

*Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz
GbS-Bericht Nr. 1048*

Meteorologische Ausbreitungsbedingungen im Bereich des Forschungszentrums Jülich im Jahr 2021

A. Knaps, E. Kümmerle, P. Ney

April 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	3
2	Einleitung	5
3	Meteorologische Ausbreitungsbedingungen 2021	6
3.1	Windrichtung	6
3.2	Windgeschwindigkeit	7
3.3	Diffusionskategorie	8
3.4	Niederschlag	9
3.5	Ergänzende meteorologische Größen	10
3.6	Klima	11
3.7	Unterschiede zwischen meteorol. und klimatologischen Messungen	12
A	Tabellen und Abbildungen	13

Tabellenverzeichnis

1	Instrumentierung nach KTA 1508	5
2	Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung des Windes 2021	7
3	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit 2021 nach KTA 1508	8
4	Verteilung der Niederschlagsintensität 2021 nach KTA 1508	10
A.1	Relative Häufigkeitsverteilung der Diffusionskategorien 2021	13
A.2	Jahresmittelwerte 1961–1999	14
A.2	Jahresmittelwerte 2000–2021 (Fortsetzung)	15

Abbildungsverzeichnis

1	Windrose 2021	6
A.1	Klimadiagramm: zeitlicher Verlauf ausgewählter Klimadaten	16

1 Vorwort

Die Wetterstation wurde in den Jahren 1963 und 1964 im Stetterbacher Forst auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich errichtet. Eine Besonderheit an der Station ist der 124 m hohe Gittermast (im Folgenden als *Turm* bezeichnet). In der Zeit vor 1964 wurden kontinuierliche Messungen an einer kleineren Wetterstation beim heutigen Gebäude 04.3 (Geschäftsbereich Sicherheit und Strahlenschutz) durchgeführt. Auf dem Grünstreifen vor dem Gebäude befand sich ein eingezäuntes meteorologisches Messgelände. Dort stand u.a. ein 35 m hoher Mast, an dem Temperatur- und Windprofile erfasst wurden. Die Aufzeichnungen erfolgten mit Linienschreibern auf Diagrammpapier oder in Tabellenform als Ergebnis regelmäßiger Ablesungen.

Bei der Planung des heutigen Wasserturms standen zwei Ziele im Vordergrund: Zum Ersten wurde der Turm für die Realisierung der Messungen im Rahmen der Umgebungsüberwachung geplant. Diese Messungen beinhalten die Ermittlung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung in 30 m Höhe sowie die Bestimmung des Temperaturgradienten zwischen 20 m und 120 m Höhe. Der Temperaturgradient und die Windgeschwindigkeit sind die Eingangsgrößen für die Bestimmung der Turbulenz. Zum Zweiten war der Turm als Quellpunkt für Ausbreitungsexperimente in variablen Höhen vorgesehen. In den 1970er Jahren wurde eine Vielzahl solcher Experimente mit den Quelhöhen 50 m und 100 m durchgeführt. Gleichartige Experimente in größeren Höhen fanden an dem Wasserturm im Forschungszentrum Karlsruhe statt. Die Ergebnisse dieser Kooperation flossen danach u.a. in die TA-Luft ein.

Am Turm befinden sich insgesamt sieben Messplattformen in den Höhen 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 80 m, 100 m und 120 m. Zusätzlich erfolgen Messungen am Boden auf einem Messfeld in unmittelbarer Nähe des Turmes. Mit Hilfe autark arbeitender Datenlogger an jeder Plattform und an der Bodenmessstelle werden die Messwerte erfasst und zwischengespeichert. Über ein RS-485-Netzwerk sind die Logger mit einem Datenverwaltungsrechner verbunden. Die Messanlage wurde so konzipiert, dass sie 10-Minuten-Mittelwerte und 10-Minuten-Summen der zu erfassenden Größen bestimmt. Diese Rohdaten werden ohne Änderungen gespeichert. Ausnahmen werden nur bei Ausfällen und bei eindeutig als Fehlmessungen identifizierten Werten (z.B. bei Gerätedefekten oder durch bestimmte Wartungsarbeiten hervorgerufene Ausfälle und Fehlmessungen) gemacht: Diese werden durch eine Ausfallkennung ersetzt.

Die beschriebenen 10-Minuten-Werte sind die Grundlage für die Berechnung von Stunden-Werten, die als Basis für die weiteren Auswertungen (Statistiken und Analysen) dienen und deren Ergebnisse nachfolgend beschrieben sind. Ergebnisse in Tabellenform sind i.d.R. in den Text integriert. Sehr lange Tabellen und große Abbildungen sind im Anhang aufgeführt.

Anfang Januar 2021 wurde mit dem Tausch der Ausleger am Wasserturm begonnen. In der Zeit vom 11. Januar bis zum 5. März 2021 wurden die Ausleger in den Höhen 80 m, 100 m, 120 m, 50 m, 30 m und 20 m in dieser Reihenfolge ersetzt. Der 10 m-Ausleger war schon 2020 als Muster mehrmals ab- und wieder angebaut worden. Die Zeiten, in denen KTA-relevante Sensoren wegen der Arbeiten an den Auslegern nicht zur Verfügung standen, konnten durch das zügige Vorgehen kurz gehalten werden (jeweils nur wenige Tage). Während dieser Zeiten wurden genehmigte Ersatzmessungen mit Sensoren aus benachbarten Höhen durchgeführt.

Im April 2021 begannen die Arbeiten zum Austausch des Aufzug-Triebstocks. Die Reparatur des Aufzuges und der Tausch des Triebstocks erwiesen sich jedoch als nicht erfolgreich. Durch gelegentliches scheinbar grundloses Ansprechen der Fangbremse war ein zuverlässiger Betrieb des

Aufzugs nicht möglich. Der Hersteller entschied nach einer intensiven Untersuchung der Aufzuganlage, dass der Triebstock und Komponenten am Aufzug erneut getauscht werden müssen. Diese Arbeiten sollen im März/April 2022 stattfinden. Dadurch verschieben sich auch die Arbeiten an der neuen Verkabelung des Turmes, da diese einen funktionierenden Aufzug voraussetzen.

2 Einleitung

Der Bericht enthält die Ergebnisse von Messungen an der meteorologischen Station des Forschungszentrums Jülich aus dem Jahr 2021. Zur Berechnung der Statistiken wurden die Stundenwerte der Windmessungen in 30 m Höhe sowie Temperaturprofilmessungen herangezogen. Der für die Diffusionskategorie benötigte Temperaturgradient wurde aus den Temperaturmessungen in 20 m und 120 m Höhe berechnet. Für das Klimadiagramm auf Seite 16 wurden Daten aus den dreimal täglich stattfindenden Klimabeobachtungen verwendet.

Die für die Charakterisierung der Ausbreitungsverhältnisse benötigte Instrumentierung an der Wetterstation ist nach KTA 1508 ausgelegt. Hierzu gehören die in Tabelle 1 aufgeführten Messinstrumente. Durch regelmäßig wiederkehrende Prüfungen und tägliche bzw. wöchentliche Sichtkontrollen und Plausibilitätsprüfungen wird eine hohe Zuverlässigkeit der Daten gewährleistet.

Tabelle 1: Instrumentierung nach KTA 1508

Messgröße	Höhe	Messgerät
Windgeschwindigkeit	30 m	Windgeber 'First Class Advanced', Firma Thies
Windrichtung	30 m	Sensor 'RITA', Firma Siggelkow
Temperatur	20 m	PT100, Firma Th. Friedrichs
Temperatur	120 m	PT100, Firma Th. Friedrichs
Niederschlag	1,2 m	Ombrometer, Firma Thies CLIMA

3 Meteorologische Ausbreitungsbedingungen 2021

3.1 Windrichtung

Abbildung 1 zeigt die Windrose der Station auf der Basis von 10-Grad-Klassen. Neben der Windrose für das Jahr 2021 enthält die Abbildung zum Vergleich zusätzlich die Windrose aus dem Zeitraum der vorangegangenen zehn Jahre (2011 - 2020). Die entsprechende Windstatistik für das Jahr 2021 ist in Tabelle 2 auf Seite 7 aufgeführt. Sie wurde aus den Messungen in 30 m Höhe erstellt (rund 10 m über dem Störniveau).

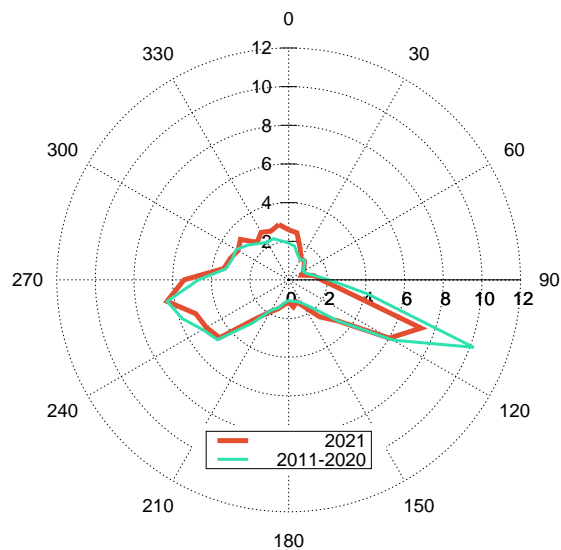


Abbildung 1: Windrichtungsverteilung 2021 und im Zeitraum 2011–2020 (10°-Klassen)

Die Windrichtungsverteilung im Jahr 2021 entspricht größtenteils der eines durchschnittlichen Jahres. Sie zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Verteilung im 10-jährigen Vergleichszeitraum von 2011–2020, was sich auch in einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,95$ zeigt.

Am häufigsten wehte der Wind aus dem Richtungsbereich zwischen 210–270 Grad. Wind aus diesem Sektor trat mit einer Häufigkeit von 36,01% auf, das entspricht wenig mehr als einem Drittel des Jahres. Gegenüber dem 10-Jahreszeitraum war der Wind mit nördlicher Komponente (Sektor zwischen 300–360 Grad und 0–30 Grad) mit einer Häufigkeit von 25,54% etwas öfter vertreten.

Das für die Station typische sekundäre Maximum bei Ostsüdost-Wind liegt 18% unter dem Zehnjahresmittel. Insgesamt wehte aus diesem Richtungsbereich (95–135 Grad) während 1958 Stunden des Jahres 2021 der Wind, was 22,4% der Zeit entspricht.

Am seltensten wehte der Wind aus den Sektoren 60 Grad (Ostnordost) und 180 Grad (Süden) mit einer Häufigkeit von 2,7% (232 Stunden) und 3,9% (339 Stunden).

3.2 Windgeschwindigkeit

Tabelle 2 zeigt die zweidimensionale Verteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit im Jahr 2021 sowie die Zehnjahresmittel aus dem Vergleichszeitraum 2011–2020. Die zwei rechten Spalten mit den Klassenhäufigkeiten entsprechen der Darstellung in der Windrose. Die Tabellendaten basieren aber – anders als bei der Windrosendarstellung – auf 30 Grad breiten Richtungsklassen (Spalte 1).

Die Unterschiede zwischen den Geschwindigkeits- und Richtungsverteilungen aus dem Jahr 2021 und den Verteilungen aus dem 10-jährigen Zeitraum sind insgesamt klein. Jedoch gab es, wie bereits im Vorjahr, eine Verschiebung hin zu geringen Windgeschwindigkeiten. Die Häufigkeit von Geschwindigkeiten bis $2,0 \text{ m s}^{-1}$ lag 2021 bei 52,0 % und im 10-jährigen Vergleichszeitraum bei 41,1 %. Windschwache Situationen traten 2021 demnach 10,9 % häufiger auf. Dem entsprechend war die Stundenzahl mit Windgeschwindigkeiten insbesondere über $3,0 \text{ m s}^{-1}$ verringert. Insgesamt liegen die Abweichungen aber im Bereich der üblichen jährlichen Schwankungen.

In Tabelle 3 sind die Häufigkeiten der Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit angegeben. Im Gegensatz zu Tabelle 2 wurde die Klasseneinteilung entsprechend der KTA 1508 vorgenommen. Die Verteilung ähnelt den Verteilungen der Vorjahre und die Häufigkeitswerte bewegen sich im Bereich der üblichen Schwankungen.

Windgeschwindigkeiten von $1,1$ bis $5,0 \text{ m s}^{-1}$ traten am häufigsten auf. 77,3 % aller Stundenwerte im Jahr 2021 lagen in diesem Bereich. Im vorhergehenden Jahr waren es 78,7 % und davor 80,8 %. Lediglich in 8 Stunden des Jahres wurde eine mittlere Geschwindigkeit zwischen $9,1$ und $12,0 \text{ m s}^{-1}$ beobachtet. Wie in allen vorhergehenden Jahren waren die letzten drei Geschwindigkeitsklassen über $12,0 \text{ m s}^{-1}$ nicht belegt.

An der Wetterstation des Forschungszentrums Jülich werden seit 1961 Windgeschwindigkeiten erfasst und ausgewertet (Tabelle A.2, S.14). Im Jahr 2021 lag die mittlere Geschwindigkeit

Tabelle 2: Zweidimensionale relative Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung in % für das Jahr 2021 und den 10-jährigen Vergleichszeitraum von 2011–2020

Richtungs- klassen [Grad]	Windgeschwindigkeitsklassen [m/s]					Klassenhäufigkeiten	
	< 0,3	0,3 – 2,0	2,1 – 3,0	3,1 – 5,0	> 5,0	2021	2011–2020
345 – 14	0,22	6,30	1,38	0,08	0,00	7,98	5,71
15 – 44	0,09	3,23	0,88	0,09	0,00	4,29	3,90
45 – 74	0,06	2,02	0,50	0,07	0,00	2,65	2,88
75 – 104	0,07	2,87	1,69	1,10	0,03	5,75	7,55
105 – 134	0,05	7,57	4,61	3,61	0,76	16,60	19,69
135 – 164	0,01	3,81	0,66	0,71	0,10	5,30	4,45
165 – 194	0,01	2,17	0,82	0,70	0,17	3,87	3,39
195 – 224	0,00	2,89	1,58	1,38	0,26	6,11	6,28
225 – 254	0,02	4,52	4,41	4,67	1,07	14,69	15,81
255 – 284	0,02	4,92	3,68	5,06	1,53	15,21	14,35
285 – 314	0,01	5,10	2,53	1,66	0,19	9,50	9,03
315 – 344	0,16	5,83	1,84	0,22	0,01	8,06	6,96
Klassenhäufigk. 2021	0,72	51,23	24,58	19,33	4,14	100,0	
Klassenh. 2011–2020	0,32	40,77	25,17	26,56	7,18		100,0

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit 2021 nach KTA 1508

Geschwindigkeitsklasse	absolut	relativ	Geschwindigkeitsklasse	absolut	relativ
0,0 – 1,0 m/s	1627	18,6 %	7,1 – 9,0 m/s	22	0,3 %
1,1 – 2,0 m/s	2924	33,4 %	9,1 – 12,0 m/s	8	0,1 %
2,1 – 3,0 m/s	2153	24,6 %	12,1 – 15,0 m/s	0	0,0 %
3,1 – 5,0 m/s	1693	19,3 %	15,1 – 18,0 m/s	0	0,0 %
5,1 – 7,0 m/s	333	3,8 %	> 18,0 m/s	0	0,0 %

bei $2,2 \text{ m s}^{-1}$ und erreichte somit den niedrigsten Wert des gesamten Beobachtungszeitraums seit 1961. Dieser Wert bestätigt den seit Jahren zu beobachtenden Trend der zurückgehenden mittleren Windgeschwindigkeiten. Im Mittel lag die Windgeschwindigkeit des letzten 10-jährigen Zeitraums (2011–2020) bei $2,6 \text{ m s}^{-1}$.

Im Jahr 2021 lag das Maximum der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit bei einem Wert von $10,2 \text{ m s}^{-1}$. Am 21. Januar 2021 brachte das Sturmtief Goran den größten Einzelwert in einer Böe mit $28,4 \text{ m s}^{-1}$ (Windstärke 10 = *schwerer Sturm*). Für den Zeitraum seit Beginn der Windmessungen liegen diese Maxima bei $17,3 \text{ m s}^{-1}$ (Stundenmittel) und bei $36,7 \text{ m s}^{-1}$ (Böe).

In Tabelle 2 (S. 7) sind weiterhin zusätzliche Informationen über die Windmessungen enthalten, die über die Windklasseneinteilung nach KTA 1508 hinaus gehen. Sie enthält die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung von Geschwindigkeit und Richtung. In den zwei untersten Zeilen sind neben den Jahreswerten von 2021 auch Vergleichswerte des davor liegenden 10-Jahres-Zeitraums angegeben und es ist eine zusätzliche Klasse für Geschwindigkeiten unter $0,3 \text{ m s}^{-1}$ vorhanden. Solch niedrige Stundenwerte sind sehr selten, denn sie bedeuten, dass eine Stunde lang annähernde oder vollständige Windstille herrschte. Diese Klasse wird für eine spezielle Kontrolle verwendet: Würden hier signifikante Erhöhungen auftreten, könnte das auf einen Defekt des Schalenstern-Anemometers hinweisen. Bei einem Lagerschaden beispielsweise würde das Anemometer bei niedrigen Windgeschwindigkeiten häufiger stehen bleiben und die Zahl der Stunden mit Geschwindigkeiten unter $0,3 \text{ m s}^{-1}$ wäre erhöht. Ein solcher Effekt ist 2021 nicht erkennbar.

3.3 Diffusionskategorie

Als Maß für den Turbulenzzustand der Atmosphäre wird die Einteilung in sechs Diffusionsklassen nach Pasquill¹ verwendet. Die Klassen sind mit den Buchstaben A–F gekennzeichnet. Klasse A steht für hohe Turbulenz, gleichbedeutend mit starker Durchmischung, D für durchschnittlich ausgeprägte Turbulenz und F für unterdrückte Turbulenz.

Starke Turbulenz herrscht zum Beispiel an windschwachen Sommertagen mit intensiver Sonneneinstrahlung und einem vertikalen Temperaturgradienten von kleiner als $-0,9 \text{ K}/100 \text{ m}$. Dieser Fall ist jedoch selten, weil bei derart großen Temperaturgradienten normalerweise vertikale Umschichtungen stattfinden, die diesem Temperaturunterschied entgegen wirken. Im Gegensatz dazu treten die Voraussetzungen für geringe Turbulenz häufiger auf. Es handelt sich überwiegend um nächtliche windschwache Situationen verbunden mit geringer oder keiner Bewölkung. Unter diesen Bedingungen kann sich die Luftschicht in Bodennähe bis zu einigen 100 m Höhe aufgrund von

¹Pasquill, F., 1961: Meteorological Magazine Vol. 90, 33-49

Ausstrahlungsprozessen abkühlen und es kommt zur Ausbildung einer Inversion. Bei dieser Situation liegt eine kalte und deshalb schwerere Luftmasse am Boden und die Lufttemperatur nimmt mit der Höhe zu. Diese Schichtung ist statisch sehr stabil, weshalb vertikale Austauschprozesse unterdrückt sind.

In Tabelle A.1 (S. 13) ist die zweidimensionale relative Häufigkeitsverteilung der Diffusionskategorie in Abhängigkeit von der Windrichtung angegeben. Die erste Spalte enthält die Richtungsklasse. Der Wert gibt die Klassenmitte der zugehörigen 30° -Klasse an. In der letzten Tabellenzeile stehen die Häufigkeitssummen der sechs Diffusionsklassen. Die geklammerten Tabellenwerte sind mittlere Häufigkeiten aus dem Vergleichszeitraum von 1969–1990.

Die Häufigkeitsverteilung der Diffusionsklassen von 2021 ähnelt der Verteilung des Vorjahres. Die Kategorien A, B und F traten häufiger auf, als im langjährigen Durchschnitt. Sie wurden in 42 % der Zeit beobachtet. Insbesondere ist die Kategorie A deutlich häufiger vertreten. Wie auch schon im Vorjahr, lässt sich das Auftreten von einer sehr labilen Schichtung nur durch häufige Situationen mit kräftiger Sonneneinstrahlung erklären. Indizien hierfür sind die überdurchschnittliche Anzahl an Sonnenstunden im Jahr 2021. Ein wolkenloser Himmel führt in der Nacht zu einer ungehinderten Abkühlung der bodennahen Luftschichten und folglich zu einer stabilen Schichtung. Simultan zum häufigeren Auftreten der Diffusionskategorie A (9,2 % der Zeit) konnte ein häufigeres Auftreten der Kategorie F beobachtet werden (21,7 % der Zeit).

Als Folge wurden insbesondere die Diffusionsklassen C, D und E seltener beobachtet. Hier fällt, wie schon im Jahr zuvor, besonders die Kategorie D auf, die auch in diesen Jahr nur rund 69 % der zu erwartenden langjährigen Häufigkeit erreichte.

Ein Maximum der Windrichtungsverteilung bei westlichem Wind findet sich in der Tabelle A.1 bei den Sektoren von 240–300 Grad. Es fällt größtenteils mit der Diffusionskategorie D zusammen. Das Maximum des Auftretens dieser Kategorie lag, wie auch im langjährigen Mittel, bei Winden aus westlicher bis südwestlicher Richtung. Der Grund liegt im Auftreten von Großwetterlage, in denen Tiefdruckausläufer gehäuft Winde aus westlicher Richtung mit sich führten. Da die in Tiefdruckgebieten auftretenden Winde zumeist stärker sind, bedingen sie eine gute vertikale Durchmischung und somit neutrale Schichtungsbedingungen (Kategorie D).

Ein sekundäres Maximum der Windrichtungsverteilung findet sich im Sektor um 120 Grad und fällt hauptsächlich mit der Diffusionskategorie E und F, und weniger häufig mit der Kategorie D zusammen.

Die aufgeführten Zusammenhänge zwischen Windrichtungen und Diffusionskategorien sind typisch für die Wetterstation des Forschungszentrums. Wie bereits im Vorjahr wurden häufiger labile und stark stabile Situationen beobachtet und gleichzeitig nahm die Zahl neutraler Schichtungen ab.

3.4 Niederschlag

Im Berichtsjahr 2021 lag die Summe der Niederschläge über dem langjährigen Durchschnitt. Es wurden 763,4 mm Gesamtniederschlag erreicht, das sind 10,3 % mehr als der langjährige Mittelwert von 692 mm. Jedoch ist die höhere Gesamtniederschlagssumme allein auf das ausgeprägte Starkniederschlagsereignis vom 13. und 14. Juli zurück zu führen. An diesen beide Tagen fielen

Tabelle 4: Verteilung der Niederschlagsintensität 2021 nach KTA 1508

Klasse	0,0 mm/h	> 0,0 – 0,5 mm/h	> 0,5 – 3,0 mm/h	> 3,0 mm/h
abs.	7789 h	611 h	318 h	42 h
rel.	88,9 %	7,0 %	3,6 %	0,5 %

rekordverdächtige 126,6 mm, was fast 17 % der Jahressumme entspricht. Die bisher an der Wetterstation beobachteten jährlichen Niederschlagsmengen bewegen sich zwischen 441 mm (1976) und 1042 mm (1966; vergleiche letzte Spalte in Tabelle A.2).

Die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsintensität mit einer Klasseneinteilung nach KTA 1508 kann der Tabelle 4 (S. 10) entnommen werden. In der meisten Zeit des Jahres (88,9 %) fiel kein Niederschlag. In 7 % aller Stunden gab es Niederschläge mit Intensitäten unter 0,5 mm/h. Niederschlagsmengen von 0,5–3,0 mm/h wurden in 318 Stunden des Jahres registriert. Nennenswerte Niederschläge von über 3 mm/h gab es 2021 in nur 0,5 % der Zeit, was 42 Stunden entspricht. Im Vergleich zum Berichtsjahr 2020 (767 Stunden) wurden in 2021 (971 Stunden) mehr Stunden mit Niederschlag registriert.

3.5 Ergänzende meteorologische Größen

Die Jahresmittelwerte der wichtigsten seit 1961 an der Wetterstation gemessenen meteorologischen Größen sind in Tabelle A.2 auf Seite 14 angegeben. Die Tabelle ermöglicht einen Vergleich einzelner Jahreswerte mit den zugehörigen langjährigen Mittelwerten aus dem Zeitraum von 1961 bis 2021 und lässt darüber hinaus auch Langzeittrends erkennen.

Für das Jahr 2021 beträgt die **Jahresmitteltemperatur** 10,4 °C. Damit liegt die Jahresmitteltemperatur lediglich 0,3 °C über dem langjährigen Mittel (1961–2021) und ist die niedrigste Jahresmitteltemperatur seit 2013. Noch in den 1960er- bis 1980er-Jahren lagen die Mitteltemperaturen nur selten über 10 °C. Ab den 1990er-Jahren wurden häufig Mittelwerte über 10 °C gemessen. Dieser Anstieg ist Ausdruck der weltweit erkennbaren Klimaerwärmung. Die höchste Temperatur des Jahres wurde am 17. Juli gemessen. Sie betrug 32,7 °C und ist die niedrigste Maximaltemperatur seit 2008. Das Temperaturminimum von -10,8 °C trat am 10. Februar 2021 auf.

Die **Sonnenscheindauer** wird an der 20 m-Plattform des Wasserturms erfasst. In dieser Höhe liegt keine Horizonteinengung durch den umliegenden Wald mehr vor. Im Jahr 2021 schien in 1703 Stunden des Jahres die Sonne. Damit lag die Anzahl der Sonnenstunden zwar rund 8 % über dem langjährigen Durchschnitt, stellt aber gleichzeitig den geringsten Wert seit 2013 dar.

3.6 Klima

Die Werte der **relativen Feuchte** werden im Rahmen der dreimal täglich stattfindenden Klimabeobachtungen erfasst. Zur Bestimmung wird ein Aspirations–Psychrometer verwendet. Die relative Feuchte ist eine Größe, deren Jahresmittelwerte nur geringe Schwankungen von wenigen Prozentpunkten aufweisen. Der Wertebereich reicht von 72–82 % relativer Luftfeuchtigkeit und der Mittelwert über alle bisherigen Jahreswerte liegt bei 78,3 %. Die Standardabweichung der Jahreswerte beträgt 1,8 % (Zeitraum: 1961–2021). Im Jahr 2021 lag das Jahresmittel der relativen Feuchte bei 79 % und fiel somit nur unwesentlich höher als das langjährige Mittel aus.

Im Gegensatz zum Jahresmittel variieren die Tageswerte der relativen Feuchte deutlich stärker. Die Obergrenze liegt definitionsgemäß bei 100 % und dieser Wert wird häufig erreicht. Dagegen wird die theoretische Untergrenze von 0 % in der Natur nicht erreicht. Im Berichtsjahr 2021 hatte das Minimum der relativen Feuchte einen Wert von 22 %. Er wurde am 30.03.2021 gemessen.

Das Klimadiagramm für das Jahr 2021 ist in Abbildung A.1 (S. 16) dargestellt. Es gibt einen grafischen Überblick über die wichtigsten an der Station gemessenen klimatologischen Größen. Im oberen Teil befinden sich zwei Tabellen mit den Monatssummen der Sonnenscheindauer und den Monatsmittelwerten der Temperatur. Durch die farbliche Kennzeichnung überdurchschnittlicher Monatswerte mit rot und zu geringer Werte mit blau ist ein schneller Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten möglich. In der großen Diagrammfläche unter den Tabellen sind die Tagesmitteltemperaturen sowie die Tages- und Monatsniederschläge dargestellt. Als Vergleichszeitraum dient der von der WMO² vorgegebene 30-Jahreszeitraum von 1961–1990. Da die Vergleichsepisode schon weiter zurückliegt, unterscheiden sich die Mittelwerte erkennbar von den in Tabelle A.2 angegebenen Durchschnittswerten. Am linken Diagrammrand befindet sich die Temperaturskala und der rechte Rand zeigt die Niederschlagsskala.

Die Mittelwerte der Tagesmitteltemperaturen aus dem WMO–Zeitraum sind als schwarze, leicht gewellte Kurve mit einem deutlichen Jahreszyklus in der Mitte der Diagrammfläche eingezeichnet. Die Mitteltemperaturen jedes einzelnen Tages des Jahres 2021 sind durch die Endpunkte der roten bzw. blauen Differenzbalken gegeben, die von der schwarzen Mittelwertkurve senkrecht nach oben oder unten ausgehen. Durch die farbliche Kennzeichnung sind kühlere und wärmere Perioden sofort zu erkennen.

Die Tabelle der Monatsmitteltemperaturen zeigt, dass im Berichtsjahr 2021 nur die Monate April, Mai und August kälter waren als die Vergleichsmonate aus dem WMO–Zeitraum. Am deutlichsten stechen der April und der Mai hervor, in denen nur an wenigen Tagen höhere Temperaturen als im Vergleichszeitraum gemessen wurden. Dem gegenüber fielen die Temperaturen für die Monate Februar, Juni, September und Dezember deutlich zu hoch aus. Mit einer Monatsmitteltemperatur von 19,1 °C wurde der zweitwärmste Juni seit Messbeginn an der Wetterstation registriert. In den übrigen Monaten lagen die Monatsmitteltemperaturen nur geringfügig über dem längjährigen Mittelwert, was schlussendlich zu einer dem Durchschnitt nahen Jahresmitteltemperatur von 10,4 °C führte.

Die mittleren Monatssummen des Niederschlags sind durch die Höhe der schwarzen Rechtecke am unteren Diagrammrand dargestellt. Im Diagramm sind die einzelnen Tagesniederschläge als dünne schwarze Balken auf der Zeitachse eingezeichnet. Die Akkumulation der Tagesniederschläge ergibt die grünen bzw. hellbraunen Flächen, wobei die Summen am Monatsende wieder auf

²World Meteorological Organisation

null zurückspringen. Somit gibt die Höhe einer eingefärbten Fläche die monatliche Niederschlagssumme an. Grün gefärbte Flächen stehen für feuchte Monate, hellbraune Flächen für trockene Monate.

Während im Jahr 2020 die Niederschlagssumme erheblich zu niedrig ausfiel, weist das Jahr 2021 eine überdurchschnittliche Niederschlagssumme auf. Wie bereits im Abschnitt 3.4 erwähnt, wurde die höhere Summe einzig durch ein zweitägiges Starkniederschlagsereignis im Juli erreicht. Die Ursache für den langanhaltenden Starkniederschlag, der in weiten Teilen Westdeutschlands zu katastrophalen Überflutungen führte, lag an einem ausgeprägten Höhentief über Süddeutschland. An seiner Vorderseite führte es sehr warme und feuchte Luftmassen mit sich, die auf aus Südwesten herbeigeführte kühle Atlantikluft traf und starke konvektive Niederschläge auslöste. Gleichzeitig hinderten zwei Hochdrucksysteme das Tief am Weiterziehen, so dass sich das Tief stationär abregnete und sich beträchtliche Niederschlagsmengen aufsummieren konnten. Neben dem Juli gab es auch im Januar überdurchschnittlich viele Niederschläge (117 mm). Im Gegensatz dazu gab es sieben Monate mit zum Teil stark unterdurchschnittlichen Regenmengen (braun). So fielen die Monate November mit 50 % und September mit 60 % des zu erwartenden Niederschlags am trockensten aus. In den Monaten Februar, August und Dezember wurden die Monatsmittel nur knapp überschritten.

3.7 Unterschiede zwischen meteorol. und klimatologischen Messungen

Abschließend soll hier auf die Unterschiede hingewiesen werden, die beim Vergleich der Werte aus Tabelle A.2 mit den Werten in Abbildung A.1 auftreten können.

Bei der Betrachtung von Temperaturmittelwerten müssen meteorologische und klimatologische Messungen unterschieden werden. Die Berechnungsverfahren unterscheiden sich und liefern deshalb gelegentlich geringfügig voneinander abweichende Ergebnisse. Da im Forschungszentrum Jülich sowohl meteorologische Messungen als auch klimatologische Beobachtungen durchgeführt werden, können die Angaben für die Jahresmitteltemperatur von jedem der beiden Messverfahren stammen. Es muss dann der jeweilige Kontext (meteorologisch/klimatologisch) beachtet werden. Im Jahr 2021 liefern die Berechnungsverfahren folgende Werte: $\overline{TT}_{meteo} = 10,47^\circ\text{C}$ und $\overline{TT}_{klima} = 10,39^\circ\text{C}$. Beim Aufsummieren von Einzelwerten und anschließender Rundung auf eine Nachkommastelle kann es zu einem Unterschied zwischen den zwei Verfahren von $0,1^\circ\text{C}$ kommen.

Kleine Differenzen ergeben sich auch beim Vergleich von langjährigen Mittelwerten. Die Hauptursache sind oftmals die unterschiedlichen Zeiträume, die den Mittelungen zugrunde liegen. Die klimatologischen Mittel basieren auf den Jahren 1961–1990 (WMO-Empfehlung) und die meteorologischen Mittelwerte auf einem Zehnjahreszeitraum oder auf dem Zeitraum von 1961 bis zum aktuellen Jahr. Darüber hinaus werden in der Klimatologie zum Teil gewichtete Mittelungsverfahren benutzt, um aus drei Messungen am Tag einen Mittelwert zu bestimmen, der dem arithmetischen Tagesmittel möglichst nahe kommt. So wird zum Beispiel die Tagesmitteltemperatur mit Hilfe eines gewichteten Mittels berechnet, bei dem der Abendtermin ein höheres Gewicht erhält, als der Morgen- und der Mittagstermin.

A Tabellen und Abbildungen

Tabelle A.1: Relative Häufigkeitsverteilung der Diffusionskategorien 2021 und im langjährigen Mittel 1969–1990 (Werte in Klammern)

Windrichtung [Grad]	Rel. Häufigkeiten der Diffusionskategorie 2021						Summen- Häufigkeiten
	A	B	C	D	E	F	
30	0,73 (0,27)	0,65 (0,59)	0,23 (0,45)	0,95 (1,50)	0,86 (0,94)	0,88 (0,59)	4,29 (4,34)
60	0,32 (0,18)	0,41 (0,39)	0,08 (0,30)	0,46 (1,12)	0,64 (0,86)	0,74 (0,56)	2,65 (3,41)
90	0,84 (0,25)	0,72 (0,63)	0,43 (0,50)	1,68 (2,69)	0,98 (2,09)	1,10 (1,37)	5,75 (7,58)
120	1,15 (0,17)	1,21 (0,64)	0,71 (1,37)	3,08 (4,39)	4,29 (3,71)	6,15 (3,57)	16,60 (13,23)
150	0,27 (0,09)	0,29 (0,21)	0,17 (0,07)	0,97 (1,99)	0,97 (1,52)	2,63 (2,47)	5,30 (5,53)
180	0,14 (0,07)	0,23 (0,19)	0,25 (0,09)	1,30 (1,63)	0,63 (0,99)	1,32 (1,58)	3,87 (4,70)
210	0,26 (0,09)	0,66 (0,27)	0,55 (0,07)	2,47 (4,38)	1,00 (1,28)	1,16 (1,46)	6,11 (7,93)
240	0,59 (0,15)	1,83 (0,75)	1,77 (0,89)	7,27 (11,62)	1,91 (1,94)	1,32 (1,50)	14,69 (17,55)
270	0,62 (0,22)	1,86 (1,06)	1,85 (1,59)	7,56 (9,29)	1,92 (1,73)	1,40 (1,44)	15,21 (15,25)
300	0,81 (0,25)	1,34 (0,90)	0,79 (1,14)	3,52 (4,77)	1,44 (1,34)	1,61 (1,06)	9,50 (9,28)
330	1,45 (0,33)	0,94 (0,75)	0,53 (0,39)	1,76 (2,02)	1,63 (1,06)	1,76 (0,86)	8,06 (5,60)
360	2,00 (0,46)	1,19 (0,82)	0,38 (0,41)	1,22 (1,31)	1,59 (0,80)	1,61 (0,76)	7,98 (4,60)
Summe	9,19 (2,52)	11,31 (7,19)	7,73 (8,11)	32,23 (46,73)	17,85 (18,24)	21,69 (17,21)	100 (100)

Tabelle A.2: Jahresmittelwerte 1961–1999 der Temperatur, relativen Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit, Summen der Sonnenscheindauer und des Niederschlags

Jahr	Temperatur			Relative Feuchte [%]	Windge- schwindigkeit [m/s]	Sonnenschein- dauer [h]	Niederschlags- summe [l/m ²]
	Mittel [°C]	Maximum [°C]	Minimum [°C]				
1961	10.3	32.4	-15.0	82	3.2	1497	798
1962	8.3	31.0	-12.2	80	3.5	1487	632
1963	8.3	31.5	-20.7	79	3.0	1469	554
1964	9.7	36.0	-13.0	75	3.5	1584	559
1965	9.1	29.6	-9.0	79	3.7	1381	900
1966	10.2	32.8	-17.0	79	3.3	1390	1042
1967	10.6	31.6	-9.4	76	3.7	1672	712
1968	9.6	32.2	-12.0	76	3.5	1370	719
1969	9.2	32.0	-12.6	81	3.5	1466	685
1970	9.0	31.0	-16.0	80	3.8	1435	812
1971	9.6	30.4	-16.6	80	3.2	1703	494
1972	8.9	33.3	-13.6	80	3.4	1443	602
1973	9.3	32.8	-14.2	79	3.5	1601	590
1974	9.8	33.0	-6.0	79	3.7	1396	769
1975	9.8	33.1	-10.5	78	3.2	1578	524
1976	10.1	36.9	-12.1	76	3.2	1826	441
1977	10.0	31.2	-9.0	80	3.2	1350	632
1978	9.1	33.0	-15.5	80	3.5	1251	591
1979	8.7	29.5	-21.1	78	3.4	1233	745
1980	9.3	31.5	-10.9	77	3.6	1329	666
1981	9.5	30.6	-12.4	79	3.4	1224	822
1982	10.2	31.6	-16.6	78	3.0	1580	749
1983	10.3	33.4	-9.3	78	3.0	1546	683
1984	9.4	33.0	-6.5	79	2.8	1374	858
1985	8.6	31.6	-17.5	79	2.7	1509	637
1986	9.3	35.9	-16.9	77	2.8	1657	676
1987	8.9	31.7	-16.4	80	2.7	1404	793
1988	10.4	29.7	-8.1	80	2.9	1404	773
1989	10.8	32.8	-6.6	78	2.6	1860	620
1990	10.8	35.6	-4.1	77	2.8	1756	701
1991	9.6	33.3	-13.2	78	2.7	1658	634
1992	10.5	33.0	-8.1	80	2.6	1642	676
1993	9.9	30.0	-9.3	79	2.9	1616	781
1994	11.1	36.0	-11.1	79	3.1	1677	611
1995	10.7	35.0	-8.4	79	2.9	1730	663
1996	8.8	32.0	-13.5	76	2.8	1440	535
1997	10.1	33.3	-20.4	77	2.8	1644	679
1998	10.3	33.6	-11.1	79	3.0	1281	795
1999	10.8	31.8	-9.7	78	3.1	1436	723

... Fortsetzung auf der nächsten Seite ...

Tabelle A.2: Jahresmittelwerte 2000–2021 der Temperatur, relativen Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit, Summen der Sonnenscheindauer und des Niederschlags (Fortsetzung)

Jahr	Temperatur			Relative Feuchte [%]	Windge- schwindigk. [m/s]	Sonnen- scheind. [h]	Niederschl.- summe [l/m ²]
	Mittel [°C]	Maximum [°C]	Minimum [°C]				
2000	10.9	34.2	-6.5	80	3.2	1523	779
2001	10.4	35.9	-8.4	79	3.0	1474	801
2002	10.7	34.6	-7.3	79	3.1	1560	829
2003	10.6	37.6	-13.7	75	2.9	2168	560
2004	10.2	32.9	-8.7	80	3.0	1625	668
2005	10.7	33.0	-9.8	78	2.8	1707	653
2006	11.0	36.5	-10.2	79	3.0	1722	723
2007	11.1	34.9	-7.6	79	3.1	1626	878
2008	10.5	31.5	-6.5	78	3.0	1542	725
2009	10.5	35.2	-18.6	79	2.9	1693	728
2010	9.2	35.5	-11.8	80	2.6	1567	778
2011	11.2	34.0	-6.4	78	2.9	1705	691
2012	10.4	37.8	-13.8	78	2.8	1586	671
2013	9.9	37.9	-13.6	78	2.7	1559	640
2014	11.5	34.7	-5.8	80	2.7	1726	801
2015	11.1	38.7	-6.0	77	2.8	1873	678
2016	10.8	36.0	-6.8	79	2.5	1733	666
2017	11.2	35.0	-7.9	79	2.4	1705	642
2018	11.8	38.0	-8.8	73	2.4	2048	480
2019	11.5	40.3	-7.9	75	2.5	1911	705
2020	12.0	37.0	-4.8	72	2.5	1817	550
2021	10.4	32.7	-10.6	79	2.2	1703	764
Mittel 1961–2021	10.1	$x_{max} = 40.3$ $\bar{x} = 33.7$	$x_{min} = -21.1$ $\bar{x} = -11.3$	78	3.0	1579	692

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Sonne (h)													
Mo. Summe	26	120	179	198	183	242	168	146	208	127	66	34	1703
Lj. Mittel	50	78	108	146	187	177	189	182	142	116	66	48	1489
Temperatur (C)													
Mo. Mittel	2.9	5.1	6.6	6.8	11.6	19.1	17.9	16.5	15.8	11.2	6.2	5.6	10.4
Lj. Mittel	2.1	2.6	5.4	8.5	12.9	15.7	17.3	16.9	14.1	10.4	5.8	3.1	9.6

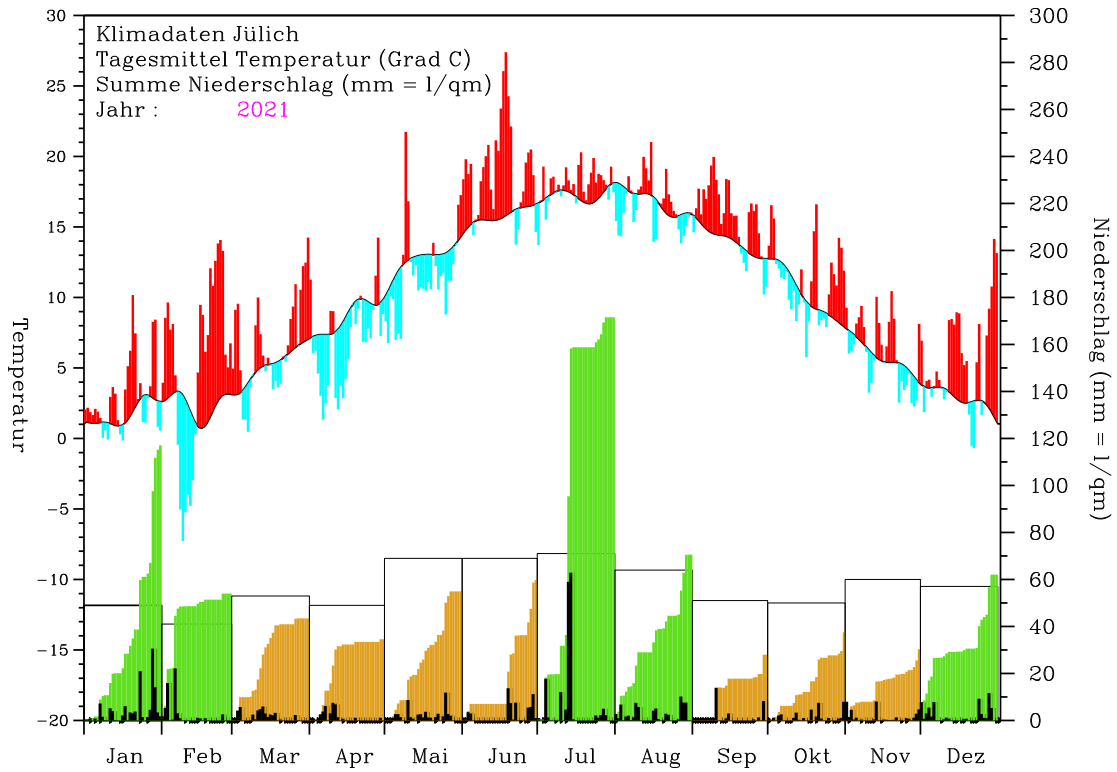


Abbildung A.1: Vergleich ausgewählter Klimadaten von 2021 mit langjährigen Mittelwerten