

CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA)
Schneefall / Kälte Februar 2021 (Deutschland)

29. März 2021 – Report No. 1

Autoren: Bernhard Mühr, Michael Kunz, Susanna Mohr

ZUSAMMENFASSUNG

Naturereignis	Beginn	Ende	Andauer
Starkschneefall und Rekordkälte	06.02.2021	15.02.2021	10,0 Tage

Herausragende Ereignisse:

2 Tiefdruckgebiete	„Tristan“, „Volker“
2 Hochdruckgebiete	„Gisela“, „Helida“
Historische Februar-Schneehöhenrekorde	z.B. Jena (Sternwarte): 45 cm (134 Jahre)
Historische Februar-Kälterekorde	z.B. Sontra (HE): -25,6 °C (55 Jahre)
Eisregen/Glatteis	Verbreitet vor allem in Teilen Hessens



Abbildung 1: Eisgang auf dem Mittellandkanal (Quelle: Die Binnenschifferin, Twitter).

1. Zusammenfassung

Nach einem ungewöhnlich kräftigen Transport von Staub aus der Sahara begann in der ersten Dekade des Monats Februar 2021 ein zumindest in Teilen Deutschlands extrem kalter Witterungsabschnitt. Er dauert in der Mitte und im Osten des Landes etwa 10 Tage lang an, nach Süden und Westen hin verlor die Kälte allerdings deutlich an Intensität und Andauer. Rekordschneefälle, die gleichzeitig mit starkem Ostwind auftraten, hinterließen von Nordrhein-Westfalen bis nach Sachsen eine mächtige Schneedecke, die sich selbst im Flachland gebietsweise mehr als einen halben Meter hoch auftürmte. In kontinentaler Kaltluft sank unter Hochdruckeinfluss und über dem frisch gefallenen Schnee das Thermometer nicht selten unter -20 °C und mancherorts wurden neue Rekorde der Tiefsttemperatur für den Monat Februar verzeichnet. Die Temperaturen erreichten Werte bis $-26,7\text{ °C}$ in Thüringen. Vor allem in den mittleren Landesteilen traten durch den Schnee und hohe Schneeverwehungen erhebliche Behinderungen auf Straßen und Schienen auf, vielerorts kam der Verkehr zum Erliegen oder wurde eingestellt. Strenger Frost sorgte zudem für Eisgang auf einigen Flüssen und Kanälen, nicht nur auf Teilen des Mittellandkanals ruhte die Binnenschifffahrt. Auch auf der Nord- und Ostsee bildete sich küstennahes Eis. Trotz etlicher neuer Temperatur- und Schneehöhenrekorde bleibt der kalte Witterungsabschnitt jedoch weit hinter den Extremereignissen vergangener Februarmonate wie die Jahre 1929, 1947, 1956, 1963 oder 1986 zurück.

2. Meteorologische Informationen

2.1. Großräumiges Strömungsmuster über Europa und dem Nordatlantik

Kalte oder extrem kalte winterliche Witterungsabschnitte in Mitteleuropa bedürfen immer der Zufuhr kontinentaler Luftmassen aus dem nordost- oder osteuropäischen Raum. Bewerkstelligt wird ein solcher nachhaltiger Kaltlufttransport durch beständig hohen Luftdruck über dem europäischen Nordmeer. Tiefdruckgebiete, die sich gleichzeitig über dem Mittelmeerraum oder zwischen Schwarzem Meer und dem Ural etablieren, unterstützen einerseits durch eine Verschärfung des Luftdruckgradienten die Advektion der Kaltluft aus Osten oder Nordosten, und lenken andererseits in der Höhe feuchte und mildere Luftmassen heran, die gebietsweise kräftige Schneefälle auslösen. Die planetare Frontalzone mäandriert dann in der Regel weit südlich über dem Ostatlantik und dem Mittelmeerraum, während nördlich davon eine Ostströmung von Nordeuropa über den Nordatlantik nach Westen bis Nordamerika verlaufen kann. Eine solche großräumige Druckkonstellation erweist sich nicht selten als sehr stabil oder regeneriert sich mehrfach und sorgt für extrem kalte Winterwochen oder ganze Monate. Hat die hochreichend kontinentale Kaltluft einmal den Weg nach Mittel- oder sogar Westeuropa gefunden, bedarf es manchmal geraumer Zeit und etlicher atlantischer Tiefdruckgebiete, bis die Kaltluft wieder vollständig ausgeräumt werden kann. Im Extremfall können die sehr kalten kontinentalen Luftmassen sich als außerordentlich dauerhaft erweisen und so zu Monaten führen, in denen die Temperaturabweichung bis zu 10 K unter dem Mittel liegt; das war beispielsweise in den Februarmonaten 1929 und 1956 der Fall, in dem sich die deutschlandweite Mitteltemperatur jeweils zu $-9,6\text{ °C}$ berechnete und damit 11,1 K kälter ausfiel als im Mittel der Jahre 1991 bis 2020.

Ein für mitteleuropäische winterliche Kälteepisoden typisches Setup der Druckgebilde spiegelt sich auch im Februar 2021 in der Analyse des Bodenluftdrucks wider. Abbildung 2 (links) zeigt das Mittel des auf Meeressniveau reduzierten Luftdrucks über dem Nordatlantik und Europa für den Zeitraum 3. bis 14. Februar 2021. Einem mächtigen zentral-nordatlantischen Tiefdruckgebiet mit einem 12-tägigen mittleren Luftdruck von unter 990 hPa steht hoher Luftdruck gegenüber, der sich von Grönland über den Nordatlantik bis nach Skandinavien und den Ostseeraum erstreckt. Selbst im Mittel treten die bodennahen östlichen Strömungskomponenten vor allem über dem Norden Deutschland deutlich in Erscheinung. Die Ostströmung setzt sich über die Nordsee, den

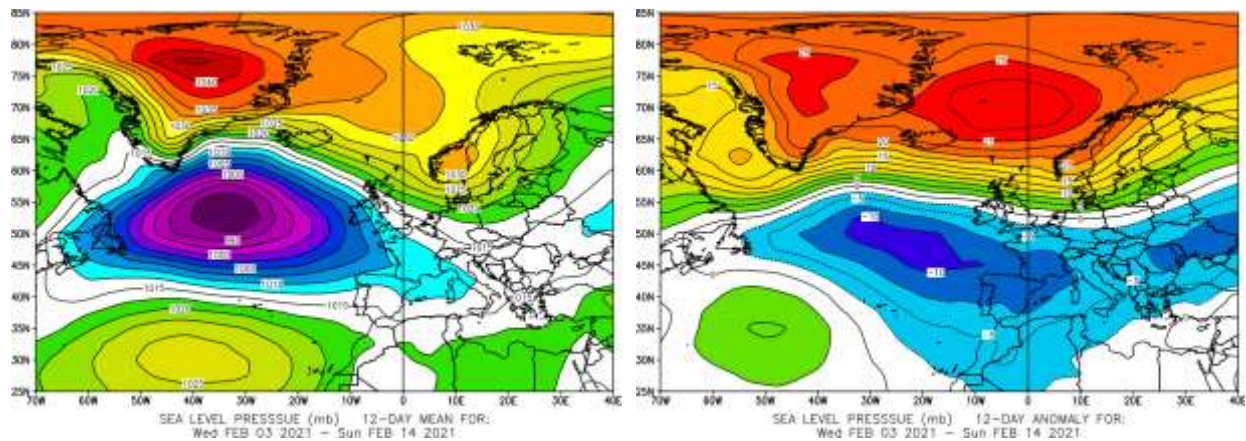


Abbildung 2: Gemittelter auf Meeresniveau reduzierter Luftdruck in hPa (links) und die Luftdruck-anomalie in hPa (rechts) in Bezug auf langjährigen Mittelwert des Zeitraum 1981-2010. Mittelungszeitraum: 12 Tage (03.-14.02.2021; Quelle: <https://psl.noaa.gov/data/histdata>).

Norden Englands, Island, den Süden Grönlands bis nach Kanada fort. Wie sehr der 12-Tage-Luftdruck von den langjährigen mittleren Verhältnissen abweicht, geht aus Abbildung 2 (rechts) hervor. Ein riesige positive Luftdruckanomalie überdeckt das Gebiet von der Labradorsee über ganz Grönland und den Nordatlantik hinweg bis nach Skandinavien. In Bezug auf den langjährigen Mittelwert des Zeitraums 1981-2010 betragen die 12-Tage-Luftdruckabweichungen über Grönland und dem Nordatlantik mehr als 25 hPa. Ähnlich umfangreich, wenngleich weniger stark ausgeprägt, bildeten sich negativen Luftdruckanomalien von den südlichen Bereichen des Nordatlantiks über die Biskaya und Südeuropa bis zum Schwarzen Meer hin aus.

Die weit südliche Position der planetaren Frontalzone lässt unmittelbar ein Blick auf die Analyse der 300 hPa-Geopotentialfläche und des Windes vom 10. Februar 2021, 00 UTC, erkennen (Abbildung 3). Sie mäandriert mit ihren Starkwindbändern vom Nordosten der USA über die Azoren, Spanien und Griechenland bis zur Türkei. Über Nordspanien betragen die mittleren Windgeschwindigkeiten mehr als 250 km/h.

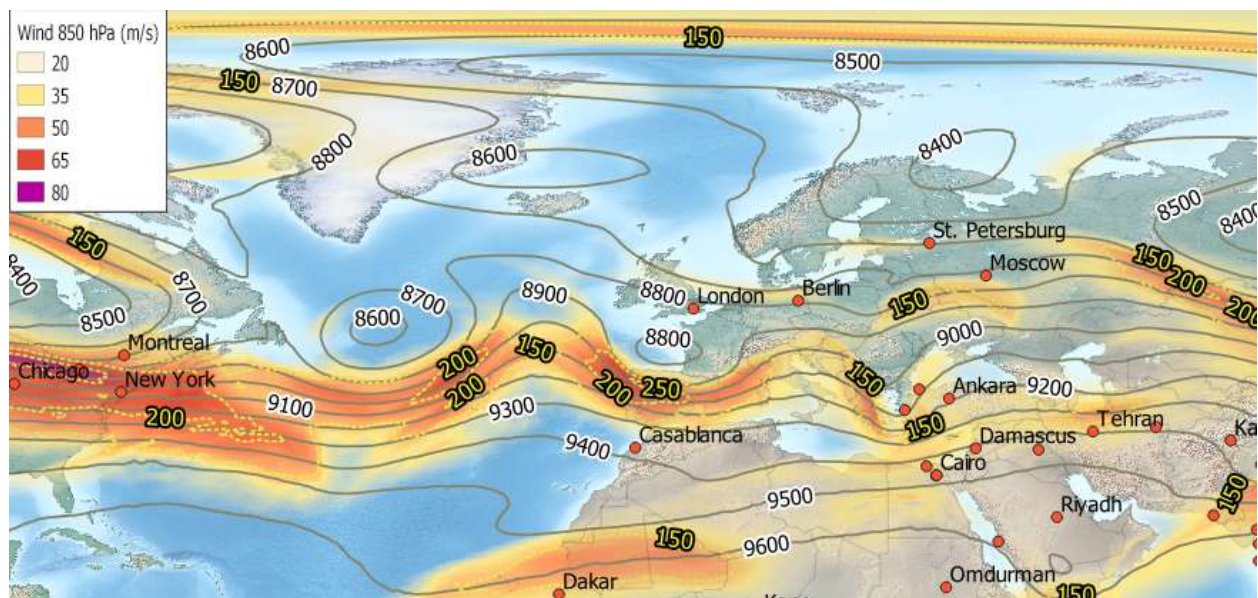


Abbildung 3: 300 hPa-Wind und Geopotentialanalyse (gpm), 10.02.2021, 00Z. Hinweis: Die Zahlenwerte an den Isotachen sind in km/h angegeben, in der Legende in m/s (Daten: GEM).



Abbildung 4: Satellitenbild (VIS), 06.02.2021, 15:00 UTC (Quelle: sat24 / www.niederschlagsradar.de).

Zu Beginn der Kälteperiode am 5. Februar 2021 begann sich zwischen einem riesigen Gebiet hohen Luftdrucks, das sich von Grönland bis nach Skandinavien erstreckte, und tiefem Druck über Südwest- und Westeuropa eine Luftmassengrenze zu etablieren. Sie verlief als Warmfront des Irlandtiefs „Reinhard“ über Mittelengland und das Emsland südostwärts bis nach Südosteuropa. Im größten Teil Deutschlands bestimmten am 5. Februar 2021 noch ganztagig deutlich positive Werte die Temperaturverteilung, nur in Vorpommern trat schon leichter Frost auf. Auch am 6. Februar 2021 nahm die Kaltluftzufuhr zunächst noch nicht an Fahrt auf, leichter Nachtfrost dominierte die Nordhälfte Deutschlands. Im Laufe des Tages mischte sich allerdings zunehmend das Tiefdruckgebiet „Tristan“, das sich vorderseitig eines mächtigen und weit über Nordwestafrika hinweg südwärts vorstoßenden Höhentrogues über Spanien formierte, in die Wetterentwicklung Mitteleuropas ein und machte sich auf den Weg Richtung Nordosten.

Das Satellitenbild vom 6. Februar 2021, 15 UTC, zeigt von Spanien bis Tschechien mit kompakter und hochreichender Bewölkung den wellenden Frontenzug des Tiefs „Tristan“. Südlich des über Deutschland noch antizyklonal gekrümmten Wolkenbandes greift Warmluft nordwärts Platz, während nördlich davon große wolkenfreie Flächen bereits die kontinentale Kaltluft erkennen lassen. Die aus dem Landesinneren Skandinaviens und des Baltikums über das Skagerrak oder die Ostsee strömende Kaltluft erzeugt über dem vergleichswarmen Meerwasser konvektive Bewölkung – ein Beleg für enorme Temperaturunterschiede.

„Tristan“ lag am 7. Februar 2021, 00 UTC, mit seinem Zentrum über Ostfrankreich. Seine Warmfront übernahm nun die Rolle der Luftmassengrenze. Mit dem Tief, das um 06 UTC einen Kerndruck von weniger als 995 hPa aufwies, verstärkten sich nördlich der Luftmassengrenze zum skandinavischen Hochdruckgebiet hin die Luftdruckgegensätze. So konnte ein Ableger der sehr kalten Luftmasse, die zwischen dem Skandinavienhoch und einem kräftigen Tief über dem Ural südwärts vordrang, auch den Weg nach Mitteleuropa antreten. In Abbildung 5 (oben) verläuft im 850 hPa-Niveau die -10 °C -Isotherme bereits über Berlin hinweg zur Deutschen Bucht, die -15 °C -Isotherme hat den Westen Polens erreicht.

Abbildung 8 zeigt die Bodendruckanalyse vom 7. Februar 2021, 12 UTC, mit dem Zentrum des Tiefs „Tristan“ über Belgien/westliches Nordrhein-Westfalen. Der Luftdruckunterschied zwischen Köln und Hamburg beträgt rund 20 hPa. Während bereits in der Nacht zum 7. Februar an der Nordseite der Luftmassengrenze anhaltende und gebietsweise ergiebige Niederschläge auftraten

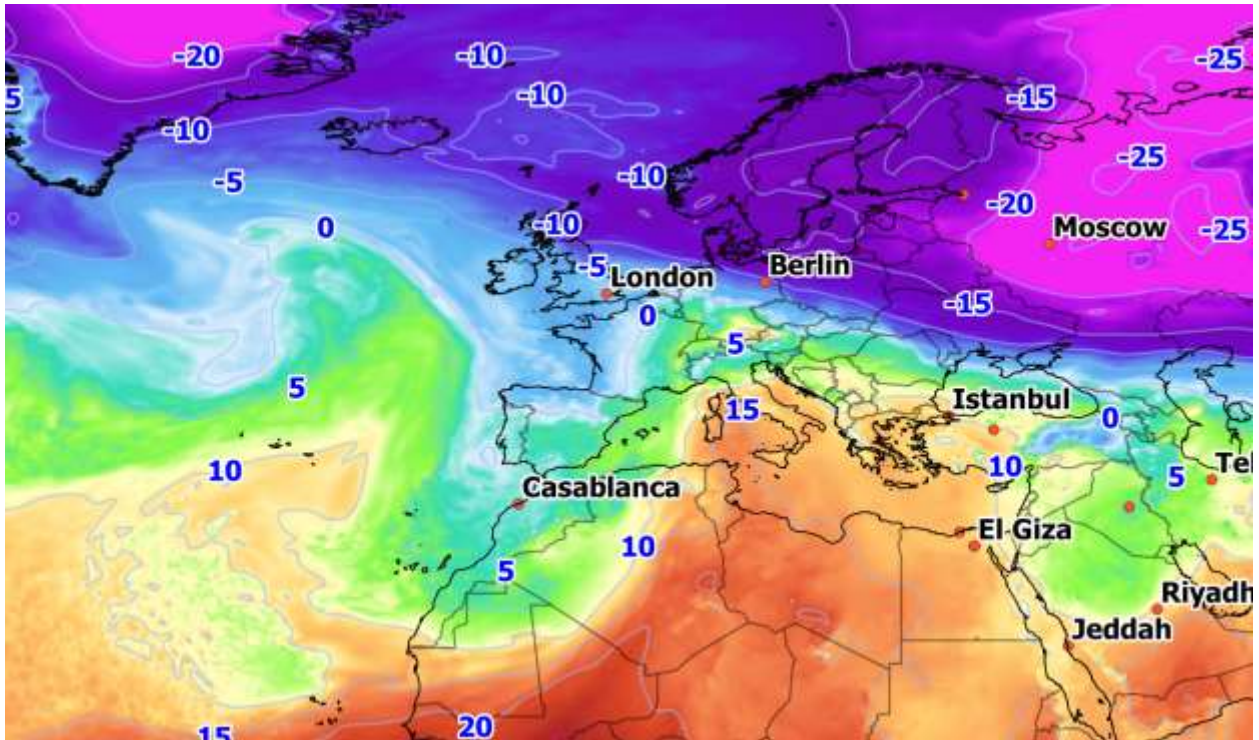


Abbildung 5: 850 hPa-Temperaturanalyse, 07.02.2021, 00 UTC (Daten: GEM).

und zunehmend in Schnee übergangen, legte auch der Wind zu. Er erreichte in der Nacht und am Tage örtlich im Gebiet des kräftigsten Schneefalls über der nördlichen Mitte Deutschlands in Bft 8, vereinzelt sogar Bft 9. Bei Dauerfrost kam es in einem Streifen vom Münsterland bis nach Westsachsen zu hohen Schneeverwehungen. In einem schmalen Übergangsbereich von Nordrhein-Westfalen über Hessen bis nach Thüringen und Nordbayern, wo sich bodennah die frostige Kaltluft bereits durchgesetzt hatte, in der Höhe allerdings noch mildere Luftmassen präsent waren, trat einige Stunden lang gefrierender Regen auf. Der Süden des Landes verblieb zunächst weiterhin in milder Meeresluft. Erst im Laufe des 8. Februar 2021 erreichte die Kaltluft in abgeschwächter Form schließlich auch die Alpen. In der Nordhälfte ließen Wind und Schneefälle nach.

Unter dem Einfluss des Hochdruckgebietes „Helida“ mit Schwerpunkt über Skandinavien lockerte es über der Mitte und dem Norden Deutschlands immer mehr auf, und bei windschwachen Verhältnissen wurden in der Landesmitte extrem niedrige Temperaturen unter -20 °C gemessen.

Im Laufe des 10. Februar 2021 wanderte das Tief „Volker“ auf einer südlichen Zugbahn mit seinem Zentrum von der Biskaya zur Adria. Es löste im Süden Deutschlands verbreitete Schneefälle bei Dauerfrost aus, die zwar nicht die Ergiebigkeit wie die Schneefälle zuvor in der Mitte des Landes erreichten, aber dennoch überall eine geschlossene Schneedecke hinterließen. Selbst im Oberrheingraben meldete beispielsweise Rheinstetten am Morgen des 11. Februar 2021 eine Schneedecke mit einer Mächtigkeit von 7 cm.

Auf der Rückseite des Tiefs „Volker“ verstärkte sich noch einmal der Zustrom der kontinentalen Kaltluft, die sich im 850 hPa-Niveau am 11. Februar 2021 mit Werten zwischen -10 und -17 °C bis zu den Alpen durchsetzte und über England und Irland hinaus weit nach Westen transportiert wurde (Abbildung 6). Die klaren und windschwachen Folgenächte brachten nun auch in Süddeutschland strengen Frost, in Rheinstetten lag die Temperatur am 11. Februar 2021 in der Frühe bei -15.6 °C . Auch am Tage kamen die Temperaturen vereinzelt nicht über -10 °C hinaus.

Mit der Verlagerung des Schwerpunktes des Hochdruckgebietes „Helida“ von Skandinavien über Deutschland nach Rumänien, wo es am 16. Februar 2021, 00 UTC, analysiert werden konnte, drehte die Strömung über West- und Mitteleuropa wieder in allen Höhenniveaus auf Südwest. Schon der 15. Februar 2021 brachte in der Westhälfte Deutschlands nur noch mäßigen Nachtfrost, Teile Nordrhein-Westfalens blieben sogar schon frostfrei. Die Ausläufer des Tiefs

„Xanthos“ transportierten mit viel Schwung Warmluft nach Deutschland und bereits am 16. Februar 2021 war die kontinentale Kaltluft vollständig ausgeräumt, keine Station meldete noch einen Eistag. Im Südwesten konnten sogar schon frühlingshafte Temperaturen bis 16 °C verzeichnet werden.

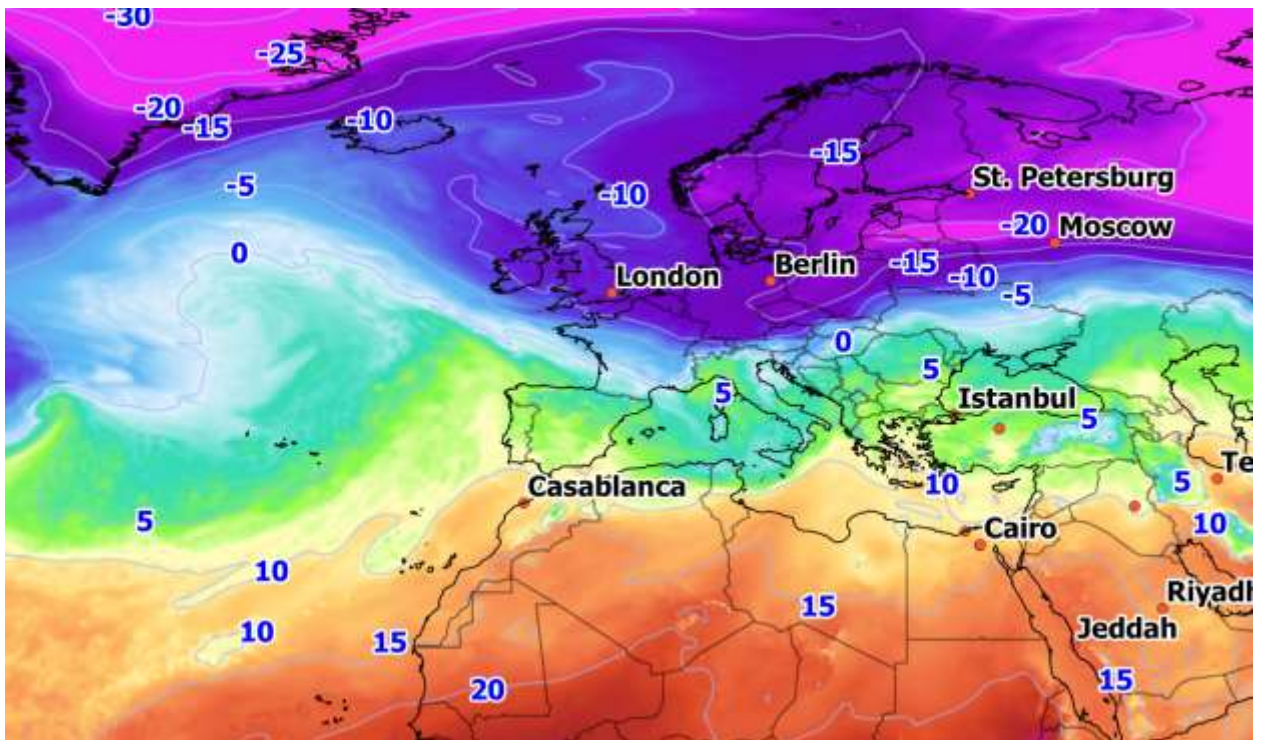


Abbildung 6: 850 hPa-Temperaturanalyse, 11.02.2021, 00 UTC (Daten: GEM).

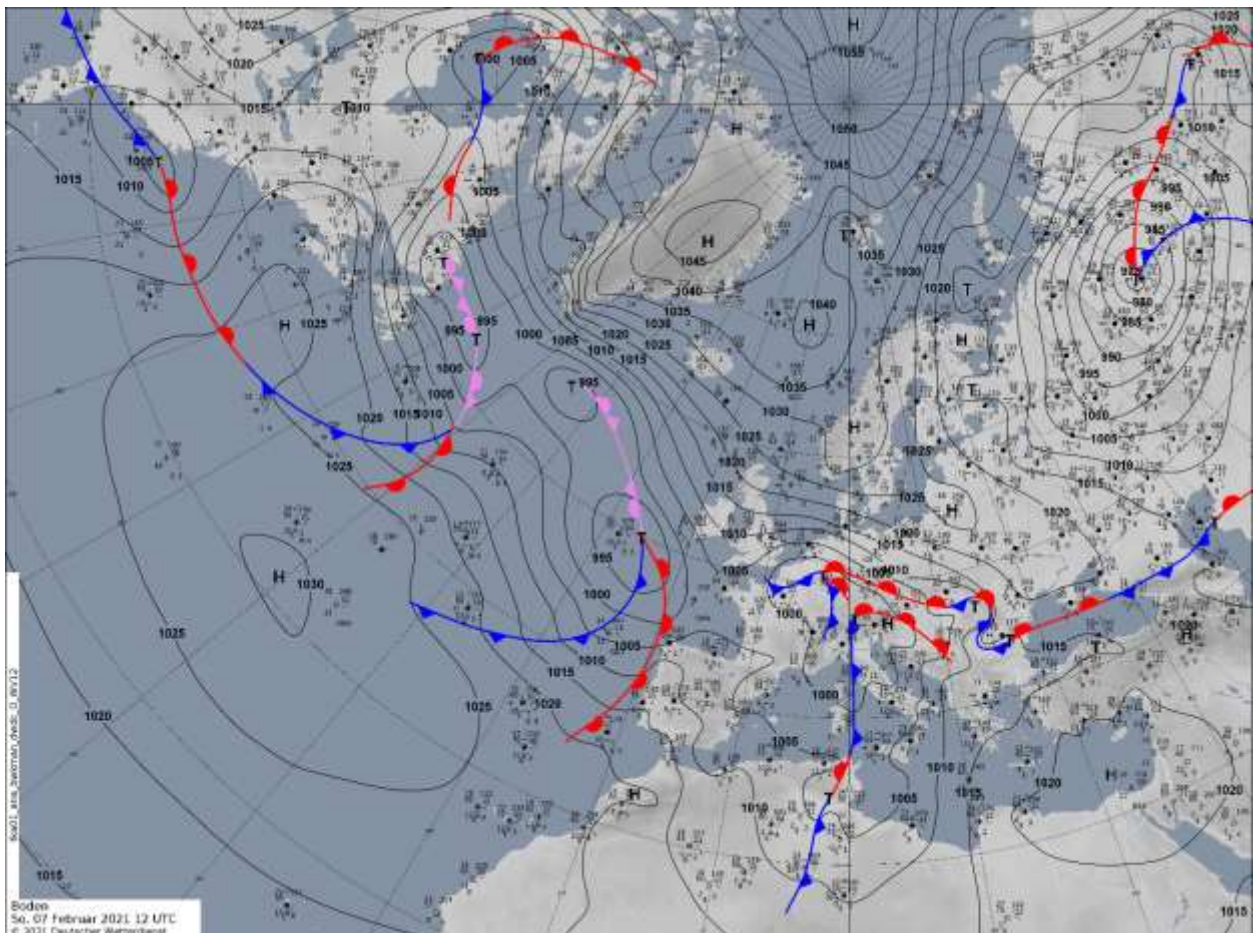


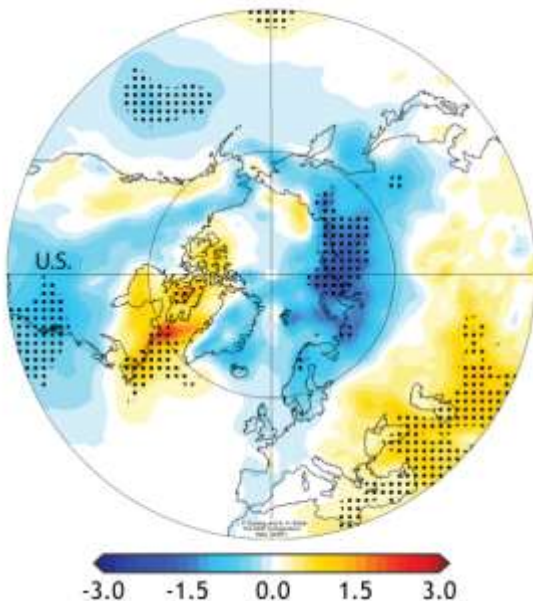
Abbildung 8: Bodendruckanalyse 07.02.2021, 12 UTC (Quelle: DWD).

2.2. Der Zusammenhang mit dem Polarwirbel

Der Polarwirbel ist ein regelmäßiges auftretendes Phänomen in der Stratosphäre über den Polarregionen beider Halbkugeln. Die Stratosphäre beginnt in den Polarregionen oberhalb der Tropopause in etwa 8 km Höhe, in niederen Breiten liegt die Tropopause bei rund 14 km. Die Stratosphäre weist eine Mächtigkeit von etwa 30 km auf und wird nach oben hin durch die Stratopause abgeschlossen und – anders als in der Troposphäre – nimmt die Temperatur mit der Höhe zu. Auch in der Stratosphäre korrespondiert der Temperaturverlauf unmittelbar mit der Tageslänge und dem Winkel der einfallenden Sonnenstrahlung. In jedem Jahr beginnt kurz nach der Sommersonnenwende im Juli die Temperatur zu sinken und erreicht Mitte/Ende Dezember ihre niedrigsten Werte, danach steigen die Temperaturen allmählich wieder an. Im 10hPa-Niveau (in rund 30 km Höhe) liegt der langjährige Mittelwert der Temperatur Ende Juni bei $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$, von Ende November bis Ende Dezember sind es im Mittel $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mit dem Temperaturrückgang sinkt auch der Luftdruck und schließlich beginnt sich durch die Erdrotation über dem Nordpol und den südlichen angrenzenden Bereichen ein riesiger Wirbel, der Polarwirbel, auszubilden. Der Begriff Wirbel impliziert eine dem Uhrzeigersinn entgegengesetzte Strömungsrichtung, die die sehr kalte Luft im Wirbel einschließt und um den Pol herum in Form von Westwinden zirkulieren lässt. Ein stabiler Polarwirbel tritt als rotationssymmetrisches Gebilde um den Pol herum bis etwa $50\text{-}60^{\circ}$ nördlicher Breite mit bestens ausgeprägtem troposphärischem Jetstream am Südrand in Erscheinung.

Ein stabiler Polarwirbel äußert sich in West- und Mitteleuropa in überwiegend von atlantischen Tiefdruckgebieten dominiertem windig-mildem Winterwetter, in dem sich abwechselnd teils subtropische, teils subpolare maritime Luftmassen durchsetzen. Gelegentlich aber schwächt sich der stratosphärische Polarwirbel ab, verändert seine Position oder teilt sich in zwei oder mehr separate Wirbel auf. Ein solcher Prozess geht in der Regel mit einem sogenannten Sudden Stratospheric Warming (SSW), einem abrupten Temperaturanstieg in der Stratosphäre einher; die Erwärmungsraten können 50 K innerhalb weniger Tage betragen. Welche Prozesse ein SSW auslösen, ist noch nicht abschließend geklärt. Möglicherweise hat die Seeisbedeckung und in der Folge ein erhöhter Feuchteintrag nach Sibirien mit vermehrtem Schneefall einen Effekt. Auch eine extreme Zyklonogenese (bombogenesis) über dem Nordpazifik mag zu einer SSW beitragen. Bei einer SSW können sich die stratosphärischen Westwinde stark abschwächen oder

Surface temperature anomaly following all SSWs



Averaged surface temperature anomaly, Jan 5-23, 2021

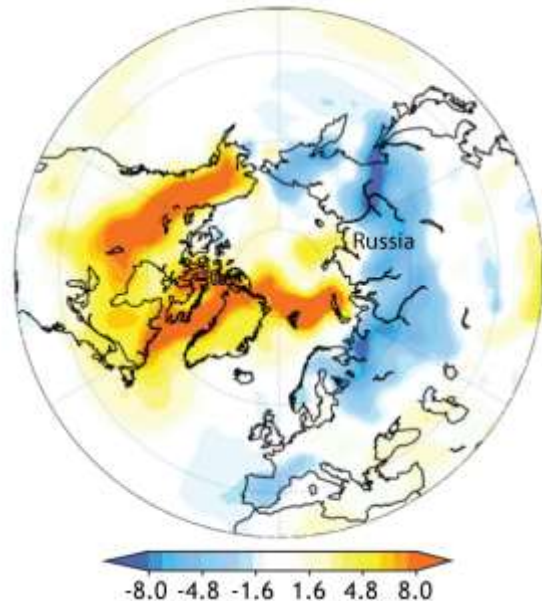


Abbildung 9: Anomalie der Oberflächentemperatur in K (links) während des 30-Tage-Zeitraums nach allen identifizierten SSW (NCEP-NCAR Reanalyse 1958-2013). Rechts: Abweichung der Oberflächentemperatur (in K) vom Mittel des Zeitraums 5.-23. Januar 2021 im Nachgang des SSW mit Beginn am 5. Januar 2021 (Quelle: www.climate.gov).

sogar eine umgekehrte Strömungsrichtung bekommen, was einen Zusammenbruch des Polarwirbels zumindest unmittelbar im Bereich des Poles bedeutet. Der Kollaps des Polarwirbels übt einen Kaskadeneffekt nach unten bis in die Troposphäre aus, wo er schließlich auch den troposphärischen Jetstream abschwächt. Extreme Kaltluft aus polaren Breiten kann dann den Weg weit nach Süden bis in die mittleren Breiten beispielsweise der USA, Europa oder Teile Asiens finden. Während Kaltluftausbrüche Europa beeinflussen, treten anderswo überdurchschnittlich hohe Temperaturen auf wie zum Beispiel in der kanadischen Arktis, dem subtropischen Afrika oder Asien. Auch eine Blocking-Situation mit einem dauerhaften Skandinavien/Nordosteuropahoch oder Island/Grönlandhoch ist möglich, dann gelangt nachhaltige kontinentale Kaltluft nach Mittel- und Westeuropa.

Abbildung 9 links zeigt die Abweichung der Oberflächentemperatur, wie sie im Mittel eines 30-tägigen Zeitraums nach einem identifizierten SSW auftritt; die Grundlage bilden alle SSW der NCEP-NCAR-Renalyse 1958-2013. Einer SSW schließt sich über dem gesamten Norden Asiens ein deutlich zu kalter Witterungsabschnitt an, die Abweichungen der Oberflächentemperatur liegen durchschnittlich bis zu 3 K unter dem sonst üblichen Wert für die entsprechende 30-Tage-Bezugsperiode. Eine ganz ähnliche Temperaturverteilung und -anomalie lässt sich für Eurasien auch für den Januar 2021 feststellen. Im Anschluss an die vorangegangene SSW (siehe Abbildung 10) ergeben sich für den Norden Europas und Asien negative Temperaturanomalien im Zeitraum 5.-23. Januar 2021 bis zu 8 K. Ein Teil dieser sehr kalten Luft gelangte im Laufe der ersten Februarhälfte an der Südostflanke eines Skandinavienhochs für rund eine Woche schließlich auch nach Mitteleuropa, wo 2-Meter Temperaturen bis -27 °C und etliche neue Februarrekorde verzeichnet werden konnten. Insgesamt scheinen Polarwirbel-Splits überdurchschnittlich kalte Witterungsabschnitte in Europa zu begünstigen.

Abbildung 10 gibt Auskunft über die Entwicklung der SSW im Winter 2020/2021 über dem Nordpolargebiet und illustriert das Verhalten des Polarwirbels, seine Verlagerung und seinen Split in zwei separate Wirbel über dem Nordwestatlantik und Nordasien. Am 15. Januar 2021 konnte über dem Nordpol hohes Geopotential analysiert werden.

Die orangefarbene Kurve gibt den Temperaturverlauf im Bereich der Polkappe $60\text{--}90\text{ °N}$ im 10 hPa-Niveau wieder. Nach Temperaturen von -70 °C am 23. Dezember 2020 begannen sie ab dem 25. Dezember 2020 anzusteigen. Ein besonders kräftige Erwärmung tritt ab dem 30. Dezember 2020, als die Temperatur von -63 °C bis -31 °C am 5. Januar zulegte. Nach einer Abkühlungsphase pendelte sich die Temperatur in 10 hPa um -53 °C ein. Der mittlere zonale Wind bei 50 °N (blaue Kurve) wechselte am 5. Januar 2021 sein Vorzeichen und wurde zu einem schwachen Ostwind; der Vorzeichenwechsel bedeutet definitionsgemäß den Beginn des SSW.

2.3. Niederschlag

Der Beginn des kalten Witterungsabschnittes in der ersten Monatsdekade des Februar 2021 ging mit größeren Niederschlagsmengen einher. Am 5. Februar 2021 blieb es ganz im Nordosten in trockener und kälterer Luft weitgehend trocken, an der Südgrenze der Kaltluft regnete es vom Emsland bis in den Berliner Raum leicht. (Abbildung 11a). Deutlich intensivere Niederschläge traten hingegen nach Südwesten hin auf, wo in noch milder Luft im Saarland, in Teilen Hessens und von Rheinland-Pfalz, sowie im Spessart und im Odenwald 10 bis 20 mm zusammen, vereinzelt konnten auch noch größere Regenmengen verzeichnet werden. Tags darauf dehnten sich die Niederschläge weiter nach Norden und Osten aus. Im einem breiten Streifen, dessen nördliche Begrenzung etwa entlang einer Linie Münsterland – Lausitz verlief, und der nach Süden hin durch eine Linie Saarbrücken – Hof abgeschlossen wurde, fielen 10 bis 30 mm Niederschlag; in Hessen registrierte Heringen/Werra eine Tagesniederschlagsmenge von 30.0 mm (Abbildung 11b). Mit der immer intensiveren Zufuhr der kontinentalen Kaltluft in Richtung Südwesten gingen die Niederschläge vor allem im Bereich der nördlichen Mittelgebirgsschwelle bis in die tiefen Lagen immer mehr in Schnee über. Die kräftigsten Niederschläge konnten am 7. Februar 2021 im Süden von Sachsen-Anhalt, in Thüringen sowie

Disruption of stratospheric polar vortex in early January 2021

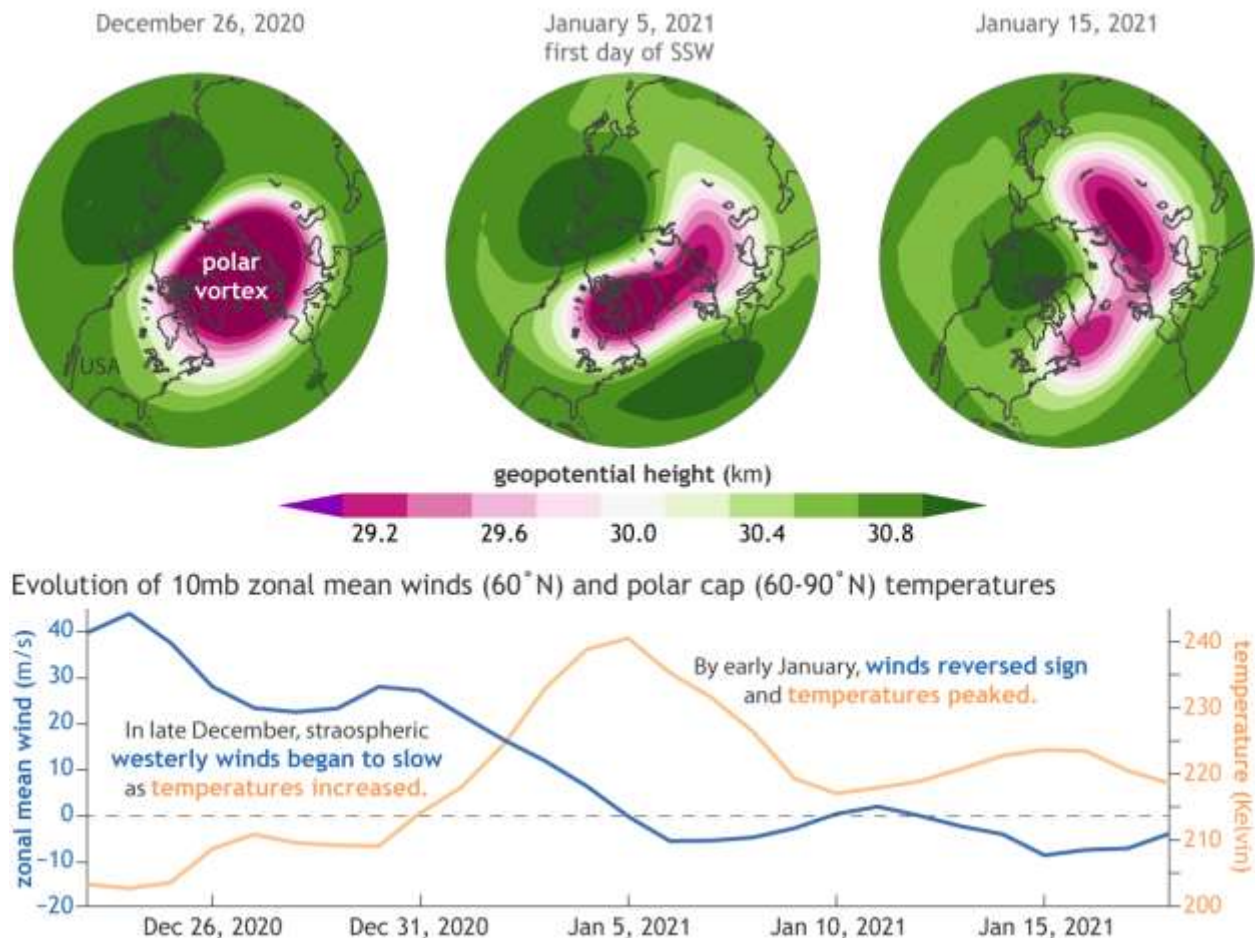


Abbildung 10: Entwicklung des Sudden Stratospheric Warming (SSW) im Winter 2020/2021. Oben: Höhe der 10 hPa-Fläche zum Beginn des SSW am 26. Dezember 2020 (links), als der zonale stratosphärische Wind in einen Ostwind übergang am 5. Januar 2021 (mitte) und während des SSW am 15. Januar 2021 (rechts). Unten: Verlauf des mittleren zonalen Windes in m/s im 10 hPa-Niveau bei 60° N und Verlauf der Polkappentemperatur in 10 hPa in K im Zeitraum vom 23. Dezember 2020 bis zum 18. Januar 2021 (Quelle: www.climate.gov).

im Südosten von Baden-Württemberg und im Südwesten Bayerns verzeichnet werden; im Allgäu traten örtlich um 30 mm innerhalb von 24 Stunden auf (Abbildung 11c). In der Südhälfte Deutschlands (Rheinland-Pfalz bis Bayern) blieb es dabei bis zum Morgen des 8. Februar 2021 bei Regen, nach Norden hin fiel ausschließlich Schnee, in einem schmalen Übergangsbereich vorübergehend auch gefrierender Regen. An der Station Jena (Sternwarte) gingen am 7. Februar 2021 31 mm in Form von Schnee nieder, was der gesamten durchschnittlichen Februar-Niederschlagsmenge von 30,7 mm entspricht.

Im Laufe des 8. Februar griff die Kaltluft weiter südwärts Platz und erreichte schließlich auch die Alpen. Die Niederschlagsmengen waren nur noch wenig ergiebig und lagen am 8. Februar 2021 fast überall unter 10 mm (Abbildung 11d), etwas mehr Niederschlag kam nur noch gebietsweise vom Weserbergland bis zum Harz und im Südschwarzwald zusammen.

Die 96-stündige Niederschlagsmenge des Zeitraums vom 5. Februar 2021, 06 UTC, bis zum 9. Februar 2021, 06 UTC, illustriert Abbildung 12. Vor allem die Mitte des Landes präsentierte sich für einen Februarmonat mit 20 bis 50 mm großflächig und ungewöhnlich niederschlagsreich. Gebietsweise kam innerhalb von 4 Tagen mehr Niederschlag zusammen als sonst in einem gesamten Februarmonat. In Jena (Sternwarte) entsprechen die gefallenen 45,8 mm fast dem Anderhalbfachen (149 %) der sonst üblichen Monatsmenge von 30,7 mm.

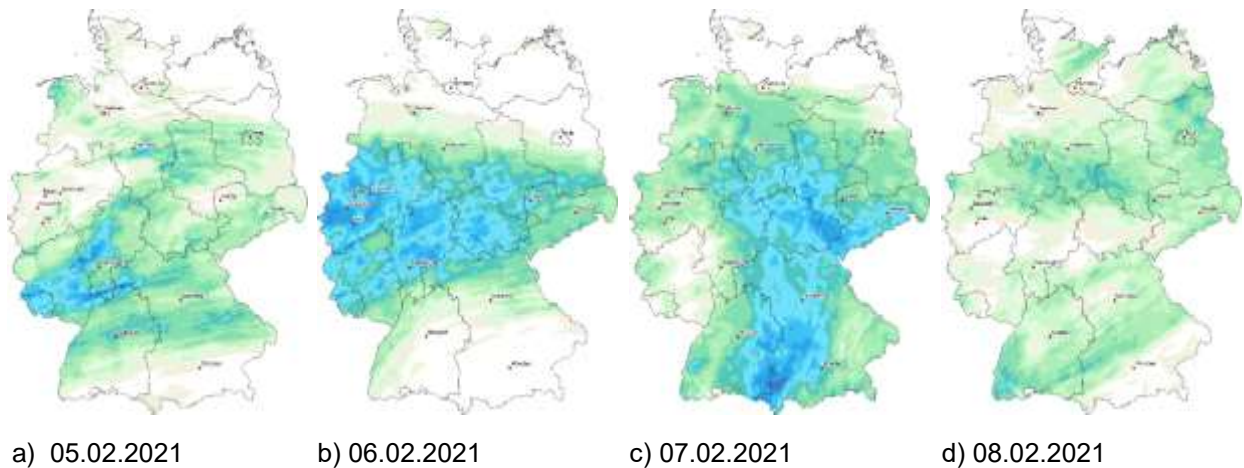


Abbildung 11a-d: Tagessummen des Niederschlags, jeweils ab 06 UTC des angegebenen Tages bis 06 UTC des Folgetages (Daten: RADOLAN).

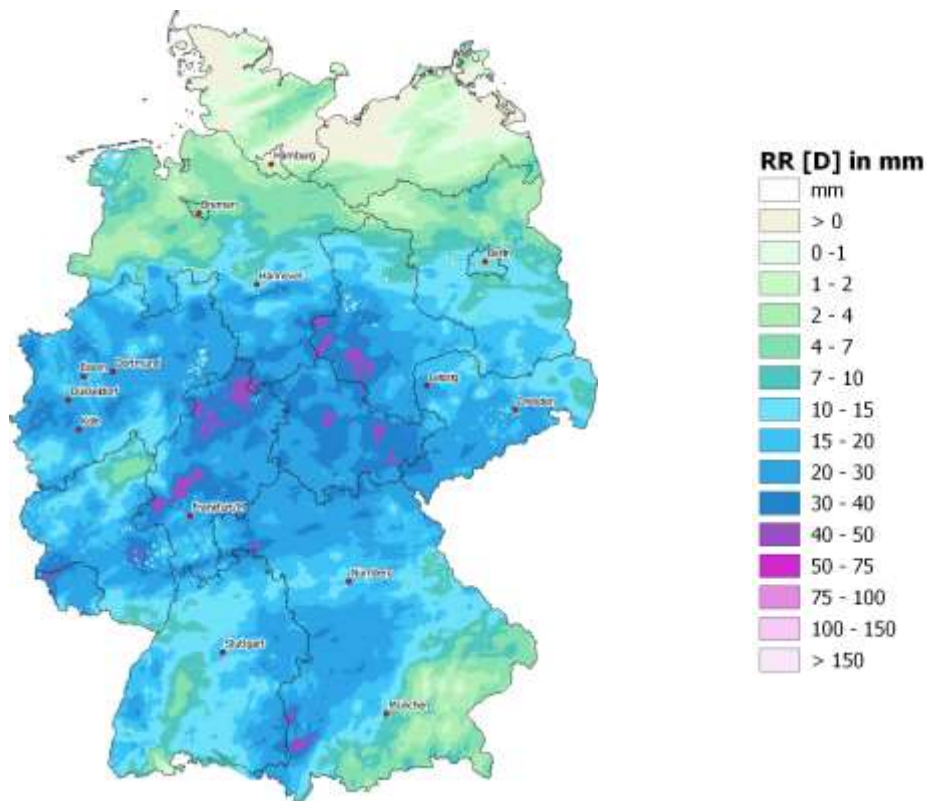


Abbildung 12: 96-Stundensumme des Niederschlags in Deutschland. Zeitraum: 05.02.2021, 06UTC, bis 09.02.2021, 06UTC (Daten: RADOLAN, DWD).

2.4. Wind

In der Nacht zum und am Tage des 7. Februar 2021 etablierte sich über der Nordhälfte Deutschlands ein starker Luftdruckgradient, der sich in verbreitet auftretenden stürmischen Böen manifestierte, tags darauf nur noch im äußersten Norden. Nördlich des Mains traten im Binnenland in Böen Windgeschwindigkeiten von meist 50 bis 70 km/h auf (Bft 7-8), vereinzelt waren auch Sturmböen (Bft 9) mit dabei (Abbildung 13). Bad Lippspringe verzeichnete am 7. Februar 2021 Sturmböen bis 79,6 km/h. Noch windiger ging es im Küstenbereich zu, wo schwere Sturmböen und vereinzelt sogar orkanartige Böen mit dabei waren. Am 8. Februar 2021 meldete Arkona beispielsweise 106,9 km/h.

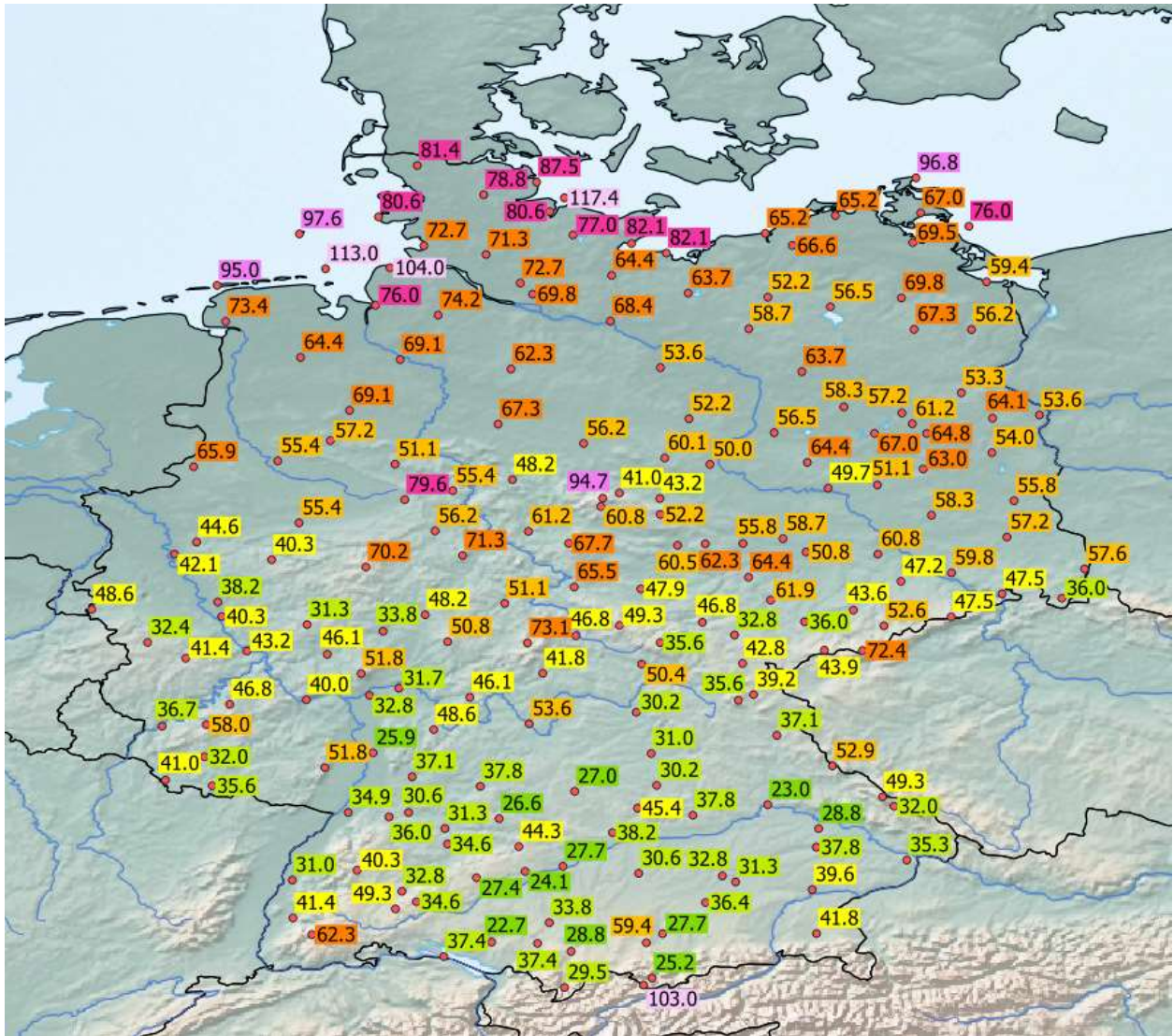


Abbildung 13: Spitzenböen in km/h am 07.02.2021 an Stationen des Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes (Daten: DWD).

2.5. Schneehöhen

Der kalte Witterungsabschnitt war zugleich auch ein schneereicher – zumindest in den mittleren Landesteilen. Vereinzelt traten Schneehöhen auf, wie sie dort in einem Monat Februar zuvor noch nie beobachtet wurden (Rekorde siehe Kapitel 3.1). Die Schneehöhen betrug vom Münsterland bis in den Süden Sachsens vielfach mehr als 20 cm (Abbildung 14). Im Südosten von Niedersachsen, im Süden von Sachsen-Anhalt und in Thüringen erreichte die Schneedecke auch im Flachland eine Mächtigkeit von 40 bis 60 cm, Weimar-Schöndorf in Thüringen meldete am Morgen des 11. Februar 2021 beispielweise eine Schneehöhe von 44 cm. Den Einfluss des vergleichsweise milden Ostseewassers verrät die Meldung der Station auf Hiddensee mit 42 cm; dort regten die warmen Wasseroberflächentemperaturen in der nachströmenden Kaltluft die Konvektion kräftig an, und intensive Schneeschauer hinterließen gebietsweise größere Schneemengen.

Ein seltenes Bild bietet die Satellitenaufnahme vom 11. Februar 2021, das fast ganz Deutschland unter einer geschlossenen Schneedecke zeigt (Abbildung 15). Einzig im Bereich der Elbmündung, im Westen von Schleswig-Holstein, in Ostfriesland, gebietsweise im Nordwesten Brandenburgs, in der Südhälfte Nordrhein-Westfalens, im Saarland sowie in größeren Teilen von Rheinland-Pfalz konnte nur eine dünne oder gar keine Schneedecke festgestellt werden. Auch im äußersten Südosten Bayerns blieb Schnee Mangelware.

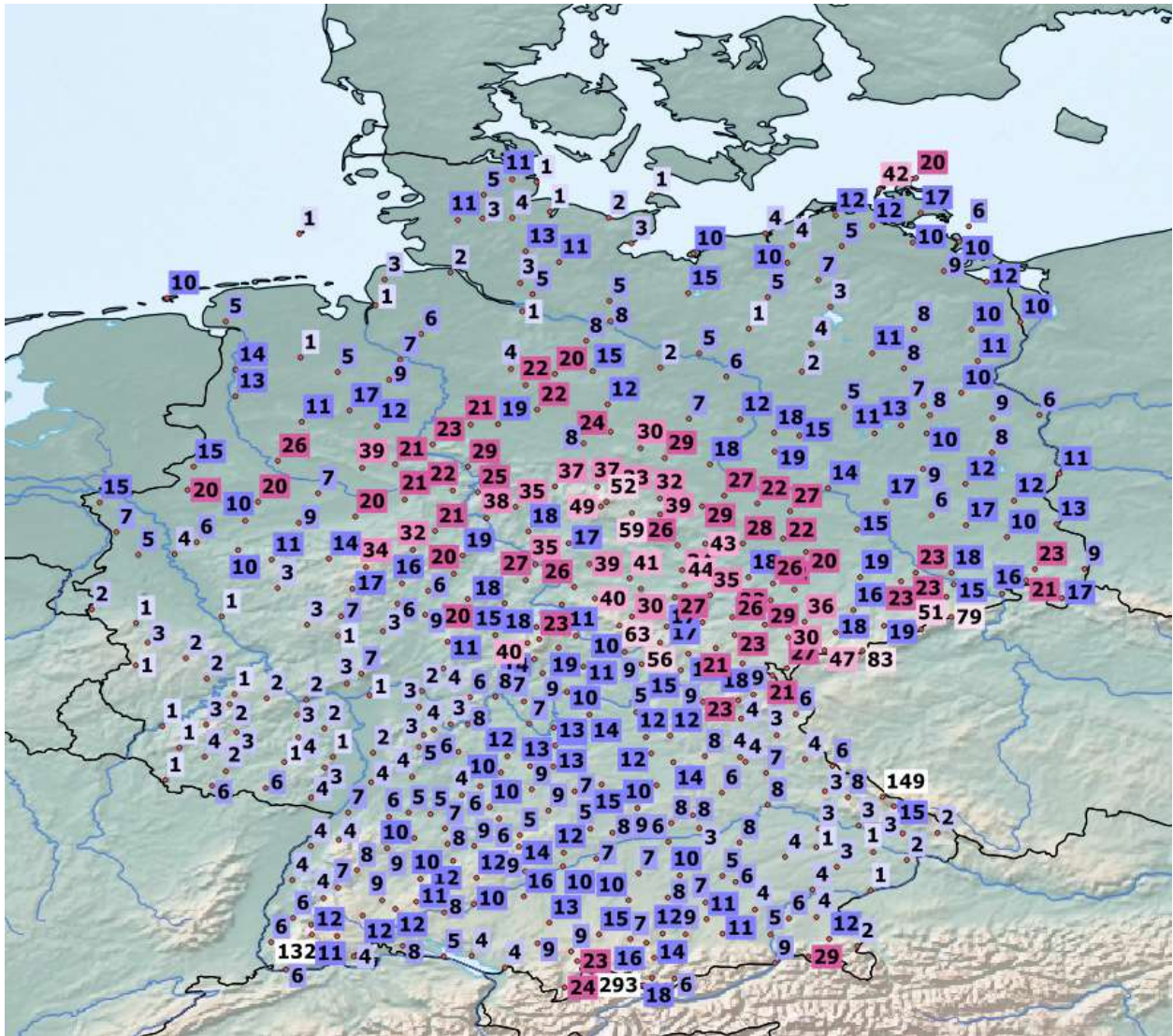


Abbildung 14: Schneehöhen in cm am 11.02.2021, 06 UTC (Daten: DWD).

2.6. Temperaturen

Abbildung 16 zeigt den Verlauf der Temperaturen anhand der gemessenen Stundenwerte an drei Stationen in Deutschland im Zeitraum vom 5. bis zum 16. Februar 2021. In die Auswertung gelangte je eine Station im Nordosten (Arkona auf Rügen), in der Mitte (Mühlhausen in Thüringen) und eine im Südwesten (Freiburg im Breisgau). Bereits am 5. Februar lag der äußerste Nordosten Deutschlands im Einflussbereich kalter Luftmassen, die in Arkona keine Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes mehr zuließen. Auch während der folgenden 12 Tage bis zum 16. Februar 2021 blieb es dort meist bei Dauerfrost, wenngleich sich bei dem vorherrschenden aufländigen Wind von der Ostsee her die Temperaturen überwiegend im leichten Frostbereich zwischen 0 und -5 °C bewegten. Die Temperatur sank nur kurzzeitig unter die -5-Grad-Marke , vor allem in der Nacht 14./15. Februar 2021, als mit schwachem südlichen Wind deutlich kältere Luft aus dem Landesinneren bis in den Norden Rügens sickerte.

In Mühlhausen-Görmar in Thüringen sank das Thermometer mit Ankunft der Kaltluft kurz vor Mittag am 6. Februar 2021 in den negativen Bereich und verharrte dort bis zum späten Abend des 15. Februar 2021. Wenig überraschend konnten die tiefsten Temperaturen in klarer und windschwacher Nacht über dem frisch gefallenen Schnee am 9./10. Februar 2021 gemessen werden, sie lagen bei fast -26 °C . Erst in der Nacht zum 16. Februar 2021 machte sich deutlich mildere Luft aus Südwesten bemerkbar, die der Temperatur wieder nachhaltig in den positiven Bereich verhalf. In den Süden und Westen des Landes arbeitete sich die kontinentale Kaltluft nur



Abbildung 15: Satellitenbild MODIS, 14.02.2021 (Quelle: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>).

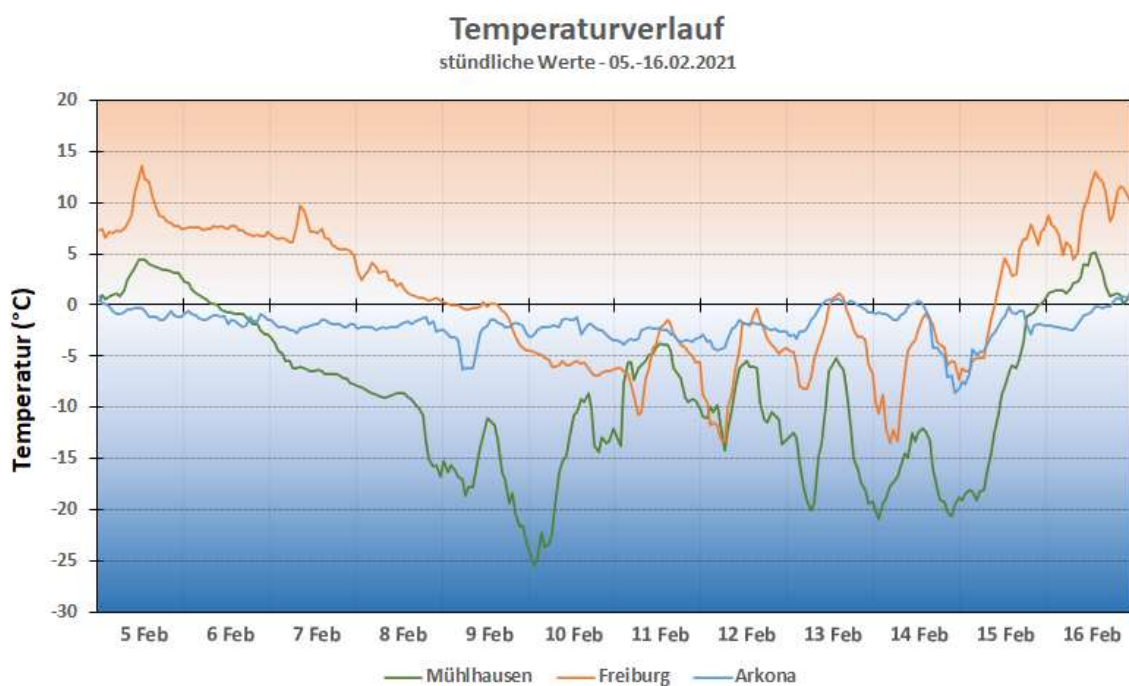


Abbildung 16: Verlauf der Temperatur (Stundenwerte in °C) an den drei Stationen Mühlhausen/Thüringen, Freiburg im Breisgau und am Kap Arkona im Zeitraum 05.-16.02.2021 (Daten: DWD).

langsam und in abgeschwächter Form voran. In Freiburg/Breisgau dauert es bis zum 9. Februar, ehe die Temperatur unter Null Grad absank. Die Episode mit Dauerfrost hielt in Freiburg 6 Tage bis zum 15. Februar 2021 an, wenn man die drei Stunden am 13. Februar 2021 außer Acht lässt, an denen die Temperatur kurzzeitig ein paar Zehntel Grad in den positiven Bereich vorstieß. Klare und windschwache Nächte machten auch in Freiburg über Schnee strengen Nachtfrost zwischen -10 und -15 °C möglich, der zwei Mal auftrat. Innerhalb weniger Stunden setzte sich am 15. Februar 2021 im Südwesten subtropische Warmluft durch, die der kurzen Kältewelle dort ein abruptes Ende bereitete. Schon am Folgetag machte eine Höchsttemperatur von 13 °C der Schneedecke den Garaus und die Kälte rasch vergessen.

Den chronologischen Verlauf der kontinentalen Kaltluft und wie sie sich in Deutschland ausbreitete, zeigen die Abbildungen 17a und 17b. In den Deutschlandkarten sind jeweils die Tiefsttemperaturen des betreffenden Tages eingetragen; grüne Farbtöne repräsentieren Temperaturen im positiven Bereich, die blauen Farben markieren Temperaturen zwischen Null und -12 °C, darunter schließen sich violett und rosafarben die Temperaturen unter -12 °C an.

Von großer Kälte konnte am 5. und am 6. Februar 2021 in Deutschland noch keine Rede sein. Nur wenige Stationen in Vorpommern verzeichneten am 5. Februar 2021 schon negative Tiefstwerte der Temperatur. Auch der 6. Februar brachte noch keinen strengen Frost, allerdings arbeitete sich die kältere Luftmasse langsam bis zu einer Linie Niederrhein – Oberpfalz südwestwärts vor; am Oberrhein lagen die Tiefsttemperaturen da noch bei Werten um 7 °C. Frostfrei blieb es am 7. Februar 2021 nur noch südlich einer Linie Trier – Passau. In den anderen Gebieten nahm der Frost an Schärfe zu, wenngleich zweistellige Minusgrade noch auf die Mittelgebirgsgipfel beschränkt blieben. Viele Wolken und Wind verhinderten zunächst noch eine stärkere Abkühlung. Das änderte sich am 8. Februar 2021, als über dem frisch gefallenen Schnee in den mittleren Landesteilen zum ersten Mal strenge Nachtfroste auftraten und beispielweise Aschersleben-Mehringen in Sachsen-Anhalt eine Tagestiefsttemperatur von -18,2 °C registrierte. Über dem weitgehend schneefreien Norden blieb die -10°C-Marke noch unangetastet, im Süden von Baden-Württemberg und Bayern lag die Temperatur noch immer lediglich ein oder zwei Grad unter Null.

Tagestiefstwerte der Temperatur von unter -20 °C traten zum ersten Mal am 9. Februar auf wie zum Beispiel in thüringischen Olbersleben mit -26,0 °C. Auch im norddeutschen Tiefland hatte sich mittlerweile gebietsweise eine Schneedecke ausgebildet und so konnte dort die Temperatur mancherorts ebenfalls weit absinken; Grambow-Schwennenz in Mecklenburg-Vorpommern meldete -17,5 °C. Vergleichsweise mild blieb es weiterhin südlich der Donau, wo nur leichter Frost auftrat; in Konstanz wurde mit gerade einmal -0,1 °C ein Frosttag nur denkbar knapp erreicht.

Die tiefsten Temperaturen der gesamten Kältewelle konnten am 10. Februar 2021 verzeichnet werden. Im hauptamtlichen Messnetz des Deutschen Wetterdienstes ist dabei Mühlhausen-Görmar in Thüringen mit -26,7 °C der Spitzenreiter; Dachwig, ebenfalls in Thüringen, steht dem mit -25,7 °C kaum nach. In der gesamten Mitte und im Osten des Landes lagen die Tiefstwerte der Temperatur verbreitet zwischen -15 und -20 °C.

Nach klarer Nacht wurde am 11. und 12. Februar 2021 schließlich auch im Süden vereinzelt die -20°C-Marke unterboten; das gelang beispielweise im nordbayerischen Bad Königshofen mit -21,4 °C. Auch sonst trat im größten Teil des Landes strenger Frost auf, Pforzheim-Ispringen meldete am 11. Februar 2021 -17,5 C, am 12. Februar 2021 verbuchte Lippstadt-Bökenförde in Nordrhein-Westfalen die deutschlandweit tiefste Tagestemperatur mit -22,9 °C.

Wenig Änderung brachten der 13. und der 14. Februar mit vor allem in den zentralen Landesteilen extremen Nachtfrosten von unter -20 °C. Milder ging es lediglich unmittelbar an der See sowie im schneearmen Westen zu, wo nur selten das Thermometer unter -10 °C absank.

Am 15. Februar 2021 verlagerte sich der strenge Nachtfrost in die Südosthälfte Deutschlands, während es von der Kölner Bucht bis zum Münsterland schon frostfrei blieb. Und der Folgetag sah bereits den größten Teil Deutschlands ganztägig im positiven Temperaturbereich, leichter Frost bis -3 °C beschränkte sich auf die östlichen und südöstlichen Landesteile.

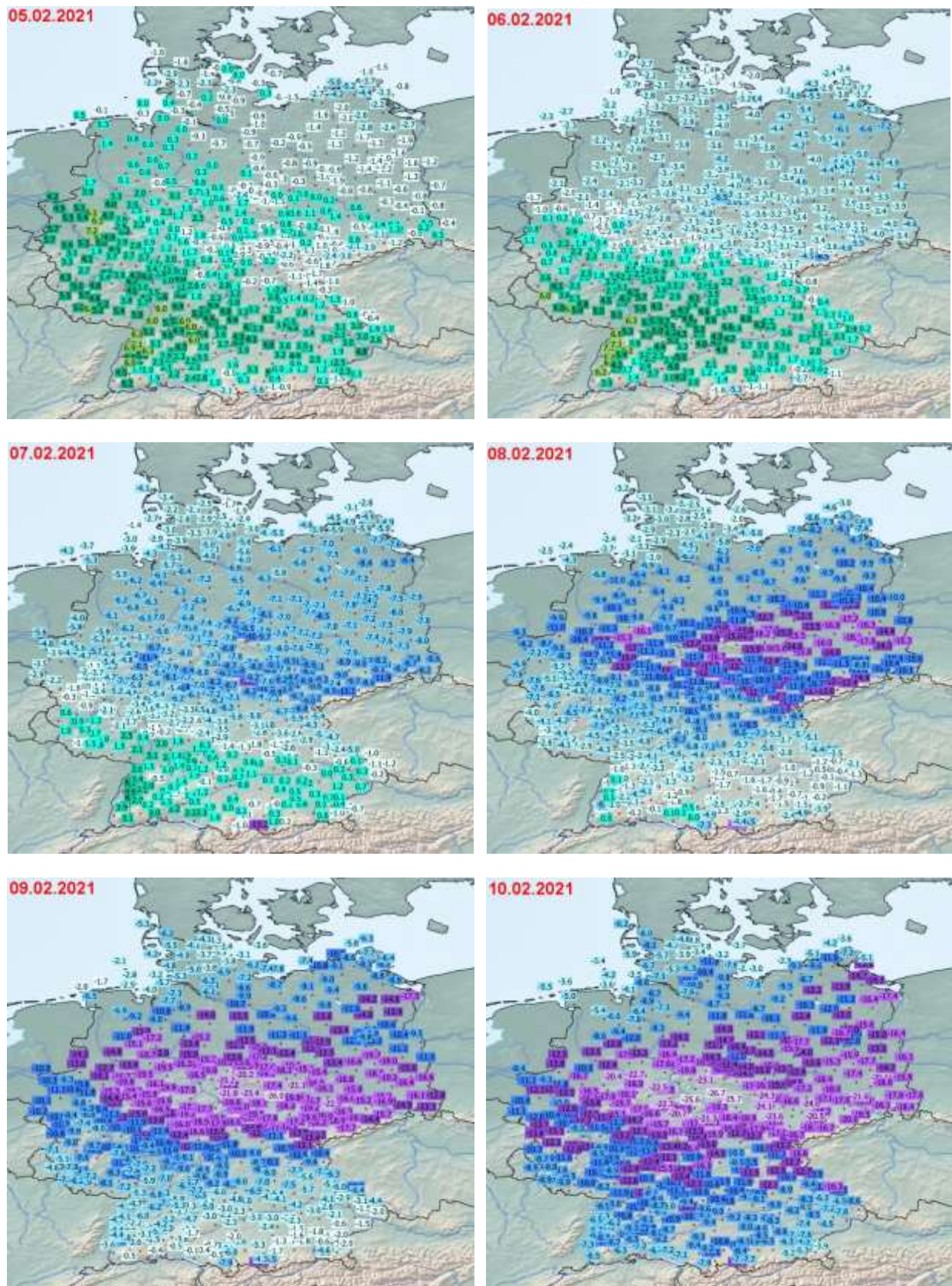


Abbildung 17a: Tagestiefsttemperaturen an Stationen im Messnetz des Deutschen Wetterdienstes vom 05. bis zum 10.02.2021 (Daten: DWD).

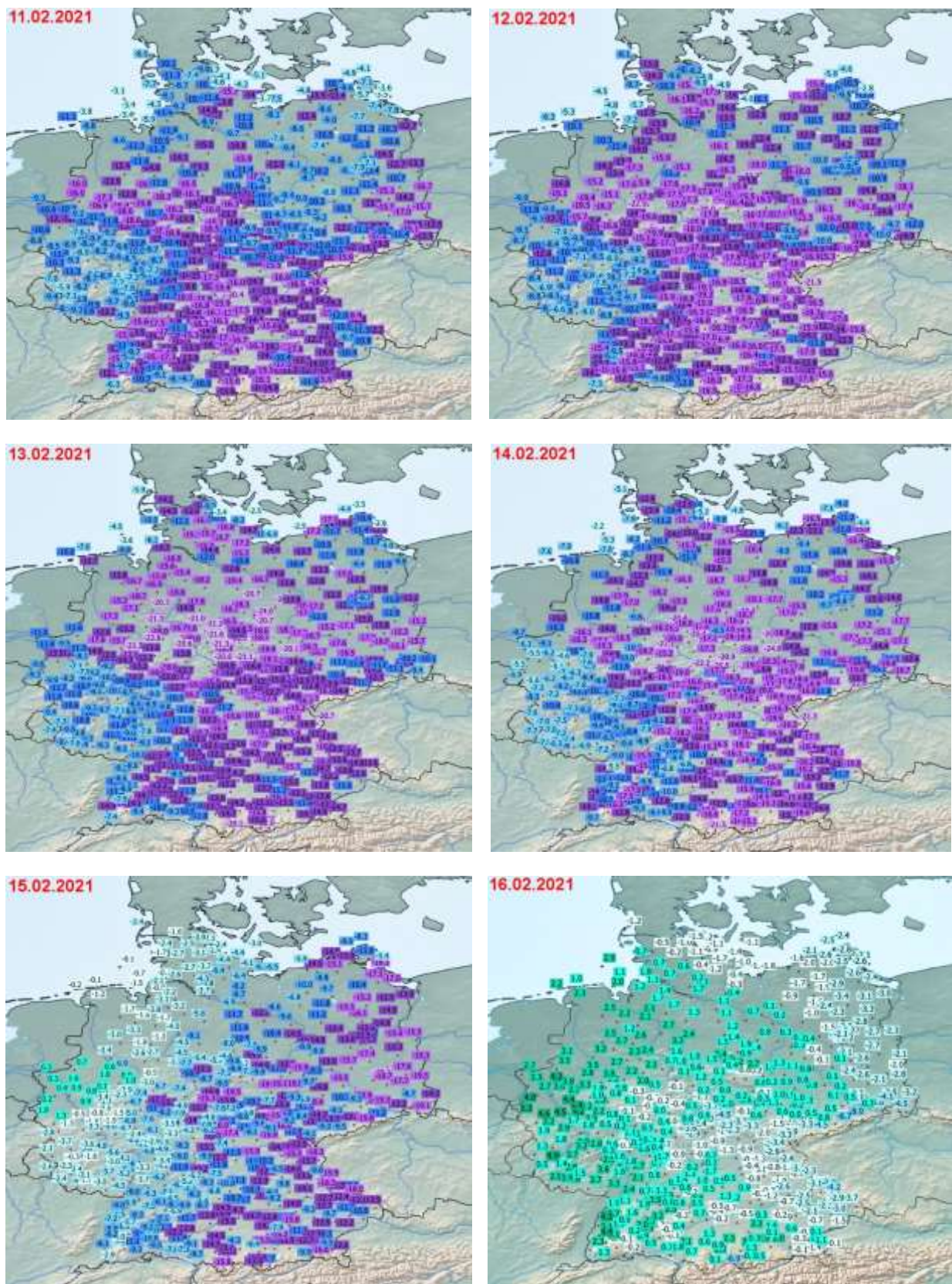


Abbildung 17b: Tagestiefsttemperaturen an Stationen im Messnetz des Deutschen Wetterdienstes vom 11. bis zum 16.02.2021 (Daten: DWD).

3. Auswirkungen

3.1. Niederschlags-, Schneehöhen- und Temperaturrekorde

Die Kältewelle des Februar 2021, die je nach Region in Deutschland 5 bis 9 Tage lang andauerte, war mit etlichen neuen Temperaturrekorden verbunden. Die rechte der beiden Abbildungen 18 zeigt die geographische Verteilung aller Stationen mit ihren jeweiligen Messwerten aus dem synoptischen Messnetz des Deutschen Wetterdienstes, an denen neue Dekaden- oder Monatsrekorde im Monat Februar aufgestellt wurden. Die meisten der neuen Temperaturrekorde konnten an Stationen in der Landesmitte vom Niederrhein bis nach Thüringen und Sachsen-Anhalt festgestellt werden. Aber auch in Vorpommern und in Schleswig-Holstein verzeichneten etliche Stationen neue Temperaturrekorde. Bei den Stationen im Süden Deutschlands handelt es sich – abgesehen von Rheinau-Memprechtshofen – um solche mit nur vergleichsweise kurzer Messreihe.

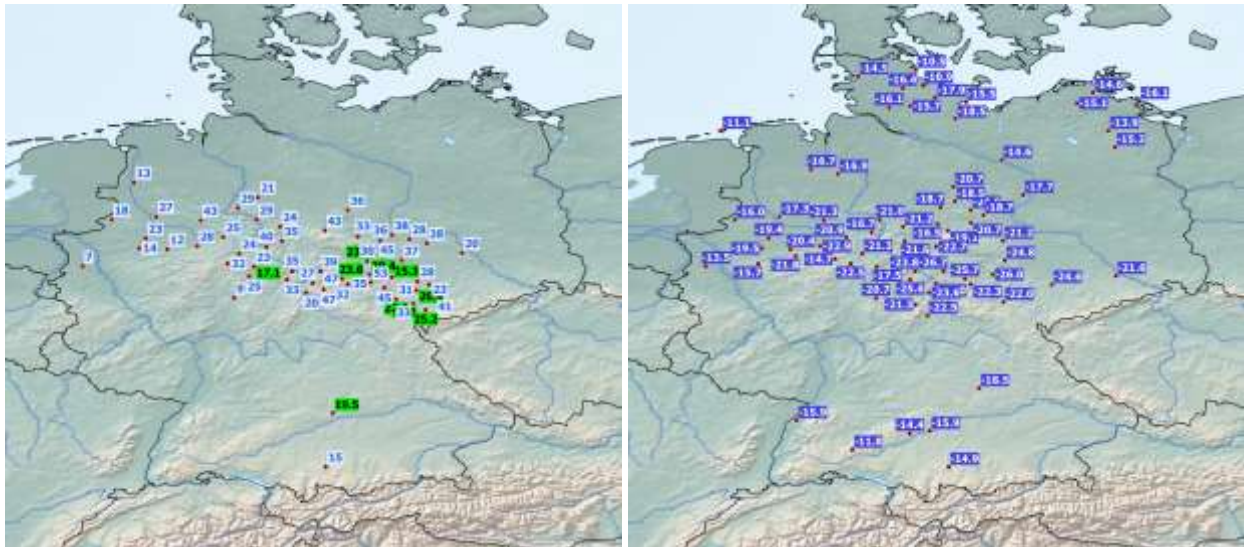


Abbildung 18: Stationen mit neuen Februar-Monatsrekorden von Schneehöhe und 24-Stunden-Niederschlagssumme (links) sowie Stationen mit neuen Dekaden- oder Monatsrekorden der Tiefsttemperatur (rechts), jeweils mit Angabe der gemessenen Werte in cm (Schneehöhe), in mm (in grün, Niederschlagsmenge) und °C (Temperatur; Daten: DWD).

Tabelle 1: Auswahl von Stationen mit neuen Dekaden- oder Monatsrekorden der Tiefsttemperatur für den Monat Februar (Daten: DWD).

Station	Höhe	BL	Datum	Rekord	Jahre
Mühlhausen/TH-Görmär	193 m	TH	10 02 2021	-26.7 °C	16
Olbereleben	160 m	TH	09 02 2021	-26.0 °C	15
Dachwig	170 m	TH	10 02 2021	-25.7 °C	48
Sontra	265 m	HE	10 02 2021	-25.6 °C	55
Querfurt-Mühle_Lodersleben	204 m	ST	14 02 2021	-24.8 °C	25
Starken berg-Tegkwitz	193 m	TH	10 02 2021	-24.6 °C	26
Helmstedt-Emmerstedt	110 m	NI	13 02 2021	-24.0 °C	12
Eschwege	156 m	HE	10 02 2021	-23.8 °C	71
Moorgrund_Gräfen-Nitzendorf	283 m	TH	10 02 2021	-23.6 °C	16
Lip pstadt-Bökenförde	92 m	NW	12 02 2021	-22.9 °C	40
Helmstedt-Emmerstedt	110 m	NI	12 02 2021	-22.7 °C	12
Herzberg	238 m	NI	13 02 2021	-22.7 °C	18
Ostheim_v.d.Rhön	312 m	BY	10 02 2021	-22.5 °C	42
Twistetal-Mühlhausen	295 m	HE	10 02 2021	-22.5 °C	22
Erfurt-Weimar	316 m	TH	14 02 2021	-22.3 °C	70

Tabelle 1 gibt Auskunft über einige Stationen, an denen neue Rekorde der Tiefsttemperatur entweder in der jeweiligen Monatsdekade (1. Dekade: 1.-10., 2. Dekade: 11.-20.) oder dem gesamten Monat Februar aufgestellt wurden. In der rechten Spalte repräsentiert der Zahlenwert die Länge der Messreihe der jeweiligen Station in Jahren.

Die tiefste Temperatur, die im Februar 2021 an der Station Mühlhausen-Görmär deutschlandweit verzeichnet werden konnte, stellt für diese Station gleichzeitig auch einen neuen Rekord dar. Und selbst an einigen Stationen mit langen Messreihen, die wie für Erfurt-Weimar oder Eschwege über die historisch kalten Februarmonate 1956 oder 1963 hinaus in die Vergangenheit zurückreichen, erreichten die Tiefsttemperatur neue Rekordwerte.

Tabelle 2: Auswahl von Stationen mit neuen Rekorden der größten Tagesniederschlagsmengen für den Monat Februar (Datengrundlage: DWD).

Station	Höhe	BL	Datum	Rekord	Jahre
Artern	164 m	SN	07 02 2021	23,0 mm	67
Dachwig	170 m	TH	06 02 2021	23,6 mm	48
Gera-Leumnitz	311 m	TH	07 02 2021	20,9 mm	69
Harburg	502 m	BY	07 02 2021	19,5 mm	23
Langenwetzendorf-Göttendorf	390 m	TH	07 02 2021	23,3 mm	14
Naumburg/Saale-Kreipitzsch	246 m	ST	07 02 2021	15,3 mm	13
Olbersleben	160 m	TH	07 02 2021	20,4 mm	15
Schauenburg-Elgershausen	317 m	HE	06 02 2021	17,1 mm	7
Schmieritz-Weltwitz	355 m	TH	07 02 2021	22,6 mm	27
Treuen	465 m	SN	07 02 2021	25,2 mm	15

Tabelle 3: Auswahl von Stationen mit neuen Rekorden der größten Schneehöhe für den Monat Februar (Daten: DWD).

Station	Höhe	BL	Datum	Rekord	Jahre
Weimar-Schöndorf	325 m	TH	08 02 2021	53 cm	54
Dachwig	170 m	TH	08 02 2021	47 cm	48
Waltershausen	348 m	TH	09 02 2021	47 cm	23
Jena(Sternwarte)	155 m	TH	08 02 2021	45 cm	134
Querfurt-Mühle_Lodersleben	204 m	ST	10 02 2021	45 cm	25
Bad_Harzburg	201 m	NI	09 02 2021	43 cm	8
Bielefeld-Deppendorf	105 m	NW	09 02 2021	43 cm	14
Lichten tanne	353 m	SN	13 02 2021	41 cm	60
Wahlsburg-Lippo ldsberg	176 m	HE	09 02 2021	40 cm	62
Mühlhausen/TH-Görmär	193 m	TH	11 02 2021	39 cm	16
Bernburg/Saale(Nord)	84 m	ST	09 02 2021	38 cm	94
Bad_Lauchstädt	118 m	ST	09 02 2021	37 cm	63
Aschersleben-Mehringen	107 m	ST	09 02 2021	36 cm	14
Helmstedt-Emmerstedt	110 m	NI	09 02 2021	36 cm	12
Eschwege	156 m	HE	11 02 2021	35 cm	72
Moringen-Lutterbeck	240 m	NI	11 02 2021	35 cm	30
Olbersleben	160 m	TH	10 02 2021	35 cm	15
Langenwetzendorf-Göttendorf	390 m	TH	09 02 2021	33 cm	14
Quedlinburg	142 m	ST	09 02 2021	33 cm	69
Sontra	265 m	HE	08 02 2021	33 cm	55
Erfurt-Weimar	316 m	TH	10 02 2021	32 cm	70

Kalte winterliche Witterungsabschnitte oder kalte ganze Wintermonate zeichnen sich in der Regel durch keine besonders großen Niederschlagsmengen aus. Zu Beginn der kalten Episode im Verlauf der ersten Dekade des Februar 2021 kam es im Bereich einer quasi-stationären Luftmassengrenze zu länger anhaltenden Niederschlägen, die sich insbesondere auf der kalten Seite zu größeren Mengen summierten und überwiegend oder ausschließlich als Schnee niedergingen. Manche Stationen verzeichneten neue Monatsrekorde der Tagesniederschlagsmenge für einen Februarmonat; Abbildung 16 (links) zeigt die geographische Verteilung der Stationen mit neuem Rekord-Tagesniederschlag. Die meisten neuen Monatsrekorde traten in Teilen von Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen auf. Die zugehörigen Niederschlagswerte an den Stationen mit neuen Rekorden sowie, das Datum und die Länge der jeweiligen Messreihe listet Tabelle 2 auf. So stellt die Tagesniederschlagsmenge von 23,0 mm im sächsischen Artern einen Niederschlagswert dar, wie er dort in den 67 Jahren zuvor in einem Februar noch nicht aufgetreten war. Ähnlich bemerkenswert erscheint der Wert 20,9 mm in Gera-Leumnitz, wo die Zeitreihe 69 Jahre in die Vergangenheit zurückreicht.

Bei neuen Niederschlagsrekorden, die vielfach durch andauernde Schneefälle zustande kamen, verwundert es nicht, dass auch neue Rekorde der Schneehöhe verzeichnet werden konnten. Sie traten in einem rund 200 Kilometer breiten Streifen auf, der sich vom Münsterland/südliches Emsland über das südliche Niedersachsen bis hin zum Vogtland erstreckte (Abbildung 16 links). Tabelle 3 gibt Auskunft über die Stationen mit den neuen Schneehöhenrekorden, dem Datum und der Länge der zugrunde liegenden Messreihe in Jahren. In der hier betrachteten Stationsauswahl der synoptischen bzw. Klimahauptstationen meldete Weimar-Schöndorf am Morgen des 8. Februar 2021 eine Schneedecke mit einer Mächtigkeit von 53 cm, mehr als an jedem anderen Februartag der zurück liegenden 54 Jahre. Auch in Jena (Sternwarte) lag der Schnee an einem Februartag der letzten 134 Jahre mit 45 cm noch nie so hoch.

Starker Wind, der im Binnenland in der Nordhälfte Deutschlands in Böen verbreitet stürmisch (Bft 8) unterwegs war und in Küstennähe vereinzelt mehr als 100 km/h erreichte, führte zu größeren Schneeverfrachtungen (Abbildung 19). Insbesondere dort, wo bei Dauerfrost die größten Schneefälle auftraten und gleichzeitig der Wind kräftig wehte, legten Schneeverwehungen selbst auf einigen Autobahnabschnitten den Verkehr für viele Stunden lahm.



Abbildung 19: Schneeverwehungen bei Flensburg (Quelle: Laura Kranich, <https://www.facebook.com/lkfotographie>).



Abbildung 20: Eisbruch in hessischen Mittelgebirgen (Quelle: <https://janeifert.de>).

Auch bei der Deutschen Bahn wurde der Fernverkehr insbesondere in weiten Teilen Deutschlands stark eingeschränkt oder komplett eingestellt. Auf den Strecken von Berlin in Richtung Hannover/Köln waren keine Züge unterwegs, der Fernverkehr von Hamburg aus in Richtung Dortmund/Köln, Hannover, Frankfurt und München ruhte. Weitere Streckensperrungen gab es in Sachsen. Darüber hinaus entfielen sämtliche ICE-Verbindungen zwischen Frankfurt/Main und Amsterdam sowie die IC-Verbindungen zwischen Berlin und Amsterdam. Mit stark eingeschränktem Fahrplan, Zugausfällen und Verspätungen waren auch private Bahnunternehmen in Mitteldeutschland unterwegs. Ein Ersatzverkehr mit Bussen konnte angesichts der Straßenverhältnisse nicht angeboten werden (Abbildung 21).

Dort, wo in der Höhe feucht-warme Luft über der aus Nordosten bodennah einströmenden Kaltluft lag, kam es zu Beginn des kalten Witterungsabschnittes in einem schmalen Bereich und vor allem in der Nacht vom 6. auf den 7. und am Tage des 7. Februar 2021 zu anhaltendem Eisregen. Der Streifen reichte vom Süden Nordrhein-Westfalens über die Mitte Hessens bis nach Thüringen und in den Norden Bayerns. Die Eisansammlungen erreichten örtlich ein enormes Gewicht und lösten in einigen Wäldern Eisbruch aus (Abbildung 20).



Abbildung 21: Eisgang auf dem Mittellandkanal (links und mitte), Hauptbahnhof Jena 08.02.2021 (Quellen: <https://twitter.com/feminin90927197> (links), Veronika Burkhardt (mitte), Marco Rank (rechts)).

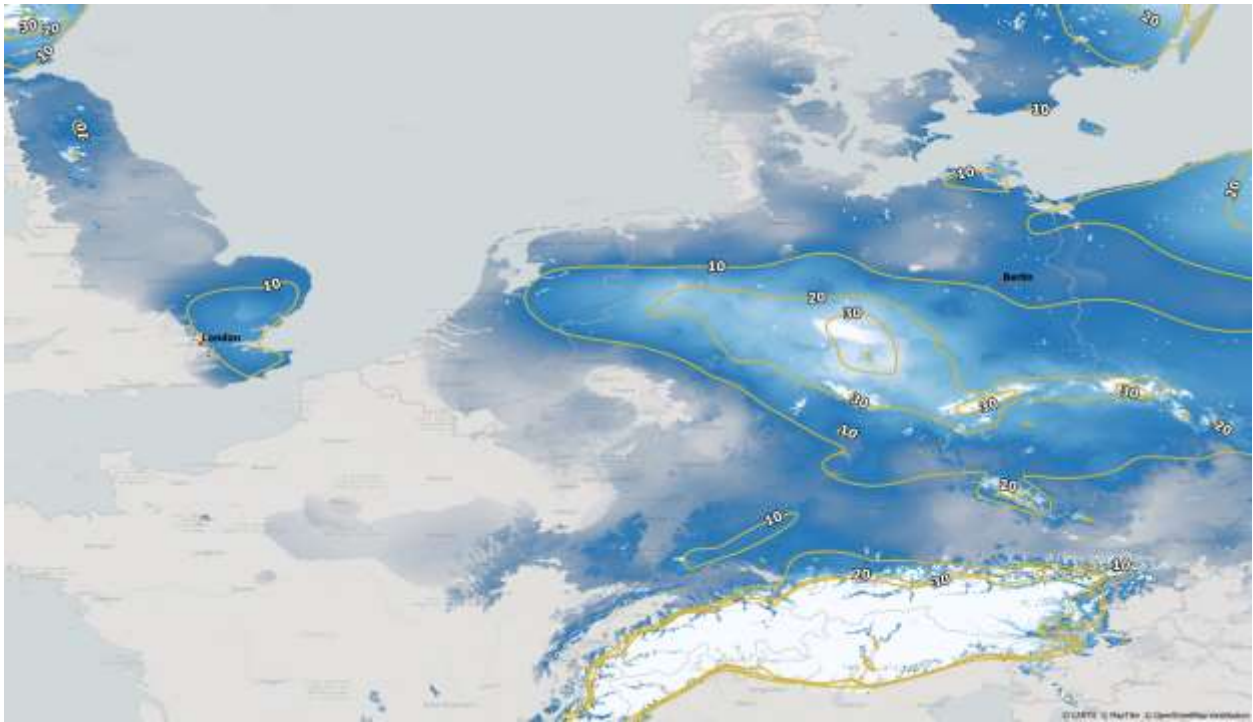


Abbildung 22: Analyse Schneehöhe Mitteleuropa in cm, 11.02.2021, 06 UTC (Daten: ICON D2, DWD).

Der strenge Dauerfrost führte auf einigen Flüssen und Kanälen zu Eisgang, die den Fährverkehr vor allem auf der Ostsee und die Binnenschifffahrt erheblich erschwerten. Auf dem Mittellandkanal in Sachsen-Anhalt gab es für einige Schiffe kein Vorankommen mehr, sie steckten im Eis fest. Auch auf dem Elbeseitenkanal ruhte der Schiffsverkehr. Die Eisbrecher wurden an Elbe und Weser beordert, um dort die Schifffahrt aufrecht zu erhalten. Auf der Oder hingegen musste der Betrieb eingestellt werden. In der Ostsee froren einige der Bodden und Haffs ganz oder teilweise zu (zum Beispiel der Greifswalder Bodden oder das Stettiner Haff), selbst im Wattenmeer in der Nordsee bildete sich Eis. Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie gab am 14. Februar 2021 zum ersten mal seit 4 Jahren wieder eine Eiskarte für die Nordseeküste heraus.

Ungewöhnlich heftige Schneefälle traten auch in anderen Teilen Mittel- und Westeuropas auf. Am 11. Februar 2021 lag nahezu die gesamte Niederlande unter einer geschlossenen Schneedecke (Abbildung 22), auch in Belgien gab es einige Zentimeter Schnee wie auch in Frankreich in einem Streifen von den Vogesen westwärts bis in den Großraum Paris. Die Mächtigkeit der Schneedecke erreichte dort allerdings keine großen Werte. Anders in England: Dort hatte die kalte kontinentale westwärts strömende Luftmasse genug Zeit und Strecke, über dem vergleichsweise warmen Nordseewasser viel Feuchtigkeit aufzunehmen und als Schnee im Osten und Südosten Englands wieder abzuladen. In Andrewsfield, 50 Kilometer nordöstlich von London, lag der Schnee am Morgen des 8. Februar 2021 26 cm hoch. Eine Schneedecke bildete sich über dem gesamten Osten Englands aus.

3.2. Saharastaub

Dem Beginn der kalten Witterungsepisode ging unmittelbar ein massiver Transport von Staub aus dem nordwestlichen Afrika ins südliche Mitteleuropa voraus. Damit ein intensiver meridionaler Luftmassentransport in Gang kommen kann, bedarf es der Ausbildung eines kräftigen Höhentrog mit einer großen Amplitude. Ein solcher konnte am 5. und 6. Februar 2021 analysiert werden, wie er sich mit seiner Achse von den Britischen Inseln über Spanien weit nach Süden über den gesamten Nordwesten Afrikas bis in den Norden des Senegal erstreckte. Abbildung 23 zeigt den Höhentrog in der 700 hPa-Geopotentialfläche am 6. Februar 2021 um 00 UTC.

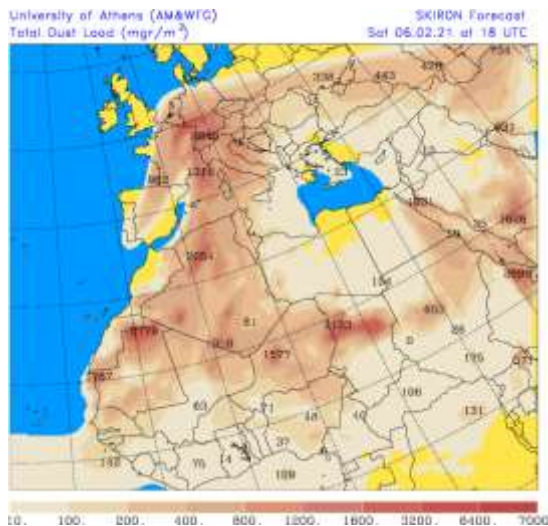


Abbildung 23: Massive Staubfracht über Süd- und Mitteleuropa (Total Dust Load, links), Vorhersage für 06.02.2021, 18 UTC. Erhebliche Staubkonzentration und Lichtstreuung (rechts; Quelle: University of Athens, <https://forecast.uoa.gr/en/forecast-maps/dust/europe> (links); Foto: Karlsruhe, 06.02.2021, 14:45 MEZ, Bernhard Mühr).

Unter der hebungsaktiven Vorderseite des Höhentrogos formierte sich das Bodentief „Tristan“ mit Zentrum über Spanien. Auf der Ostseite des Bodentiefs etablierte sich ein vergleichsweise starker Luftdruckgradient, der sich über den zentralen Landesteilen Algeriens in Mittelwinden aus Süd mit rund 20 kt manifestierte. Vor der über Nordafrika langsam ostwärts schwenkenden Kaltfront waren die Winde am stärksten, etliche Stationen meldeten „Sandsturm“, an der Mittelmeerküste Algeriens erreichte die Temperaturen Werte bis 31 °C. Große Mengen Sand und Staub wurden durch den bodennahen starken Wind aufgewirbelt und gelangten in die Atmosphäre, wo sie in etwa 3000 bis 4000 Metern Höhe das Höhen-Starkwindbereich an der Ostflanke des Höhentrogos erfasste (Abbildung 24). Dort ging es mit Windgeschwindigkeiten von 100 bis 120 km/h über das westliche Mittelmeer nordwärts über Südfrankreich und die Alpen hinweg bis in den Süden und die Mitte Deutschlands. Im Satellitenbild (Abbildung 25) vom 6. Februar 2021 tritt der Staub als gelblich-braune Schlieren in Erscheinung, die weite Teile des westlichen Mittelmeerraums, Norditalien und die Alpen überdecken. Für den Abend desselben Tages wurde für Süd- und Südwestdeutschland eine Staubmenge von rund 2000 Milligramm pro Quadratmeter berechnet (Abbildung 23 links). Der Staub verlässt die untersten Atmosphärenschichten entweder bei Niederschlag in Form einer nassen Deposition oder sinkt als trockene Deposition langsam zum Erdboden hin ab. Beide Prozesse waren in Deutschland wirksam.

Die große in den unteren Atmosphärenschichten enthaltene Staubmenge ließ sich am 6. Februar 2021 in Süddeutschland mit bloßem Auge schon alleine an der gelb-bräunlichen Himmelfärbung erkennen (Abbildung 23 rechts). Auch an den Folgetagen hinterließ die Fracht aus der Sahara ihre Spuren noch längere Zeit auf Fahrzeugen und anderen Oberflächen.

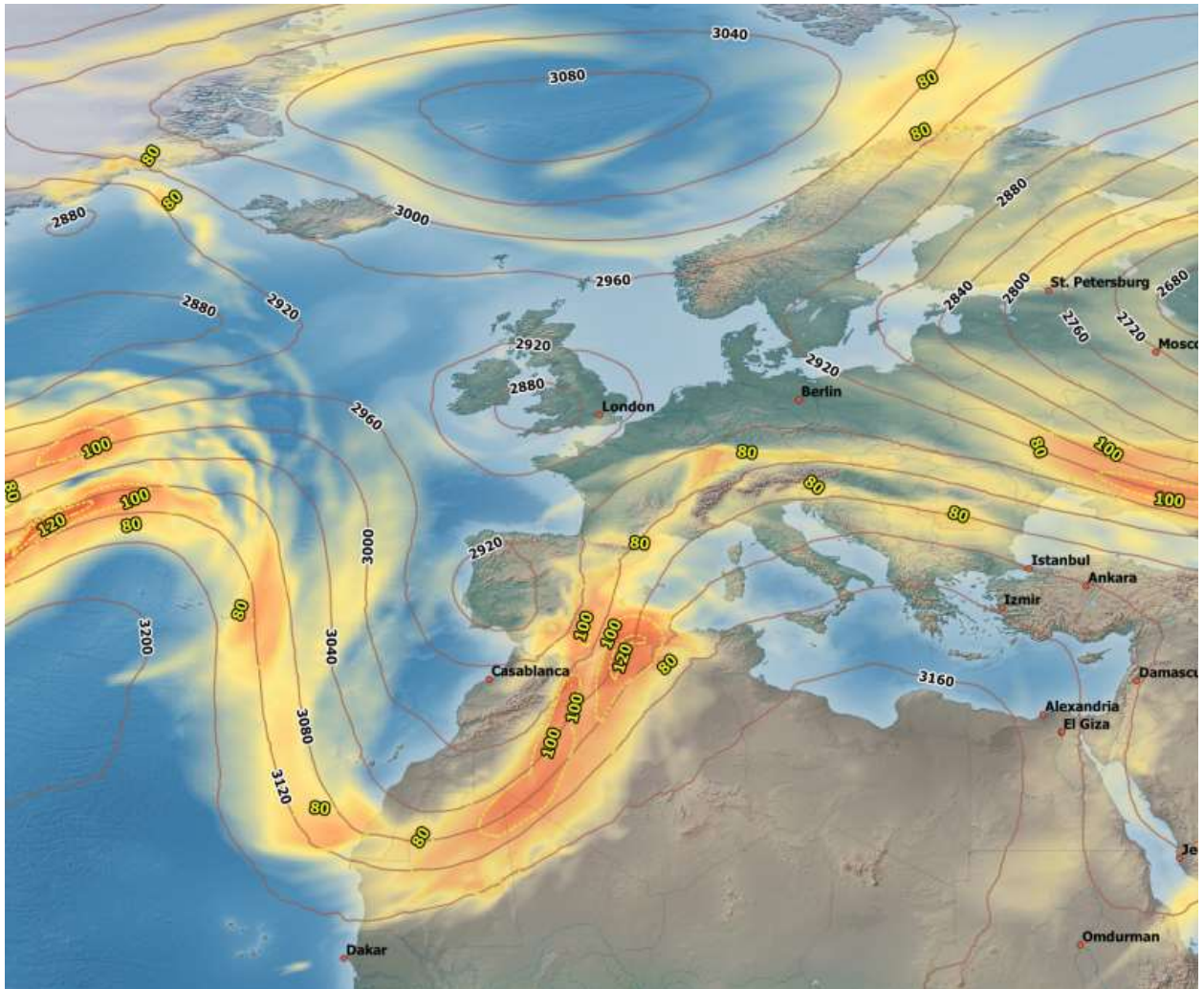


Abbildung 24: 700 hPa-Geopotential-Analyse und Windgeschwindigkeit. 06.02.2021, 00 UTC (Daten: GEM).



Abbildung 25: Satellitenbild (MODIS-EU), 06.02.2021 (Quelle: DLR-DFD).

4. Historische Einordnung der Kältewelle im Februar 2021

Tabelle 4 zeigt eine Auswahl von Stationen im Messnetz des Deutschen Wetterdienstes, deren Messreihe mindestens bis in das Jahr 1929 zurückreicht. Für die Stationen wird jeweils die Anzahl der Tage pro Monat angegeben, an denen die Höchsttemperatur unter einem Schwellenwert blieb, hier sind das die Grenzen 0°C, -5°C, -10°C, -15°C und -20°C. Der Vergleich der Kältewelle des Februar 2021 mit denen der extrem kalten Februarmonate 1929 und 1956 offenbart hinsichtlich Intensität und Andauer enorme Unterschiede. Beispielsweise verzeichnete Bremen im Februar 1929 und 1956 jeweils 23 Eistage (Tage mit einer Höchsttemperatur unter 0 °C), im Februar 2021 konnten nur 9 solcher Tage gezählt werden. Ganz ähnlich verhält es sich bei den anderen über ganz Deutschland verteilten Stationen. Noch deutlicher wird der Unterschied der „Kälteintensität“ beim Blick auf die Strenge des Dauerfrostes. Während im Februar 2021 in der hier betrachteten Stationsauswahl überhaupt nur auf dem Brocken, dem Fichtelberg und dem Kahlen Asten an wenigen Tagen die Temperatur unter -10 °C verharrte, war das in den beiden Vergleichsmonaten an allen untersuchten Stationen der Fall; die Mehrzahl der Stationen konnte sogar mit einigen Tagen mit einem Tagesmaximum der Temperatur von weniger als -15 °C aufwarten.

Abbildung 26a-d zeigt den Verlauf der Tageshöchsttemperaturen an vier Stationen aus dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes im Zeitraum Februar der Jahre 1929, 1956 und 2021. Sowohl in Bezug auf die Andauer der Dauerfrostepisode und ihrer Intensität kann an allen 4 betrachteten Orten der Februar 2021 nicht ansatzweise mit den Vergleichsmonaten aus den Jahren 1929 und 1956 mithalten. Ähnliches gilt auch für die Februarmonate der Jahre 1963 und 1986 (nicht gezeigt). In Görlitz (Abbildung 26a) trat an 10 aufeinanderfolgenden Tagen vom 6. bis zum 15. Februar 2021 Dauerfrost auf, allerdings wurde in diesem Zeitraum an allen Tagen wärmer als -10 °C.

Sowohl in den Jahren 1929 und 1956 zeichnete sich der Februar jeweils fast den ganzen Monat hindurch auch tagsüber durch strengen Dauerfrost auf, nur an zwei Tagen kletterte das Thermometer in den zarten Plusbereich. Und am 9. Februar 1956 lag die Höchsttemperatur in Görlitz bei -21,3 °C. Auch auf dem Fichtelberg, dem höchsten Berg des Erzgebirges (Abbildung 26b), kam die Temperatur im Februar 2021 nur an zehn Tagen in Folge nicht über Null Grad hinaus. Der Februar 1956 hingegen präsentierte sich mit einer ununterbrochenen Serie von

Tabelle 4: Anzahl der Tage mit Höchsttemperaturen unterhalb bestimmter Schwellenwerte (0, -5, -10, -15 und -20 °C) an einer Auswahl von Stationen in Deutschland. Vergleich der Februarmonate 1929, 1956 und 2021 (Daten: DWD).

	1929					1956					2021				
	<-20	<-15	<-10	<-5	<0	<-20	<-15	<-10	<-5	<0	<-20	<-15	<-10	<-5	<0
Angermünde	0	3	7	19	26	0	3	7	14	26	0	0	0	3	10
Bremen	0	0	3	12	23	0	0	3	15	23	0	0	0	0	9
Brocken	0	5	9	14	26	1	5	13	25	29	0	1	6	8	10
Cottbus	0	4	6	17	25	0	2	7	19	27	0	0	0	3	9
Fichtelberg	2	5	10	17	25	1	6	17	26	29	0	0	3	8	12
Görlitz	0	2	7	17	26	1	3	7	21	27	0	0	0	4	10
Göttingen	0	2	5	8	22	0	1	3	17	26	0	0	0	3	8
Greifswald	0	0	7	18	26	0	0	2	12	25	0	0	0	0	9
Jena (Sternwarte)	0	4	5	13	24	0	1	6	19	26	0	0	0	3	8
Kahler Asten	0	4	6	13	23	1	2	11	23	28	0	0	2	7	10
Kaiserslautern	0	0	3	6	17	0	1	3	13	26	0	0	0	1	5
Kirchdorf/Poel	0	0	2	14	26	0	0	2	10	22	0	0	0	0	8
Lindenberg	0	4	6	18	26	0	2	6	20	26	0	0	0	2	10
Marnitz	0	1	5	17	26	0	0	5	15	24	0	0	0	1	9
Nürnberg	0	1	4	7	18	0	0	4	15	24	0	0	0	2	7
Oberstdorf	0	2	3	8	19	0	2	6	17	26	0	0	0	1	3
Potsdam	0	2	6	14	25	0	1	3	17	25	0	0	0	2	9
Trier-Zewen	0	0	2	6	12	0	0	1	8	24	0	0	0	0	4
Waren (Müritz)	0	2	6	20	27	0	0	5	14	24	0	0	0	1	9

Tabelle 5: Monatsmitteltemperaturen der kältesten Februarmonate in den Bundesländern und Deutschland seit 1881, zum Vergleich auch die Monatsmittelwerte des Februar 2021 (Quelle: www.wettergefahren-fruehwarnung.de; Daten: DWD).

	Jahr	Monat	BB BE	BW	BY	HE	MV	NI HH/HB	NW	RP	SH	SL	SN	ST	TH	DE
	▲▲		▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲
1	1956	02	-9.89	-10.19	-11.28	-9.43	-8.35	-8.07	-8.08	-9.12	-6.86	-8.72	-11.49	-10.30	-10.90	-9.62
2	1929	02	-11.50	-8.40	-10.46	-8.87	-11.14	-9.08	-6.74	-7.64	-8.75	-7.03	-11.10	-11.29	-10.93	-9.60
3	1895	02	-5.56	-8.20	-9.01	-6.99	-5.70	-5.28	-5.51	-6.89	-5.46	-6.65	-6.92	-5.85	-7.55	-6.82
4	1947	02	-8.70	-3.85	-5.34	-6.54	-8.44	-7.51	-5.52	-5.04	-6.93	-4.22	-8.61	-8.88	-8.51	-6.62
5	1986	02	-7.40	-6.22	-6.95	-6.19	-6.05	-5.86	-5.20	-5.25	-4.81	-4.46	-8.06	-7.74	-7.67	-6.43
6	1963	02	-5.94	-5.55	-7.07	-5.47	-5.86	-5.20	-3.91	-4.84	-4.85	-4.16	-6.29	-6.10	-6.60	-5.74
94	2021	02	0.50	2.96	1.44	1.46	0.90	1.92	3.22	3.37	1.73	4.13	0.41	0.88	0.25	1.71

29 Eistagen; zudem begann die Kältewelle seinerzeit bereits im Januar zuvor. Der kälteste Tag des Februar 1956, der 1., konnte gar mit einer Höchsttemperatur von -21.7 °C auf dem Fichtelberg aufwarten. Im Februar 2021 erfasste die kontinentale Kaltluft den Westen und Süden nur in stark abgeschwächter Form, der kalte Witterungsabschnitt dauerte dort auch nur wenige Tage. So blieb in Kaiserslautern (Abbildung 26c) die Temperatur am Tage nur fünf Mal hintereinander unter dem Gefrierpunkt und bis zu den Alpen kam die Kaltluft kaum voran.

Oberstdorf (Abbildung 26d) verzeichnete nur 3 Eistage, die zudem noch moderat ausfielen – lediglich am 11. Februar 2021 wurde es nicht wärmer als $-6,1\text{ °C}$. Zum Vergleich: Am 10. Februar 1956 erreichte die Tageshöchsttemperatur in Oberstdorf gerade einmal $-19,6\text{ °C}$.

Tabelle 5 listet die kältesten Februarmonate mit ihrer Monatsmitteltemperatur auf, die seit 1881 in Deutschland bzw. den Bundesländern verzeichnet wurden. Der Monat Februar 2021 findet dort noch nicht einmal einen Platz in der kälteren Hälfte der vergangenen 140 Jahre. Mit großem Abstand liegen der Februar 1956 und 1929 und jeweils einer Mitteltemperatur von $-9,6\text{ °C}$ an der Spitze der Liste der kältesten Februarmonate. Angesichts des extrem warmen letzten fiel der Februar 2021 im Westen und Süden Deutschlands sogar noch deutlich zu warm aus. Nur in der Nordosthälfte blieben die Monatsmitteltemperaturen unter ihren langjährigen Vergleichswerten.

5. Bewertung

Ein kalter Witterungsabschnitt, der im Osten und in der Mitte Deutschlands rund 10 Tage lang andauerte, brachte örtlich neue Rekordtiefsttemperaturen; vereinzelt lagen die nächtlichen Tiefstwerte der Temperatur unter -25 °C . Dennoch kann der Februar 2021 weder hinsichtlich Intensität noch Andauer der Kälte als extrem bezeichnet werden. Ein Blick in die Wetterannalen fördert da ganz andere Februarmonate zutage, in denen den ganzen Monat über Dauerfrost herrschte und in denen die Kälte ganz Mitteleuropa in eisigem Griff hielt; das war beispielsweise in den Jahren 1929, 1947, 1956 oder 1963 der Fall, auch der Februar 1986 kann als außergewöhnlich kalt bezeichnet werden. Im Februar 2021 machte sich zudem die Kälte im Westen und Süden des Landes nur in stark abgeschwächter Form bemerkbar und am Alpenrand konnten – wie zum Beispiel in Oberstdorf – lediglich drei Eistage registriert werden.

Zu Beginn des kalten Witterungsabschnittes etablierte sich quer über Deutschland eine Luftmassengrenze, die sich mehrere Tag lang nur wenig verlagerte. Auf der kalten Seite gingen gebietsweise anhaltende und ergiebige Schneefälle nieder, die mancherorts zu neuen Rekordschneehöhen für einen Februarmonat führten. Die größten Schneehöhen und die meisten Schneehöhenrekorde traten in einem rund 100 km breiten Streifen vom Münsterland bis nach

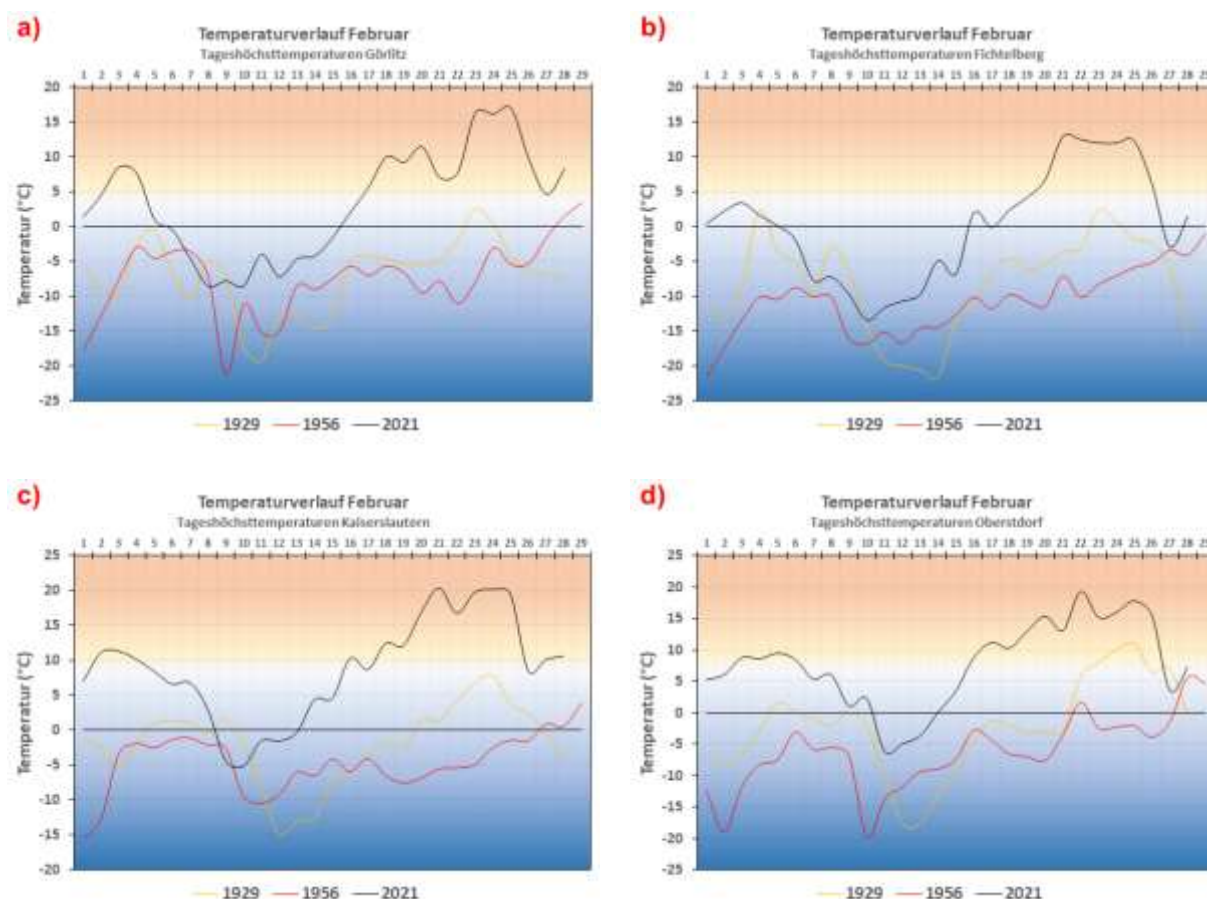


Abbildung 26a-d: Verlauf der Tageshöchsttemperaturen an den Stationen Görlitz (a), Fichtelberg (b), Kaiserslautern (c) und Oberstdorf (d) in den Februarmonaten der Jahre 1929, 1956 und 2021.

Thüringen und ins südliche Sachsen-Anhalt auf. Besonders bemerkenswert erscheint dabei die Tatsache, dass an einigen Stationen sogar neue Monatsrekorde der 24-stündigen Niederschlagssumme festgestellt werden konnten und die Tagesniederschläge dort auch im Flachland ausschließlich als Schnee niedergingen. In einem schmalen Übergangsbereich vor allem in Teilen Hessens, Bayerns und Nordrhein-Westfalens kam es zu stärkerem Eisregen und Eisbruch.

Ein starker Luftdruckgradient führte auf der Nordseite der Luftmassengrenze verbreitet zu stürmischen Böen und Sturmböen, die teilweise auch die Gebiete mit dem stärksten Schneefall und den größten Schneehöhen erfassten und dort den lockeren Schnee insbesondere in freien Lagen zu hohen Verwehungen auftürmten. Der Straßen- und Bahnverkehr kam gebietsweise zum Erliegen oder wurde eingestellt. Eisgang behinderte zudem auf einigen Kanälen die Binnenschifffahrt, Eisrecher waren im Einsatz. Auch manche Bodden und Haffs in der Ostsee und sogar küstennahe Bereiche der Nordsee waren einige Tage lang zugefroren. Im Februar 1963 präsentierte sich hingegen der Bodensee vollständig zugefroren, genauso wie Flüsse und Kanäle von den Niederlanden bis Nordostfrankreich (Seine, Rhone). Auch der Rhein zeigte sich zwischen Köln und Emmerich eisbedeckt. Ähnlich im Februar 1956, als sich der Rhein beispielsweise bei Mainz komplett zugefroren präsentierte.

Internetquellen:

- <https://www2.bsh.de/aktdat/eisdienst/AktuellerWochenbericht.pdf>
- <https://www.rnd.de>
- <https://www.mdr.de/sachsen-anhalt/magdeburg/boerde/mittellandkanal-wegen-eis-gesperrt-schiffe-eingefroren-100.html>
- <https://binnenschifffahrt-online.de/2021/02/haefen-wasserstrassen/18979/dauerfrost-legt-schifffahrt-auf-norddeutschen-kanaelen-auf-eis/>
- <https://wasserundeis.com/2021/02/15/eiswetter-an-der-nordseekuste/>
- <https://forecast.uoa.gr/en/forecast-maps/dust/europe>
- <https://twitter.com/feminin90927197>
- <https://www.facebook.com/lkfotographie>
- <https://www.livescience.com/polar-vortex-disruption-snowy-weather.html>
- <https://www.severe-weather.eu/global-weather/stratosphere-major-winter-warming-watch-january-2021-fa/>
- <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/sudden-stratospheric-warming-and-polar-vortex-early-2021>
- <https://janeifert.de/>
- <https://www.washingtonpost.com/weather/2021/01/05/polar-vortex-split-cold-snow/>

6. Kontakt

CEDIM Head Office

Susanna Mohr

E-mail: info@cedim.de

Phone: +49 721 608 23522

KIT Public Relations

Monika Landgraf

E-mail: monika.landgraf@kit.edu

Phone: +49 721 608 48126