zur Kostenentwicklung der FWD-IFR-Kosten über den Zeitraum 2012–2021 in seinen Einzelpositionen ablesbar. Den größten Kostenblock bei Abrechnung nach Direct Costs stellen die Personalkosten dar. Die Kostenkategorie der angefallenen Kapitalkosten werden für die gesamte Referenzperiode 3 wie schon zuvor beschrieben ab dem Abrechnungsjahr 2020 nicht mehr in der Flugwetterdienstabrechnung aufgeführt bzw. ausgewiesen.


Wirtschaftlichkeit

Die Entwicklung der sog. Service Unit Costs kann als Maß für die Wirtschaftlichkeit 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 Strecke zu verzeichnen. Ab dem Abrechnungsjahr 2017 sind die abrechenbaren Kosten für eine Service Unit bedingt durch die beschriebenen Maßnahmen zur Kostensenkung stark zurück gegangen. Seit dem Jahr 2020 ist die Wirtschaftlichkeit aufgrund der weltweit herrschenden COVID-19-Pandemielage und der damit deutlich zurückgegangenen Anzahl der Service Units bei etwa gleichbleibendem Kostenniveau enorm abgeschwächt worden. Die Kosten, die auf eine Service Unit entfallen, sind auch im Jahr 2021 mit ca. 2,30 EUR höher als vor dem Jahr 2020. Aufgrund der wieder leicht steigenden Anzahl von Service Units sind diese Kosten jedoch wieder leicht rückläufig.



© Von NASA / Kayla Barron - <https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/51832388069/>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=114624293>, Vulkanische Aschewolke in der Stratosphäre über der Tasmansee, aufgenommen am 16.01.2022 an Bord der Raumstation ISS

Vulkanische Asche



Vulkanische Asche sind sehr kleine Pyroklasten (< 2 mm) beliebiger Form und chemisch-mineralogischer Zusammensetzung, die infolge eines explosiven Ausbruchs eines Vulkans entstehen. Bei der Explosion des Unterwasservulkans Hunga Tonga im Januar 2022 wuchs eine bis zu 58 km hohe Eruptionswolke auf und gewaltige Mengen vulkanischer Asche gelangten in die Atmosphäre. Feinkörnige Vulkanasche stellt in größeren Konzentrationen eine gravierende Gefahr für den Luftverkehr dar, denn die Partikel sind hart, scharfkantig und können die Außenhaut, die Sensoren und die Triebwerke des Flugzeuges beschädigen.

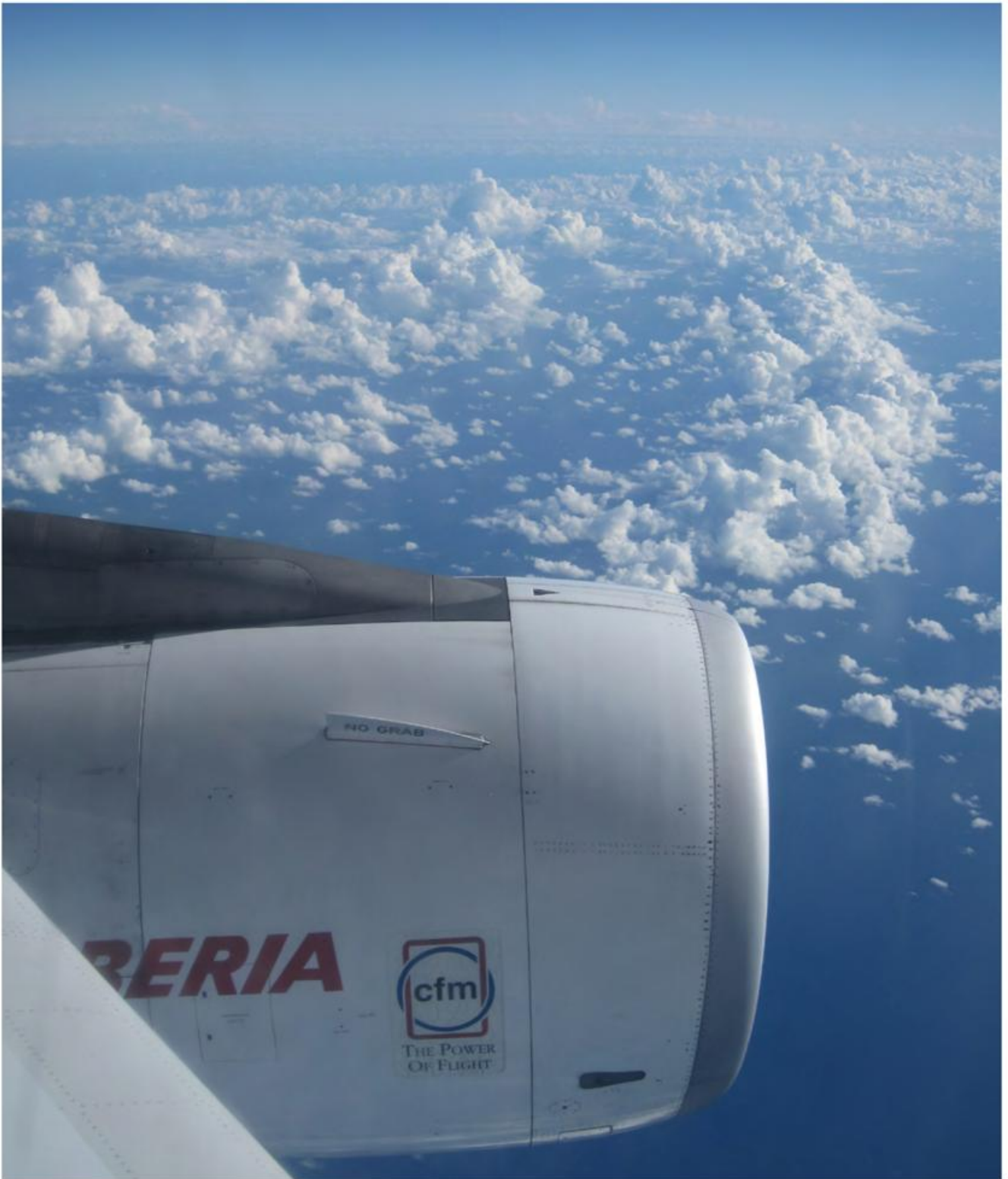
Was bringt die Zukunft?

Die Covid-19-Pandemie scheint vorerst ihren Schrecken verloren zu haben, der internationale Luftverkehr erholt sich zaghafte und die Branche fasst wieder Mut. Doch schon stehen neue Herausforderungen auf dem Plan. Jüngste weltpolitische Entwicklungen mit großem Einfluss auf den Energie- und Rohstoffsektor einerseits und der globale Wandel andererseits lenken den Blick auf Nachhaltigkeit und Klimaschutz. Fortschreitende Digitalisierung in Wirtschaft und Gesellschaft mit ihren Folgen für das Geschäftsleben und die Arbeitswelt gehen einher mit dem Zwang zur Kostenreduzierung sowohl in den Unternehmen als auch im Privaten. Kann sich der Luftverkehr je wieder so entwickeln wie vor Corona? Bleibt Fliegen für jedermann bezahlbar, oder ist es in Anbetracht aktueller Klimaveränderungen nicht sogar wünschenswert, weniger zu fliegen? Möglicherweise sieht die Zivilluftfahrt der Zukunft ganz anders aus, aber es wird sie geben und sie muss flugmeteorologisch betreut werden. Und zwar auf dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik.

Der DWD entwickelt und verbessert innovative Wettervorhersageverfahren und darauf basierende flugmeteorologische Produkte zur Integration in die Beratungsprozesse und Kundensysteme. Keine Wettervorhersage funktioniert ohne Wetterdaten, folglich gehört das Mess- und Beobachtungsnetz zu den Grundlagen eines jeden meteorologischen Dienstes. Im Bereich der Datengewinnung steht mit dem Abschluss des Projektes AutoMETAR die Automatisierung des Beobachtungsdienstes ganz oben auf der Agenda. Bei der Flugwettervorhersage spielen raum-zeitlich kleinskalige meteorologische Erscheinungen für die sichere und wirtschaftliche Flugdurchführung eine besondere Rolle. Daher werden den numerischen Vorhersagemodellen nachgeschaltete, erfolgversprechende

Anschlussverfahren etwa für Vereisung, Turbulenz, konvektive Phänomene, Luftbeimengungen (Aerosole, Stäube, Vulkanasche) sowie Modell-Output-Statistiken fortentwickelt und verbessert. Auf dem Gebiet der numerischen Wettervorhersage werden in näherer Zukunft zusätzliche Satellitendaten in die Datenassimilation der DWD-Modellkette einfließen. Geplant sind außerdem Verbesserungen in der räumlichen Auflösung der Modelle, d. h. Verringerung der Maschenweiten der Modellgitter sowie Erhöhung der Anzahl der Schichten in der Vertikalen. Eine besonders für den Flugwetterdienst interessante Perspektive ist die auf der Kombination von Radarmessungen und numerischen Modellergebnissen beruhende »nahtlose« Wettervorhersage (Seamless Prediction - DWD-Projekt SINFONY), die den unmittelbaren Nowcasting-Bereich (0 bis 2 Stunden im Voraus) mit der Kürzestfristvorhersage (2 bis 12 Stunden im Voraus) verbinden und methodische Diskontinuitäten vermeiden soll.

Nicht zuletzt müssen Dienstleistungen und Produkte auch beim Kunden ankommen, sei es nun im Cockpit oder beim Air Traffic Management. Auf verschiedenen Ebenen leistet der Deutsche Wetterdienst Betriebsunterstützung, sei es im großen Rahmen von Single European Sky oder konkret vor Ort, bei der Systemintegration flugmeteorologischer Informationen, und zwar sowohl aus technisch-organisatorischer als auch aus kommerzieller Sicht. Auch zukünftig wird der Deutsche Wetterdienst als Partner der Luftfahrt bereitstehen und die meteorologische Sicherstellung der Fliegerei qualitativ und quantitativ kontinuierlich verbessern.



▲ Im Airbus A340 über der Karibik

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

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

EPS	Ensemble Prediction System	ICON-D2-EPS	auf Deutschland und die nähere Umgebung genestetes ICON-NWV-Ensemble-Vorhersagesystem für den kurzfristigen Vorhersagebereich
EU	Europäische Union	ICON-EPS	Ensemble-basierte Version von ICON mit globaler Abdeckung
EUMETNET	European Meteorological Services Network	ICON-LAM	-Local Area Model, ICON mit hoher räumlicher Auflösung
EUR/NAT-Region	ICAO-Region Europa und Nordatlantik (u. a. inkl. Russland)	IFR	Instrument Flight Rules
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	INT	Stabsstelle Internationale Angelegenheiten des DWD
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	IT	Informationstechnologie
EZMW	Europäisches Zentrum für mittelfristige Vorhersagen	IWXXM	ICAO Meteorological Information Exchange Model
FAA	Federal Aviation Administration (Luftfahrtbehörde der USA)	JVEG	Justizvergütungs- und Entschädigungsgesetz
FAB	Functional Airspace Block (EC = Europe Central, IR = UK-Irland)	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	Luftfahrtberatzungszentrale
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 Hydrometeoren, d. h. von Niederschlägen	LuftVO	Luftverkehrsordnung
IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer	MAB	Meteorological Airport Briefing
ICAO	International Civil Aviation Organization	MET	Meteorological Services im jeweiligen Zusammenhang
ICAO EUR/NAT	europäische Regionalgruppe der ICAO	MET-GATE	European MET Information Exchange (SESAR-Projekt)
ICICLE	In-Cloud ICing and Large-drop Experiment	MET Alliance	Verbund aus neun europäischen Flugwetterdiensten
ICON	ICOsahedral Nonhydrostatic (aktuelle Modellfamilie des DWD)	METAR	Flugplatzwettermeldung; frz. - Météorologique Aviation Régulière, engl. - Aviation Routine Weather Report
ICON-ART	Version des ICON-Modells zur Prognose atmosphärischer Schwebstoffkonzentrationen	METG	Meteorology Group der EANPG
ICON-D2	auf Deutschland und die nähere Umgebung genestetes ICON-NWV-System für den kurzfristigen Vorhersagebereich	Meteo France	Nationaler Wetterdienst Frankreichs
		Met Office	Nationaler Wetterdienst des Vereinigten Königreichs

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

Herausgeber

Deutscher Wetterdienst (DWD)

Konzeption und Redaktion

Thomas Ruppert

Gesamtherstellung

Studio Schmidt - Grafisches Atelier
Frankfurt am Main

Fotos

Titelblatt: Stephan Barthel

Im Fokus: Stephan Barthel

Seite 3: Kirsten Bucher, Frankfurt am Main

Seite 4 (v. l. n. r. und v. o. n. u.):

Stephan Barthel,

andere Fotos siehe Vorsatzseiten der Kapitel 1-7

Seite 17: Berthold Lescher, DWD

Seiten 19, 17, 51: DWD

Seiten 31, 45: Martin Wieczorrek

Seite 32: Alexey Chigretskiy, AdobeStock

Seite 42: Dr. Eckhard Lanzinger

Seite 59: Marc Dickler, md-fotos.com

Seite 65: Thomas Ruppert

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 2021

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



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:

