



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-
Online-Publikation
03/2025

Klimafaktoren

Neues Verfahren zur Witterungs- bereinigung von Energieverbräuchen

von

Dr. Ulrike Gelhardt
Guido Halbig

Klimafaktoren

Neues Verfahren zur Witterungsbereinigung von Energieverbräuchen

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 2 „Instrumente zur Emissionsminderung im Gebäudebereich“
Christian Ahrens
christian.ahrens@bbr.bund.de

Auftragnehmer

MeteoSolutions GmbH, Darmstadt
Dr. Ulrike Gelhardt
ulrike.gelhardt@meteosolutions.de

Deutscher Wetterdienst, Regionales Klimabüro, Essen
RDir Guido Halbig
guido.halbig@outlook.de

Stand

September 2024

Gestaltung

MeteoSolutions GmbH, Darmstadt

Bildnachweis

Titelbild: Ulrike Gelhardt

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), 2025:
Klimafaktoren: Neues Verfahren zur Witterungsbereinigung von Energieverbräuchen. BBSR-Online-Publikation 03/2025, Bonn.
<https://doi.org/10.58007/kars-4t17>

DOI 10.58007/kars-4t17

ISSN 1868-0097

Bonn 2025

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	6
Bedeutung und Verwendung von Klimafaktoren	7
Neues Berechnungsverfahren für Klimafaktoren auf Basis des DWD-HOSTRADA-Datensatzes	9
Methodik zur Berechnung von Klimafaktoren mittels Rasterdaten	10
Datenbasis und Datenaufbereitung zu Jahresgradtagen	10
Stationsdaten	10
Regressionsdaten	12
HOSTRADA-Daten	12
Datenverschneidung	12
Ergebnisse des neuen Verfahrens	13
Vergleich zwischen neuem und bisherigem Verfahren auf Rasterbasis	13
Stationsbasierter Vergleich	15
Vergleich mit dem bisherigen Verfahren auf lokaler Ebene	20
Technische Umsetzung des neuen HOSTRADA-Verfahrens	25
Diskussion und Fazit	27
Literaturverzeichnis	29
Abbildungsverzeichnis	30
Tabellenverzeichnis	32

Kurzfassung

Die Witterungsbereinigung in Form sogenannter Klimafaktoren spielt eine wichtige Rolle bei Energieverbrauchsausweisen, um Heizenergieverbräuche von Gebäuden an unterschiedlichen Standorten in Deutschland und für unterschiedliche Witterungsverläufe vergleichen zu können. Das Verfahren der Witterungsbereinigung ist – beginnend im Jahre 2007 in der Energieeinsparverordnung (EnEV) – und seit November 2020 im Gebäudeenergiegesetz (GEG) geregelt. Auch in der Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (HeizkostenV) finden die Klimafaktoren zur Witterungsbereinigung von Energieverbräuchen seit 2021 Anwendung.

Die Klimafaktoren werden bisher vom Deutschen Wetterdienst (DWD) auf der Basis von Stationsdaten des Messnetzes des DWD mittels eines statistischen Regressionsverfahrens zunächst auf ein 1 km x 1 km Raster für Deutschland umgerechnet. Anschließend wird jedem Postleitzahl-Zustellbezirk nach einem festgelegten Verfahren als Klimafaktor der Wert einer der umliegenden Rasterwerte zugeordnet.

Mit dem neuen DWD-Datensatz HOSTRADA (Hochaufgelöster Stündlicher Raster-Datensatz) stehen für ganz Deutschland Rasterdaten auf einem 1 km x 1 km Raster für verschiedene meteorologische Parameter in stündlicher Auflösung zur Verfügung. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde ein neues Verfahren entwickelt, das die Klimafaktoren auf der Basis der stündlichen Temperaturwerte der HOSTRADA-Daten auf einem 1 km x 1 km Raster für ganz Deutschland berechnet. Eine Transformation auf die Postleitzahl-Zustellbezirke ist damit nicht mehr erforderlich, da im neuen Verfahren mittels einer Adressdatenbank den Adressdaten des betrachteten Gebäudes geographische Koordinaten zugeordnet werden. Über die Angabe einer postalischen Adresse kann der Nutzer nach dem neuen Verfahren den Klimafaktor der Gitterbox erhalten, in der sich sein Gebäude befindet.

Ein umfangreicher statistischer Vergleich zwischen dem bisherigen und dem neuen Verfahren ergab, dass die Ergebnisse beider Verfahren zu vergleichbaren Ergebnissen führen, jedoch in Einzelfällen begründete Unterschiede aufweisen. Aufgrund dieser Ergebnisse und der Vorteile des neuen Verfahrens, wie eine höhere räumliche Auflösung (Wegfall der Postleitzahl-Zuordnung) und der Möglichkeit, die Klimafaktoren für kürzere als 12-Monats-Zeiträume zu berechnen, könnte die Möglichkeit erwogen werden, die Witterungsbereinigung von Energieverbräuchen auf das neue Verfahren (basierend auf HOSTRADA) umzustellen. Vor einer Umstellung auf das neue Verfahren im Rahmen von Energieverbrauchsausweisen nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) oder zum Vergleich von Jahresenergieverbräuchen nach der Heizkostenverordnung (HeizkostenV) müssen noch rechtliche Aspekte geklärt werden, ein auf die Bedürfnisse der Anwender optimierter Zugriff auf die Daten ermöglicht und in Nutzerworkshops das Verfahren und dessen Anwendung vorgestellt werden. Mit den hier vorliegenden Ergebnissen wurde zunächst das neue Verfahren vorgestellt und ein Abgleich mit dem aktuellen Verfahren vorgenommen.

Abstract

Weather adjustment in the form of so-called climate factors plays an important role in energy consumption certificates (Energieverbrauchsausweise) in order to be able to compare the heating energy consumption of buildings at different locations in Germany and for different weather patterns. The process of weather adjustment is regulated in the Energy Saving Ordinance (ENEV) - starting in 2007 - in the Building Energy Act (GEG). Climate factors are also used in the Ordinance on the Consumption-based Billing of Heating and Hot Water Costs (HeizkostenV).

To date, the climate factors have been calculated by the German Weather Service (DWD) on the basis of station data from the DWD's monitoring network using a statistical regression method, initially on a 1 km x 1 km grid for Germany. Each postcode district is then assigned the value of one of the surrounding grid values as a climate factor according to a defined procedure.

With the new DWD data set HOSTRADA (High Resolution Hourly Gridded Data Set), gridded data is available for the whole of Germany on a 1 km x 1 km grid for various meteorological parameters in hourly resolution. As part of this project, a new method was developed that calculates the climate factors on the basis of the hourly temperature values of the HOSTRADA data on a 1 km x 1 km grid for the whole of Germany. A transformation to the postcode delivery districts is no longer necessary, as the new method uses an address database to assign geographical coordinates to the address data of the building under consideration. By entering a postal address, the user can obtain the climate factor of the grid box in which his building is located using the new procedure. By entering a postal address, the user can obtain the climate factor of the grid box in which his building is located using the new procedure.

A comprehensive statistical comparison between the previous and the new method showed that the results of both methods lead to comparable results, but that there are justified differences in individual cases. Based on these results and the advantages of the new method, such as a higher spatial resolution (elimination of the postcode allocation) and the possibility of calculating the climate factors for periods shorter than 12 months, the possibility of switching the weather adjustment of energy consumption to the new method (based on HOSTRADA) could be considered. Before switching to the new method in the context of energy consumption certificates in accordance with the Building Energy Act (GEG) or for the comparison of annual energy consumption in accordance with the Heating Costs Ordinance (HeizkostenV), legal aspects still need to be clarified, access to the data needs to be optimised for users and the method and its application presented in user workshops. With the results presented here, the new procedure was first introduced and compared with the current procedure.

Bedeutung und Verwendung von Klimafaktoren

Im Jahre 2007 wurden Energieausweise für Gebäude als ein wichtiges Element der damaligen Energiesparverordnung (EnEV) eingeführt. Dies geschah im Rahmen der Umsetzung der ersten europäischen Gesamtenergieeffizienzrichtlinie der EU (Richtlinie 2002/91/EG) und galt unter anderem für neue Gebäude, Neuvermietungen und den Verkauf bestehender Gebäude.

Seitdem – und aktuell geregelt im Gebäudeenergiegesetz (GEG) – muss zum Beispiel beim Verkauf und bei Neuvermietung von Gebäuden oder Wohnungen nach dem GEG ein Energieausweis vorliegen. Dieser wird erstellt entweder auf Grundlage eines berechneten – auf normierte Klimarandbedingungen gestützten – Energiebedarfs (§ 81 GEG) oder auf Grundlage eines erfassten Energieverbrauchs (Energieverbrauchsausweis), dessen Heizwärmeanteil einer Witterungsbereinigung unterzogen wird (§ 82 GEG).

Bei einem Energieverbrauchsausweis wird der Einfluss der Witterung und des Klimas auf den Heizenergieverbrauch mittels eines so genannten Klimafaktors erfasst, der sowohl die Temperaturverhältnisse während eines Berechnungszeitraumes als auch die unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse in Deutschland berücksichtigt. Durch die Anwendung des Klimafaktors können die Energieverbrauchskennwerte verschiedener Berechnungszeiträume und von Gebäuden in verschiedenen klimatischen Regionen Deutschlands (zumindest überschlägig) verglichen werden.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) erstellt die Klimafaktoren (KF) flächendeckend für ganz Deutschland und stellt standortbezogene Klimafaktoren für jedes Zustell-Postleitzahlgebiet zur Verfügung. Das ergibt über 8.200 Klimafaktoren. Die Klimafaktoren des DWD entsprechen u.a. den Vorgaben der Bekanntmachungen der Regeln für Energieverbrauchswerte vom 29. März 2021 (für Wohn- und Nichtwohngebäude). Die Klimafaktoren werden für gleitende 12-Monats-Zeiträume als Quotienten aus den mittleren Jahresgradtagen $JGT(Per, Ref)$ einer festgelegten Referenzstation (Ref) und Zeitperiode (Per) und den aktuellen Jahresgradtagen (JGT) für den jeweiligen Ort / das entsprechende Gebäude berechnet nach VDI 3807-Blatt1 (2013) :

$$KF = \frac{JGT(Per, Ref)}{JGT} \quad (1)$$

$$GT = (20\text{ °C} - t_m) \quad (2)$$

GT sind Gradtage in Kelvin mal Tag (Kd), die Summe über alle Gradtage eines 12-Monats-Zeitraumes ergibt die Jahresgradtage JGT in Kelvin mal Tag pro Jahr (Kd/a), t_m ist die Tagesmitteltemperatur der Außenluft in Grad Celsius (°C); für Tagesmitteltemperaturen von mindestens 15 °C hat der Gradtag den Wert Null.

Die Witterungsbereinigung nach den Bekanntmachungen erfolgt durch das Multiplizieren des gemessenen Jahres-Heizenergieverbrauchs mit dem entsprechenden Klimafaktor. Als Faustregel gilt, dass ein Jahr umso wärmer ist, je größer der Klimafaktor ist.

Eine weitere Anwendung der Klimafaktoren ergibt sich aus der Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (Verordnung über Heizkostenabrechnung - HeizkostenV). Für den Vergleich des Energieverbrauchs des Nutzers im jüngsten Abrechnungszeitraum mit seinem Energieverbrauch im vorhergehenden Abrechnungszeitraum sind für beide Zeiträume klimabereinigte Jahresenergieverbräuche in kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche zu ermitteln. Die Abrechnungszeiträume müssen dabei jeweils den gleichen Zeitraum von 12 Monaten umfassen. Der Jahresenergieverbrauch umfasst den Wärmeverbrauch (Energieverbrauch für Zentralheizung) und den Warmwasserverbrauch (Energieverbrauch für zentrale Warmwasserbereitung). Dabei ist der Wärmeverbrauch einer Witterungsbereinigung unter Anwendung eines den anerkannten Regeln der Technik entsprechenden Verfahrens zu unterziehen.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt Klimafaktoren seit vielen Jahren online zum Herunterladen zur Verfügung. Zunächst auf der Basis der Messwerte ausgewählter Messstationen aus dem DWD-Messnetz. Als Referenzstation wurde entsprechend der Norm VDI 3807, Blatt 1 die Station Würzburg (Mittelwert 1950 bis 1970) verwendet, die mit $JGT(1950 \text{ bis } 1970, \text{ Würzburg}) = 3883 \text{ Kd/a}$ „etwa dem gewichteten Mittel der Bundesrepublik entspricht“ (VDI 3807, Blatt 1). Im Jahr 2008 hat der DWD im Auftrag des BBSR ein multiples lineares Regressionsverfahren entwickelt, mit dem - auf der Grundlage der berechneten Gradtage aller verfügbaren Temperatur-Messstationen des DWD – Jahresgradtage / Klimafaktoren für ein 1 km x 1 km-Gitter für Deutschland berechnet werden. Jedem der etwa 8.200 Postleitzahl-Zustellbezirke wird anschließend aus dem Rasterfeld ein Rasterwert zugeordnet. Dieser ist dann der Jahresgradtag / Klimafaktor des ausgewählten PLZ-Zustellbezirks (Halbig/Schröder 2011).

Mit dem Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung 2014 (ENEV 2014) zum 1. Mai 2014 war nicht mehr die Station Würzburg, sondern die Station Potsdam die Referenzstation für Deutschland. Die mittleren Jahresgradtage $JGT(Per, Ref)$ wurden mit dem Testreferenzjahr Potsdam (Zeitperiode 1988 bis 2007) berechnet (Halbig/Namyslo 2014). Mit dem Gebäudeenergiegesetz wurde dieser Ansatz übernommen.

Der Deutsche Wetterdienst stellt die Klimafaktoren für die PLZ-Zustellgebiete monatsweise aktualisiert für 12-Monats-Zeiträume frei zum Download zur Verfügung (DWD 2024a).

Neues Berechnungsverfahren für Klimafaktoren auf Basis des DWD-HOSTRADA-Datensatzes

Für die Erstellung der Testreferenzjahre 2017 (DWD 2024b) im Auftrag des BBSR wurde mit den sog. TRY-Basisdaten ein hochaufgelöster Klimadatenatz (1 km x 1 km, stündliche Daten) erzeugt. Als Weiterführung und Weiterentwicklung der TRY-Basisdaten wurde im DWD der „Hochaufgelöste Stündliche Rasterdatensatz für Deutschland“ (HOSTRADA) entwickelt. Neben den Messdaten des DWD-Stationsnetzes werden Satellitendaten der Satellite Application on Climate Monitoring (CM SAF) und Modelldaten eines hochaufgelösten konvektionserlaubenden Klimamodells (Hochaufgelöste Klimasimulation für Deutschland – HoKliSim-De) verwendet. Beginnend im Jahre 1995 wird der HOSTRADA-Datensatz fortlaufend – jeweils etwa vier bis sechs Wochen nach Monatsende – um den aktuellen Monat ergänzt.

Für ein neues Verfahren zur Berechnung der Klimafaktoren bietet sich der HOSTRADA-Datensatz an, da die Klimafaktoren eine Funktion der Lufttemperatur sind und die Lufttemperatur in stündlicher Auflösung Bestandteil des HOSTRADA-Datensatzes ist.

Bei dem bisherigen Verfahren werden die Klimafaktoren für alle Postleitzahl-Zustellbezirke in Deutschland berechnet. Dies führt dazu, dass in Postleitzahlbezirken, die verschiedene Höhenlagen umfassen (Tallage, Hanglage), Ungenauigkeiten entstehen können, da diese unterschiedlichen Bereiche mit nur einem Klimafaktor abgebildet werden. Mit der Verfügbarkeit von Adressdatenbanken, die einer postalischen Adresse eine Koordinate (z.B. geografische Koordinate oder UTM) zuordnen, kann die räumliche Genauigkeit der Klimafaktoren durch Verwendung des 1 km x 1 km-Rasters der HOSTRADA-Daten gesteigert werden.

Auch aus meteorologischer Sicht bietet das neue Verfahren weitere Vorteile. Durch die Berücksichtigung des urbanen Wärmeinseleffekts (urban heat island: UHI) wird der städtische Einfluss in den Klimafaktoren deutlich besser erfasst. Auch ist das Verfahren weniger anfällig für bestimmte Wetterlagentypen (z. B. Inversionswetterlagen, mit einer Zunahme der Temperatur mit der Höhe), so dass auch kürzere Zeiträume als 12 Monate bei der Witterungsbereinigung (Klimafaktoren) möglich wären.

Das neue Verfahren zur Berechnung der Klimafaktoren wird nachfolgend ausführlich dargestellt.

Methodik zur Berechnung von Klimafaktoren mittels Rasterdaten

Die bisherige Vorgehensweise in der Berechnung von Klimafaktoren für Postleitzahlen soll verbessert werden, indem anstelle eines Regressionsverfahrens die sogenannten HOSTRADA-Daten, welche stündliche Temperaturdaten in einer horizontalen Auflösung von 1 km x 1 km enthalten, in die Berechnung einfließen. Die HOSTRADA-Daten wurden vom DWD rückwirkend bis einschließlich Januar 1995 erstellt und werden monatsweise fortlaufend aktualisiert. Für die hier durchgeführte Prüfung der Methodik standen die Daten für den Zeitraum Januar 2006 bis Dezember 2020 zur Verfügung.

Die Verbesserung der Güte der Klimafaktoren aufgrund der Umstellung der Berechnungen auf die neuen HOSTRADA-Daten sollte in Form von Vergleichstests überprüft werden, indem sowohl die Ergebnisse aus dem bisherigen Regressionsverfahren als auch aus dem neuen Verfahren mit Daten von Messstationen verglichen werden, unter der Annahme, dass letztere die Wirklichkeit widerspiegeln.

Bei der Wahl der Messstationen, die für den Vergleich herangezogen werden, ist darauf zu achten, dass ausschließlich Stationsdaten genutzt werden, die nicht als Input für die HOSTRADA-Daten bzw. für das bisherige Regressionsverfahren verwendet werden, da die Unabhängigkeit der zu vergleichenden Datensätze zu gewährleisten ist. Aus diesem Grund wurden anstelle von Stationsdaten aus dem DWD-Messnetz die für die vergleichende Auswertung notwendigen Temperaturdaten von Partnermessnetzen verwendet. Insgesamt standen für die Untersuchung Stationsdaten aus den folgenden Bundesländern zur Verfügung: Bayern, Brandenburg, Hamburg, Hessen und Niedersachsen. Diese Bundesländer repräsentieren gut die unterschiedlichen orographischen Verhältnisse in Deutschland.

Durch Anwendung statistischer Gütemaße auf die berechneten Jahresgradtage der vorliegenden Datenbasen konnte eine Bewertung des neuen Verfahrens erfolgen. Es war nicht notwendig, die Auswertung auf Basis von Klimafaktoren durchzuführen, da sich diese nur durch einen konstanten Faktor, dem vieljährigen Mittel der Jahresgradtage der Messstation Potsdam, von den Jahresgradtagen unterscheiden.

Datenbasis und Datenaufbereitung zu Jahresgradtagen

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Datenbasen, deren Aufbereitung zu monatlichen Gradtagen bzw. Jahresgradtagen sowie die Datenverschneidung der vorliegenden Stationsdaten mit den Rasterdaten näher erläutert. Alle aufbereiteten Daten decken dabei den Auswertzeitraum von 2006 bis 2020 ab.

Stationsdaten

Die Berechnung von Gradtagen beruht auf Tagesmittelwerten der Temperatur. Die aus den Partnermessnetzen (siehe Tabelle 1) bereitgestellten Temperaturdaten lagen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung und in unterschiedlichen Formaten vor, so dass jeder Datensatz speziell aufbereitet werden musste.

Die Berechnung der Gradtage (GT) aus den aufbereiteten Tagesmittelwerten (t_m) erfolgte nach VDI 3807, Blatt 1 (2013) wie folgt:

$$GT = \begin{cases} 20^\circ\text{C} - t_m & t_m < 15^\circ\text{C} \\ 0 & t_m \geq 15^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3)$$

Tabelle 1
Verwendete Partnermessnetze

Bundesland	Messnetz	Betreiber
Bayern	Messnetz der LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Brandenburg	Luftgütemessnetz Brandenburg	Landesamt für Umwelt, Messnetz-Luft, Potsdam
Hamburg	Hamburger Luftmessnetz	Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Hamburg
Hessen	Luftmessnetz Hessen	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden
Niedersachsen	Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN)	Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm, Gefahrstoffe und Störfallvorsorge (ZUS LLGS), Hildesheim

Quelle: MeteoSolutions GmbH

In der Folge ergaben sich monatliche Gradtage (MGT) aus der Summe der Gradtage des jeweiligen Monats. Monatlich gleitende Jahresgradtage (JGT) wurden wiederum durch Addition der 12 zeitlich aufeinanderfolgenden monatlichen Gradtage berechnet.

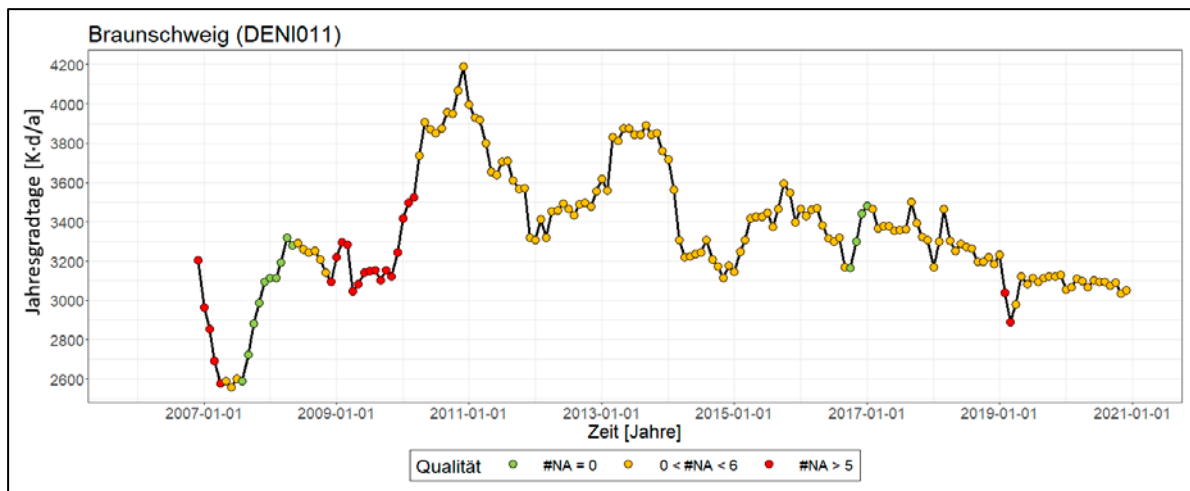
Die Qualität der Temperaturdaten der Partnermessnetze entspricht nicht uneingeschränkt dem Standard der WMO (World Meteorological Organization), der vom DWD-Messnetz erfüllt wird. Dieser Hinweis liegt insbesondere für die Daten aus Brandenburg und Niedersachsen vor. Zudem weisen die Temperaturmessdaten an zahlreichen Stationen deutliche Lücken auf. Um monatliche Gradtage bzw. Jahresgradtage möglichst exakt berechnen zu können, sollten zu allen Tagen des jeweiligen Zeitraums die Tagesmittelwerte und folglich die Gradtage vorliegen. Unter dieser strengen Voraussetzung reduziert sich jedoch der Datenumfang insbesondere der der Jahresgradtage, auf dem die vergleichende Auswertung durchgeführt werden soll, deutlich.

Als Beispiel ist in Abbildung 1 der Verlauf der berechneten Jahresgradtage über den Zeitraum 2006 bis 2020 an der Station Braunschweig dargestellt. Dabei sind die einzelnen Werte in Abhängigkeit von den fehlenden Gradtagen farblich klassifiziert. Lediglich für die Berechnung von 14 Jahresgradtagen liegen sämtliche Gradtage für die Aufsummierung vor (grüne Punkte: 2007/2008 und 2017). Eine Abschwächung des Kriteriums durch Zulassen von maximal 5 fehlenden Gradtagen bei der Berechnung von Jahresgradtagen erhöht die Anzahl der verfügbaren Jahresgradtage deutlich auf 146 Werte (gelbe Punkte). Im letzteren Fall ist somit eine ausreichend große Datenbasis vorhanden, um eine statistische Auswertung an der Station Braunschweig durchzuführen.

Insgesamt kann durch dieses Absenken der Anforderungen an die Daten einerseits der Datenumfang der Stationen deutlich erhöht werden, was überhaupt erst eine Auswertung möglich macht. Andererseits lässt man mit diesem abgeschwächten Kriterium lediglich zu, dass maximal ca. 1 % der Daten für die Berechnung eines Jahresgradtages fehlen.

Abbildung 1

Zeitreihe der berechneten monatlich gleitenden Jahresgradtage an der Station Braunschweig. Die Qualität der einzelnen Werte ergibt sich über die Anzahl der fehlenden Gradtage (#NA) im jeweils berechneten Wert und ist in der Zeitreihe farblich gekennzeichnet. Der Zeitbezug der berechneten Jahresgradtage ist das Ende des jeweils 12-monatigen Zeitraums.



Quelle: Meteosolutions GmbH

Für die stationsbasierte statistische Auswertung wurden nur Stationen berücksichtigt, an denen mindestens 30 Jahresgradtage vorlagen. Mit diesem zusätzlich einschränkenden Kriterium ergab sich letztendlich ein Umfang von 219 Stationen.

Regressionsdaten

Basierend auf dem bisherigen Regressionsverfahren liegen berechnete Jahresgradtage auf einem regelmäßigen 0.01°-Raster vor. Als Metainformation ist zudem die Geländehöhe je Rasterpunkt vorhanden.

HOSTRADA-Daten

Die neu in die Berechnung von Klimafaktoren zu integrierenden Tagesmitteltemperaturen der HOSTRADA-Daten liegen in der Lambert-konformen konischen Projektion (LCC) auf einem Deutschland abdeckenden Raster in 1 km x 1 km Auflösung vor. Die Berechnung der monatlichen Gradtage bzw. Jahresgradtage erfolgte rasterpunktspezifisch nach VDI 3807 über die angegebene Formel (3). Auch für die HOSTRADA-Daten liegt als Metainformation die Geländehöhe je Rasterpunkt vor.

Für einen direkten flächenhaften Vergleich der Jahresgradtage basierend auf den HOSTRADA-Daten mit denjenigen basierend auf dem bisherigen Regressionsverfahren wurden zudem die HOSTRADA-basierten Jahresgradtage auf das regelmäßige 0.01° Raster des Regressionsverfahrens bilinear interpoliert. Damit konnte eine rasterpunktspezifische Gegenüberstellung erfolgen.

Datenverschneidung

Die Verschneidung der Rasterdaten mit den verfügbaren Stationsdaten erfolgte über die geografischen Koordinaten der Stationen, indem jeweils der nächstgelegene Rasterpunkt der jeweiligen Station zugeordnet wurde. Somit ergibt sich je Station und je Monat ein Wertetripel von monatlichen Gradtagen bzw. Jahresgradtagen der drei betrachteten Datenbasen. Diese Daten wurden in Kombination mit den verfügbaren Metadaten in einer Datentabelle je Station abgelegt. Auf Basis dieser Datentabellen erfolgte die stationsbasierte Auswertung.

Ergebnisse des neuen Verfahrens

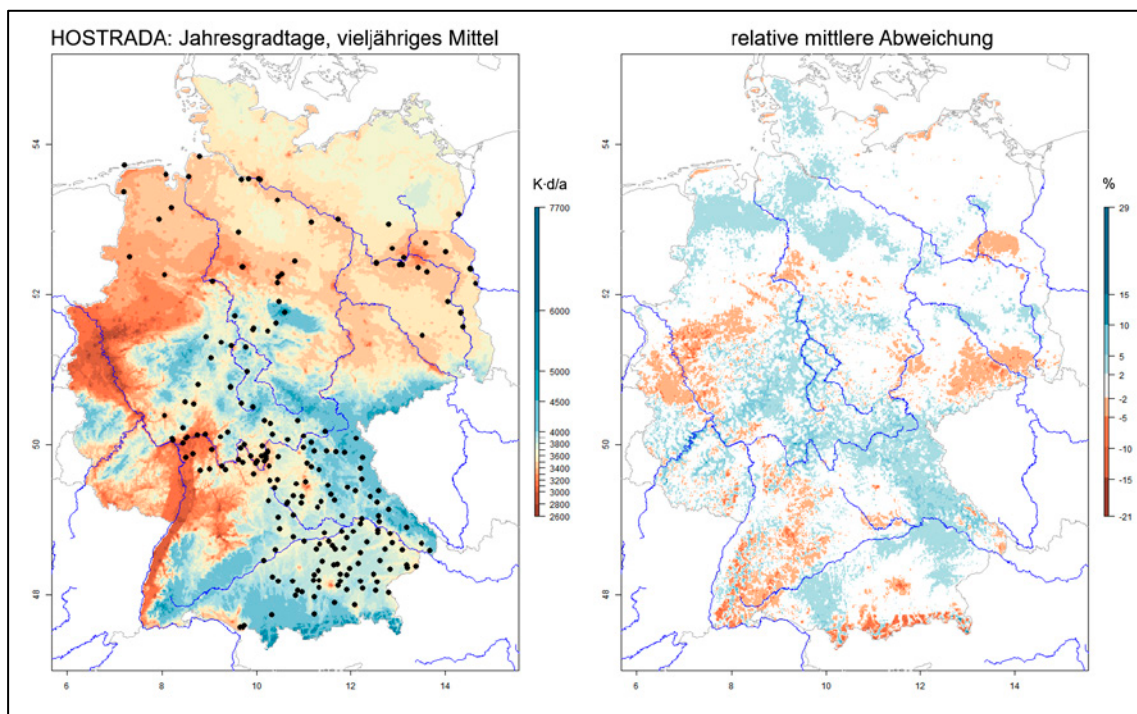
Um die Qualität des neuen Verfahrens zur Berechnung von Jahresgradtagen (und damit letztendlich die der Klimafaktoren) bewerten zu können, erfolgte im ersten Schritt eine rasterbasierte Gegenüberstellung der Ergebnisse auf Basis der HOSTRADA-Daten mit denen des bisherigen Regressionsverfahrens. In einem weiteren Schritt schloss sich ein Vergleich mit Stationsdaten an, um damit ebenfalls das neue mit dem alten Verfahren zu vergleichen.

Vergleich zwischen neuem und bisherigem Verfahren auf Rasterbasis

Um einen grundsätzlichen Überblick über die für den Zeitraum 2006 bis 2020 berechneten monatlich gleitenden HOSTRADA-Jahresgradtage auf einem 1 km x 1 km Deutschlandraster zu erhalten, wurden die Werte an den einzelnen Rasterpunkten zeitlich gemittelt. In Abbildung 2, links, ist dieses vieljährige Mittel in einer flächendeckenden Karte dargestellt. Wie zu erwarten war, schlagen sich die Faktoren, welche die Tagesmitteltemperatur beeinflussen, auch in der flächigen Verteilung der Jahresgradtage nieder. So nimmt die Temperatur mit der Höhe über dem Meeresspiegel ab und folglich werden in der Verteilung der Jahresgradtage die Mittelgebirge und die Alpen anhand hoher Werte deutlich sichtbar. Niedrige Werte finden sich insbesondere im Rheintal und seinen Seitentälern, aber auch einzelne Großstädte wie zum Beispiel Berlin, München und Nürnberg sind aufgrund ihres Wärmeinseleffekts erkennbar. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Nähe zum Meer. So treten in Norddeutschland insgesamt niedrigere Jahresgradtage im vieljährigen Mittel auf.

Abbildung 2

Links: Vieljähriges Mittel der Jahresgradtage über den Zeitraum 2006 bis 2020 basierend auf HOSTRADA-Daten. Die geografischen Positionen der Stationen, die in der stationsbasierten Auswertung berücksichtigt wurden, sind als schwarze Punkte eingetragen. Rechts: Relative mittlere Abweichung des vieljährigen Mittels der Jahresgradtage basierend auf HOSTRADA-Daten zum vieljährigen Mittel der Jahresgradtage basierend auf dem Regressionsverfahren.



Quelle: MeteoSolutions GmbH, Layer (Länder, Flüsse): Carlos Efraín Porto Tapiquén. Geografía, SIG y Cartografía Digital. Valencia, Spain, 2020)

Die relativen mittleren Abweichungen des neuen HOSTRADA-Verfahrens gegenüber dem bisherigen Regressionsverfahren sind in Abbildung 2, rechts, dargestellt. Insgesamt weichen die neuen Jahresgradtage im vieljährigen Mittel größtenteils um maximal $\pm 5\%$ von den bisherigen Jahresgradtagen ab. Einzelne Städte wie München und Nürnberg werden durch höhere Jahresgradtage im neuen Verfahren sichtbar. Allerdings kann damit nicht gesagt werden, dass grundsätzlich im neuen Verfahren der Wärmeinseleffekt in Städten stärker berücksichtigt wird, denn Städte wie Hamburg oder Frankfurt werden in der Karte der relativen Abweichung nicht mit negativen Werten sichtbar.

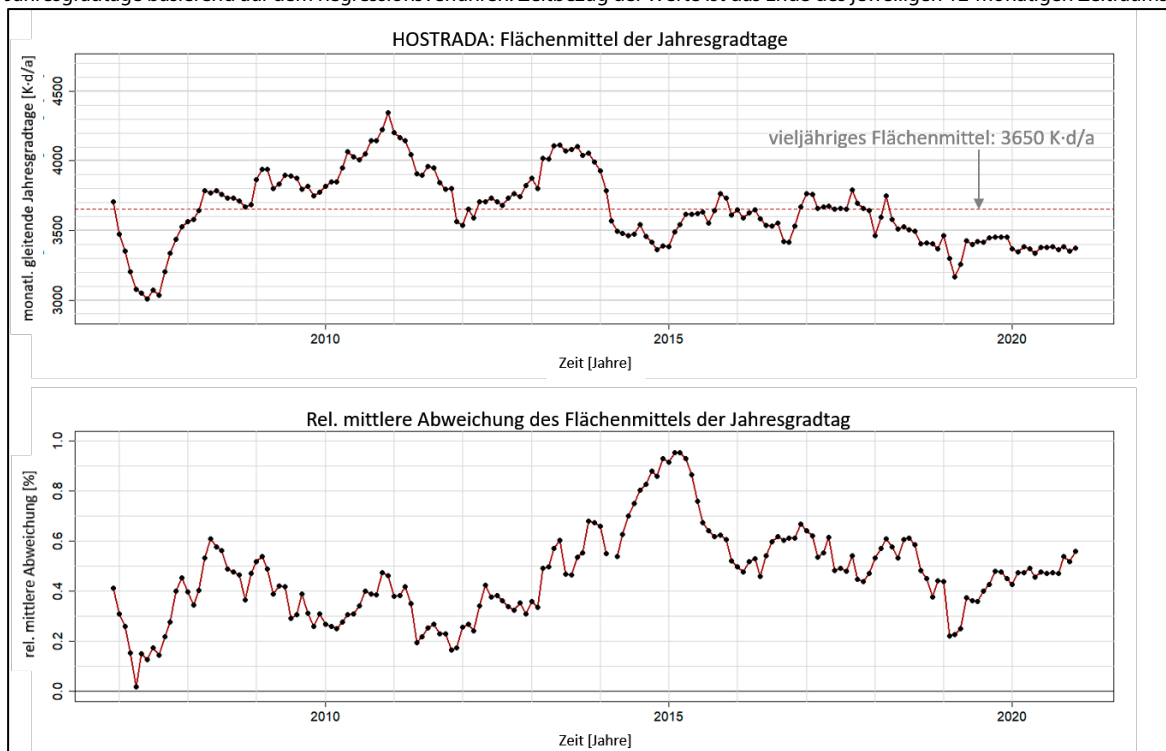
In Analogie zum vieljährigen Mittel wurden die beiden Datensätze hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs durch Betrachtung der Zeitreihen des Flächenmittels für Deutschland miteinander verglichen. In Abbildung 3, oben, ist die Zeitreihe dieses Flächenmittels der HOSTRADA-Jahresgradtage dargestellt. Der Winter 2006 war der wärmste Winter seit Messbeginn. Dies wird im ausgeprägten Minimum zu Beginn der Zeitreihe klar erkennbar. Das vieljährige Flächenmittel über den Zeitraum 2006 bis 2020 liegt bei 3605 K-d/a. Seit 2015 wird dieses Flächenmittel nur geringfügig und sehr kurz überschritten, seit 2018 liegen die Jahresgradtage deutlich unterhalb des vieljährigen Flächenmittels, was auf insgesamt weniger Heiztage bedingt durch höhere Tagesmitteltemperaturen (Stichpunkt Klimawandel) schließen lässt.

Zeitlich betrachtet weicht das HOSTRADA-Flächenmittel über den gesamten Zeitraum um weniger als 1 % vom Flächenmittel des bisherigen Regressionsverfahrens ab (siehe Abbildung 3, unten).

Insgesamt zeigen sich in den neu berechneten Jahresgradtagen hinsichtlich Fläche und Zeit weder erhebliche noch zu charakterisierende Abweichungen gegenüber den Jahresgradtagen des bisherigen Regressionsverfahrens.

Abbildung 3

Oben: Zeitreihe des Flächenmittels der monatlich gleitenden Jahresgradtage basierend auf den HOSTRADA-Daten. Unten: Relative mittlere Abweichung des Flächenmittels der Jahresgradtage basierend auf den HOSTRADA-Daten zum Flächenmittel der Jahresgradtage basierend auf dem Regressionsverfahren. Zeitbezug der Werte ist das Ende des jeweiligen 12-monatigen Zeitraums.



Quelle: MeteoSolutions GmbH

Stationsbasierter Vergleich

Bei einem stationsbasierten Vergleich von Rasterdaten muss grundsätzlich der unterschiedliche räumliche Bezug von Stationsdaten und Rasterdaten bei der Bewertung der Ergebnisse beachtet werden. Während rasterbasierte Daten die mittleren Verhältnisse an der dem Rasterpunkt zugeordneten Umgebung wiedergeben (HOSTRADA: 1 km x 1 km; Regression: 0.01° x 0.01°), spiegeln die gemessenen Stationsdaten die lokalen Verhältnisse in der direkten Umgebung des Messstandortes wider. Es kann somit zu Abweichungen zwischen Stationsdaten und den Daten an dem der Station zugeordneten Rasterpunkt kommen, die nicht auf einen Qualitätsmangel der Rasterdaten zurückzuführen sind – unter der Annahme, dass die an den Stationen gemessenen Werte die Referenz darstellen –, sondern darin begründet liegen, dass der Standort der Station nicht den mittleren Bedingungen am Rasterpunkt entspricht. Als Beispiel wären hier die exponierte Lage von Bergstationen oder Stationen im städtischen Gebiet, die sich aber innerhalb von Grünanlagen befinden, zu nennen.

Für die Auswertung waren Stationsdaten nicht von allen Bundesländern erhältlich. Die Verteilung der verfügbaren 219 Stationen über Deutschland (siehe Abbildung 2, links) zeigt jedoch, dass mit den aufbereiteten Stationsdaten der wesentliche Wertebereich der Jahresgradtage und damit die verschiedenen klimatischen Regionen Deutschlands abgedeckt werden können. Insbesondere die Qualität im städtischen Umfeld kann mit Hilfe des stationsbasierten Vergleichs (Brandenburg, Hamburg, Hessen und Niedersachsen) überprüft werden. Dies ist hinsichtlich des Ziels der Witterungsbereinigung von Energieverbrauchskennwerten an Gebäuden vorteilhaft zu bewerten. Für Bayern musste allerdings auf agrarmeteorologische Messstationen zurückgegriffen werden. Die Lage dieser Stationen orientiert sich naturräumlich insbesondere an Gebieten mit Sonderkulturen (Wein-, Obst und Gemüseanbau), so dass mit diesem Messnetz städtisch geprägte Gebiete weniger abgedeckt werden.

Die Bewertung der Güte der neu erstellten Jahresgradtage erfolgte über die Berechnung des mittleren absoluten prozentualen Fehlers *MAPE* als statistisches Gütemaß:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t=n} \left| \frac{JGT_{Raster} - JGT_{Station}}{JGT_{Station}} \right| * 100 \% \quad (4)$$

mit JGT_{Raster} : Jahresgradtage basierend auf Rasterdaten (HOSTRADA (Ho), Regression (Re)),

$JGT_{Station}$: Jahresgradtage basierend auf Stationsdaten

und n : Anzahl der aufzusummierenden JGT-Wertepaare.

Basierend auf der in Kapitel „Methodik zur Berechnung von Klimafaktoren mittels Rasterdaten“ beschriebenen Verschneidung der Jahresgradtage von Stationsdaten, HOSTRADA-Daten und Regressionsdaten konnte zum einen die mittlere Abweichung zwischen HOSTRADA-Daten und Stationsdaten, zum anderen diejenige zwischen Regressionsdaten und Stationsdaten berechnet werden.

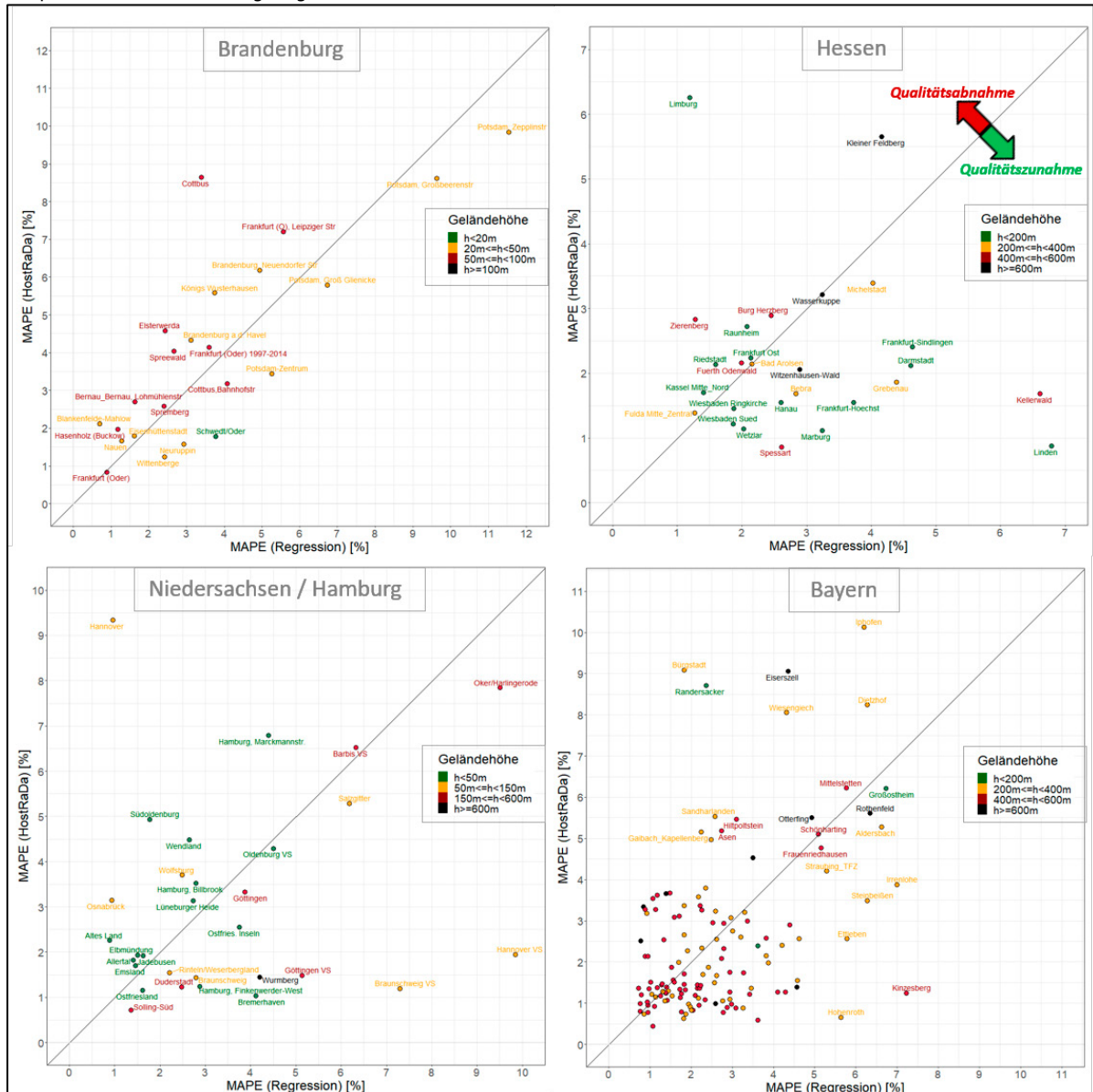
In Abbildung 4 wird in Form von Streudiagrammen des *MAPE*, differenziert nach Bundesländern die Qualität der beiden Rasterdatensätze für jede Station visuell bewertet. Für Stationen, die oberhalb der Diagonalen liegen ($MAPE_{Ho} > MAPE_{Re}$), hat die Qualität der neuen HOSTRADA-Jahresgradtage im Vergleich zu denen der Regression abgenommen. Anderenfalls ($MAPE_{Ho} < MAPE_{Re}$) hat die Qualität zugenommen.

Sowohl die bisherigen Regressionsdaten als auch die neuen HOSTRADA-Daten weichen für alle Stationen (Ausnahme hier: $MAPE_{Re}$ von Potsdam, Zeppelinstr. mit 11,5 % und $MAPE_{Ho}$ von Iphofen mit 10,1 %) im Mittel weniger als 10 % von den Stationsdaten ab. Für Hessen zeigen sich insgesamt die besten Ergebnisse. Hier liegt für die meisten Stationen die mittlere Abweichung sogar unter 5 %. Zudem zeigt sich an 17 von 27 Stationen eine Verbesserung des mittleren Fehlers für die neuen HOSTRADA-Jahresgradtage.

Im Streudiagramm zu Niedersachsen/Hamburg fallen die Stationen Hannover und Hannover VS auf. Die räumliche Distanz zwischen den beiden Stationen beträgt weniger als 1 km. Die Standortbedingungen sind jedoch sehr unterschiedlich. Während die Station Hannover von Grünflächen umgeben im Randbereich einer Kleingartenkolonie liegt, handelt es sich bei der Station Hannover VS um eine Verkehrsstation, die direkt an einer großen Straße liegt. Für die Station Hannover weichen die HOSTRADA-Daten um 9,3 % von den Stationsdaten ab, für die Station Hannover VS ergibt sich nur eine geringe Abweichung von 1,9 %. Die Abweichungen basierend auf den Regressionsdaten verhalten sich genau umgekehrt. Während für Hannover die mittlere Abweichung nur 1 % beträgt, liegt sie für Hannover VS deutlich höher bei 10 %. Eine klare Ursache für diese Auffälligkeit lässt sich nicht eindeutig ausmachen. Man könnte lediglich vermuten, dass in diesem speziellen Fall die Zuordnung der Station zum nächstgelegenen Rasterpunkt bei den HOSTRADA-Daten eine Rolle spielt. Im HOSTRADA-Raster fällt die Station Hannover in den Randbereich eines Rasterpunktes, der überwiegend städtisch geprägt ist, obwohl die Station selbst von Grünflächen umgeben ist und sich hier vermutlich der Wärmeinseleffekt der Stadt in den gemessenen Daten deshalb nicht deutlich niederschlägt. Für die Verkehrsstation Hannover VS wird ein Rasterpunkt mit städtischem Umfeld zugeordnet, so dass hier die Abweichungen zwischen den Daten äußerst gering und damit deutlich besser ausfallen (siehe auch Kapitel „Vergleich mit dem bisherigen Verfahren“)

Abbildung 4

Gegenüberstellung der je Station berechneten $MAPE_{Ho}$ (HOSTRADA-Verfahren) und $MAPE_{Re}$ (Regressionsverfahren) in Form von Streudiagrammen für die einzelnen Bundesländer (Niedersachsen und Hamburg in einem Diagramm). Die Stationen sind in Abhängigkeit von der Geländehöhe farblich beschriftet bzw. markiert. An Stationen, die oberhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität der mit dem neuen Verfahren berechneten Jahresgradtage im Vergleich zum Regressionsverfahren ab. An Stationen, die unterhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität entsprechend zu (wird beispielhaft in der Abbildung für Hessen durch die entsprechenden zwei Pfeile angezeigt).

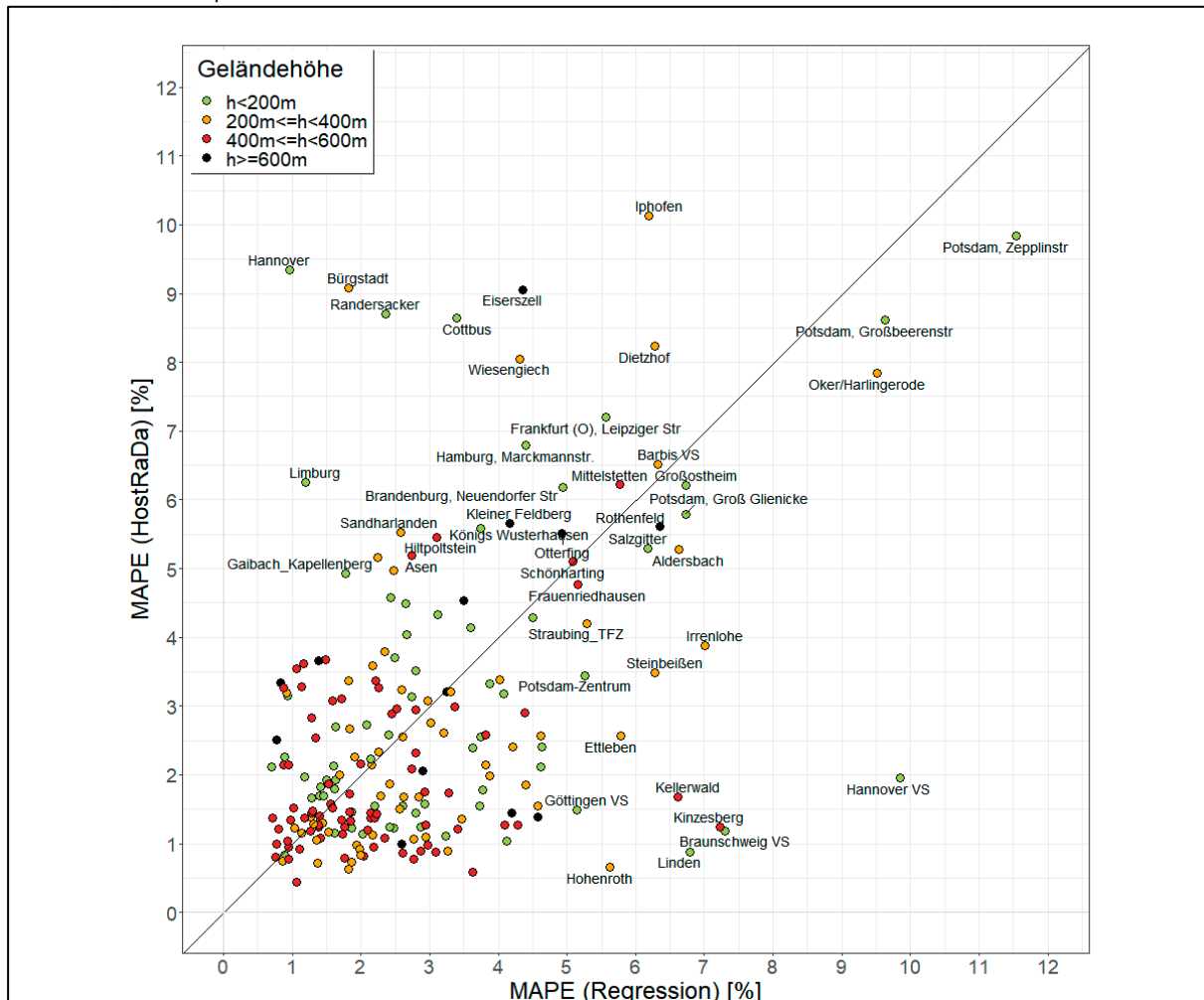


Quelle: MeteoSolutions GmbH, Daten: siehe Tabelle 1

Insgesamt scheinen auf Basis der neuen HOSTRADA-Daten die Jahresgradtage an Verkehrsstationen etwas besser abgebildet zu werden als mit dem bisherigen Regressionsverfahren.

Abbildung 5

Gegenüberstellung der je Station berechneten $MAPE_{Ho}$ (HOSTRADA-Verfahren) und $MAPE_{Re}$ (Regressionsverfahren) in Form eines Streudiagrammes. Die Stationspunkte sind in Abhängigkeit von der Geländehöhe eingefärbt. Stationen, mit einem $MAPE > 5\%$ sind zusätzlich mit dem Namen beschriftet. An Stationen, die oberhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität der mit dem neuen Verfahren berechneten Jahresgradtage im Vergleich zum Regressionsverfahren ab. An Stationen, die unterhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität entsprechend zu.



Quelle: MeteoSolutions GmbH, Daten: siehe Tabelle 1

In Abbildung 5 sind nochmals sämtliche stationsspezifischen $MAPE$ -Fehlerpaare in einem einzigen Streudiagramm eingetragen. Beide Verfahren weisen aufgrund der geringen Fehler, die in den meisten Fällen sogar deutlich unter 5% liegen, eine sehr gute und vergleichbare Qualität auf. Es zeigt sich weder eine deutliche Verbesserung noch eine deutliche Verschlechterung in den Jahresgradtagen in Bezug auf die berücksichtigten Stationsdaten. Ein Einfluss der Geländehöhe auf die Qualität der Jahresgradtage ist zudem nicht festzustellen, denn auch an Bergstationen wie Kleiner Feldberg, Wasserkuppe oder Wurmberg fallen die Abweichungen zu den Stationsdaten gering aus.

In Tabelle 2 sind die bundeslandspezifischen und bundeslandübergreifenden Auswerteparameter gegenübergestellt. Für alle Bundesländer liegt für beide Verfahren der $MAPE$ unter 4% . Bundeslandübergreifend vermindert sich beim neuen Verfahren der Fehler leicht von $2,8\%$ auf $2,6\%$. Stationsspezifisch betrachtet überwiegen leicht die Qualitätsverbesserungen mit 125 Stationen gegenüber den Qualitätsverschlechterungen mit 94 Stationen. Die berechneten vieljährigen mittleren Jahresgradtage der drei Datenbasen liegen in demselben Wertebereich.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der den aufbereiteten Stationsdaten zugrundeliegenden Fehlerquellen kann insgesamt die Qualität der Jahresgradtage beider Verfahren als sehr gut eingestuft werden.

Tabelle 2

Bundeslandspezifische und bundeslandübergreifende Auswerteparameter. Angegeben sind die Anzahl an Stationen, an denen sich die Qualität der Jahresgradtage gegenüber dem Regressionsverfahren verbessert haben (# Stationen ☺) sowie die Anzahl derjenigen, mit einer Qualitätsabnahme (# Stationen ☹). Zudem ist die Anzahl der in die Statistik einfließenden Jahresgradtage (# JGT-Werte), der mittlere absolute prozentuale Fehler (MAPE) basierend auf den HOSTRADA-Daten (Ho) und basierend auf den Regressionsdaten (Re) sowie die vieljährigen mittleren Jahresgradtage (JGT) der 3 Datenbasen (Station, HOSTRADA und Regression) angegeben.

Bundesland	# Stati- onen ☺	# Stati- onen ☹	# JGT- Werte	$MAPE_{Ho}$	$MAPE_{Re}$	$\overline{JGT}_{Station}$ [K·d]	$\overline{JGT}_{Ho}$ [K·d]	$\overline{JGT}_{Re}$ [K·d]
Bayern	83	56	16.596	2.4 %	2.5 %	3.760	3.781	3.729
Brandenburg	9	14	2.839	3.9 %	3.5 %	3.289	3.386	3.393
Hamburg	1	2	213	3.7 %	3.3 %	3.183	3.301	3.286
Hessen	17	10	3.745	2.2 %	2.9 %	3.552	3.522	3.484
Niedersachsen	15	12	3.302	2.9 %	3.2 %	3.411	3.453	3.460
übergreifend	125	94	26.695	2.6 %	2.8 %	3.633	3.658	3.622

Quelle: MeteoSolutions GmbH, Daten: siehe Tabelle 1

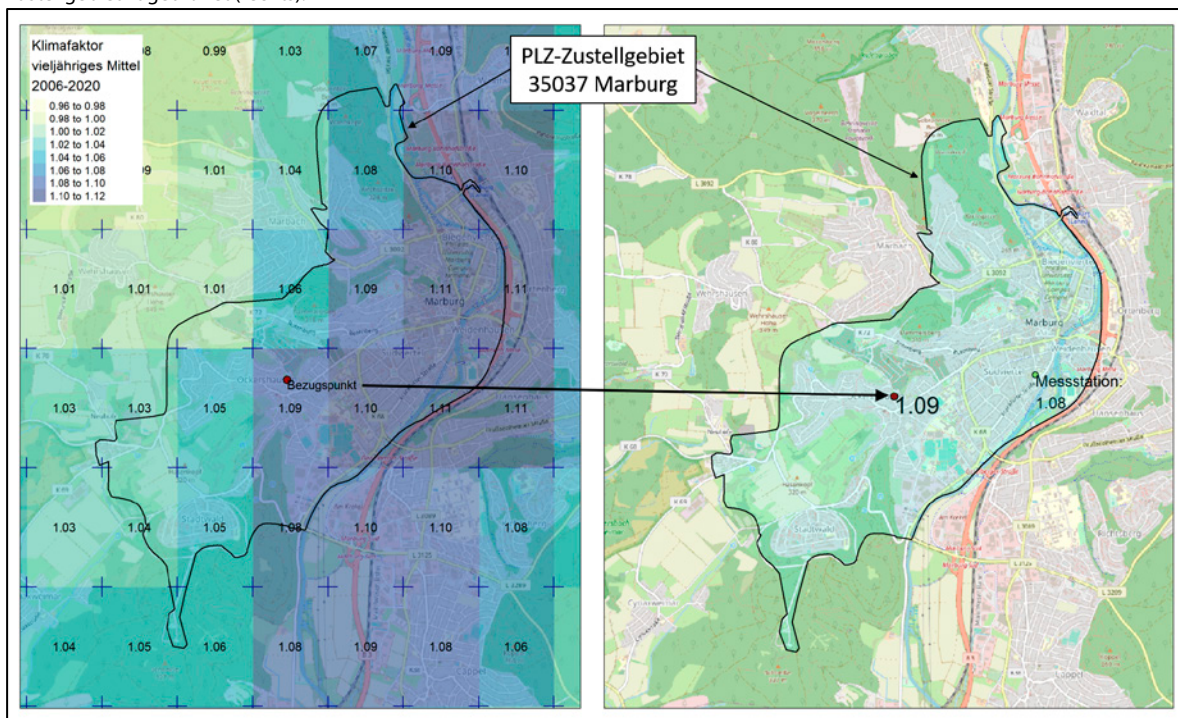
Vergleich mit dem bisherigen Verfahren auf lokaler Ebene

Im bisherigen Verfahren werden Klimafaktoren basierend auf Stationsdaten flächendeckend für ganz Deutschland auf einem Raster mit einer räumlichen Auflösung von 0,01° berechnet. Die Bereitstellung standortbezogener Klimafaktoren erfolgt in aggregierter Form auf Basis von PLZ-Zustellgebieten. Dabei wird jedem PLZ-Zustellbezirk genau ein Bezugspunkt zugeordnet, der sich durch die geografische Lage und die zugehörige Geländehöhe definiert. Als Kriterium dient hierbei die möglichst gute Übereinstimmung in der Geländehöhe. Über die geografische Lage dieses Bezugspunktes im Raster der berechneten Klimafaktoren wird dem PLZ-Zustellbezirk genau ein umliegender Rasterwert der berechneten Klimafaktoren zugeordnet.

In Abbildung 6 wird die Aggregation der Klimafaktoren¹ zu PLZ-Zustellgebieten im bisherigen Verfahren am Beispiel des PLZ-Zustellgebietes 35037 (Marburg) verdeutlicht. Für das PLZ-Zustellgebiet liegt der Bezugspunkt am östlichen Rand des Stadtteils Ockershausen. Es wird somit der vieljährige Klimafaktor 1,09 dem PLZ-Zustellgebiet 35037 zugeordnet. Aus Messwerten an der Luftmessstation Marburg des HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden), die im PLZ-Zustellgebiet 35037 liegt, ergibt sich ein vieljähriger Klimafaktor von 1,08.

Abbildung 6

Veranschaulichung des bisherigen Verfahrens der Klimafaktoren auf Basis von PLZ-Zustellgebieten anhand des PLZ-Zustellgebietes 35037 Marburg. Berechnete vieljährige Klimafaktoren auf dem Raster des bisherigen Verfahrens mit einer räumlichen Auflösung von 0.01° (links). Der Klimafaktor des Rasterpunktes, in dem der Bezugspunkt des PLZ-Zustellgebietes 35037 liegt, wird dem gesamten PLZ-Zustellgebiet zugeordnet (rechts).



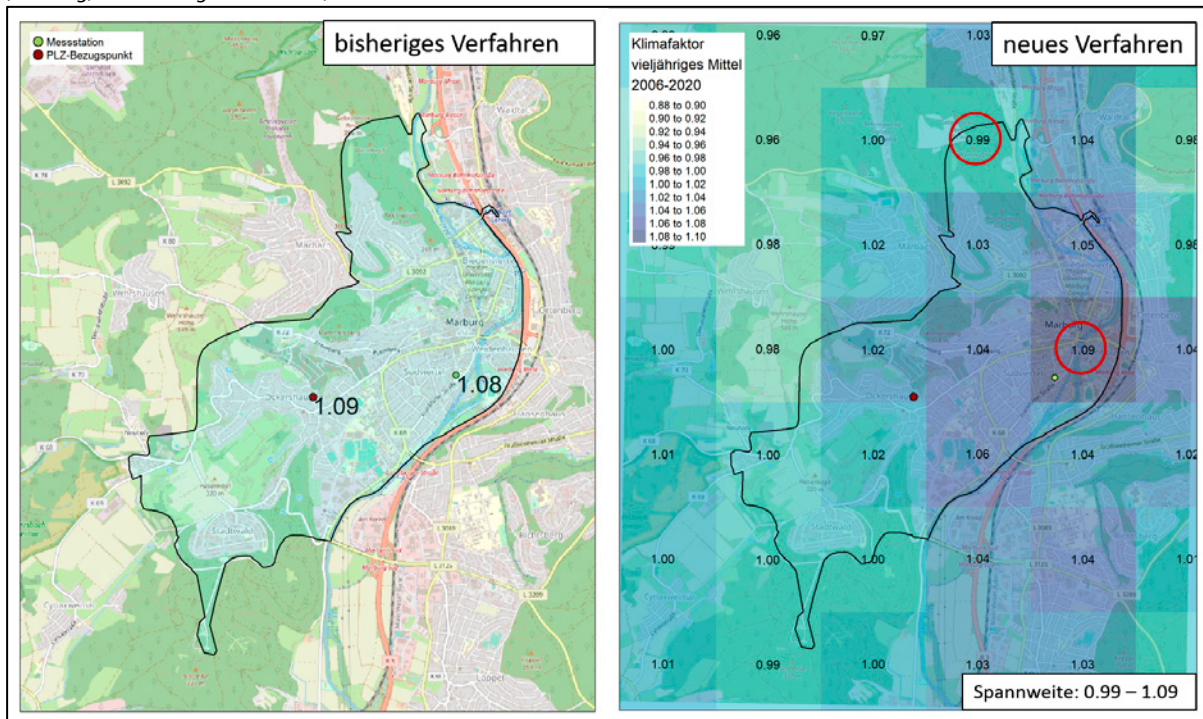
Quellen: MeteoSolutions GmbH, OpenStreetMap (Open Database-Lizenz), Postleitzahlgebiete: © Deutsche Post Direkt GmbH)

Im neuen Verfahren werden Klimafaktoren flächendeckend für ganz Deutschland auf einem Raster mit einer räumlichen Auflösung von 1 km berechnet. Auf eine anschließende PLZ-basierte Aggregation wird verzichtet.

¹ In diesem Kapitel werden bei räumlichen Verteilungen Klimafaktoren im vieljährigen Mittel (2006 – 2020) betrachtet.

Abbildung 7

Visualisierung der Ergebnisse des bisherigen Verfahrens (links) und des neuen Verfahrens (rechts) für das PLZ-Zustellgebiet 35037 (Marburg). Erläuterungen siehe Text, Klimafaktoren in wissenschaftlicher Notation.



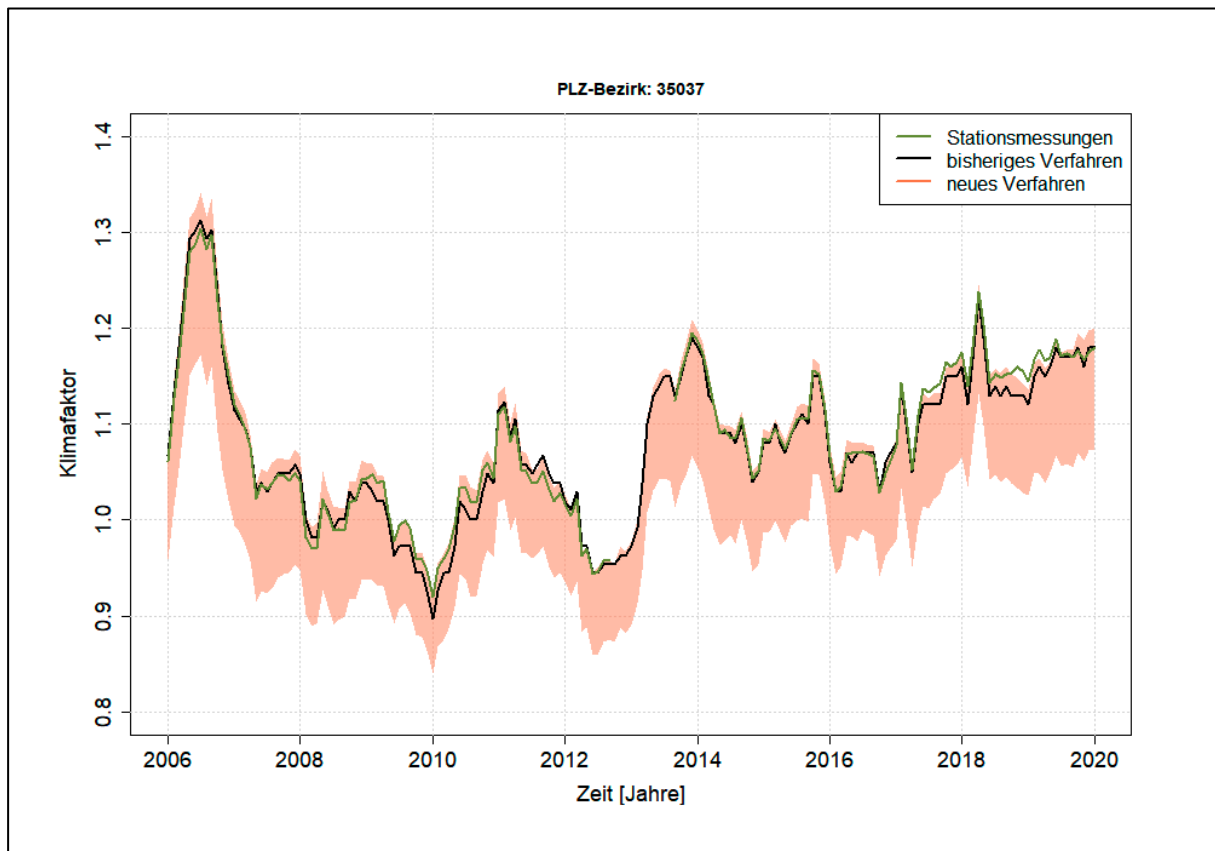
Quellen: MeteoSolutions GmbH, OpenStreetMap (Open Database-Lizenz), Postleitzahlgebiete: © Deutsche Post Direkt GmbH)

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse beider Verfahren gegenübergestellt. Im neuen Verfahren (Abbildung 7, rechts) wird das PLZ-Zustellgebiet 35037 von insgesamt 16 Rasterpunkten abgedeckt. Dabei variieren die zugeordneten vieljährigen Klimafaktoren zwischen 0,99 und 1,09. Der berechnete vieljährige Klimafaktor von 1,09 am Rasterpunkt, in dem die Luftmessstation Marburg liegt, stimmt sehr gut mit dem vieljährigen Klimafaktor basierend auf den Messungen von 1,08 (Abbildung 7, rechts: grüner Punkt) überein. Insgesamt wird der städtische Wärmeinseleffekt, aber auch die Geländehöhe in den rasterbasierten Klimafaktoren des neuen Verfahrens deutlich sichtbar. Diese Variabilität kann im bisherigen Verfahren (Abbildung 7, links) durch die Zuordnung eines einzigen Wertes für das gesamte PLZ-Zustellgebiet (hier: 1,09) nicht abgebildet werden.

Eine Gegenüberstellung von Zeitreihen monatlicher Klimafaktoren für das PLZ-Zustellgebiet 35037 (Abbildung 8) verdeutlicht nochmals die Unterschiede in den beiden Verfahren. Die Kurve basierend auf Stationsmessungen stimmt sehr gut mit der Kurve aus dem bisherigen Verfahren überein und liegt innerhalb der Spannbreite des neuen Verfahrens. In der Spannbreite des neuen Verfahrens wird jedoch zusätzlich die räumliche Variabilität der Klimafaktoren innerhalb des PLZ-Zustellgebietes sichtbar, die sich aufgrund der Unterschiede in der Flächennutzung und der Geländehöhe ergibt.

Abbildung 8

Zeitreihen monatlich gleitender Klimafaktoren für das PLZ-Zustellgebiet 35037 basierend auf Messungen an der Messstation Marburg (grüne Kurve), dem bisherigen Verfahren (schwarze Kurve) und dem neuen Verfahren, bei dem die Spannweite der Klimafaktoren angegeben ist, die sich aus den Rasterwerten ergibt, die räumlich innerhalb des PLZ-Zustellgebietes liegen (lachsfarbene Fläche).



Quelle: MeteoSolutions GmbH

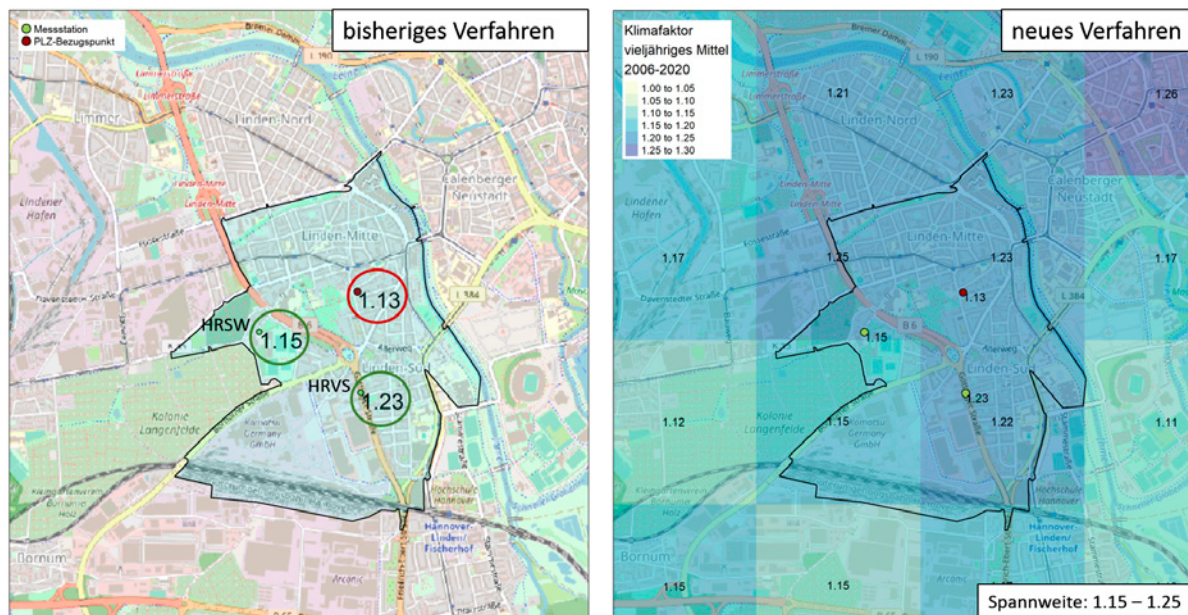
Die Vorteile des neuen Verfahrens werden im Folgenden anhand eines weiteren Beispiels, dem PLZ-Zustellgebiet 30449 (Hannover) verdeutlicht (Abbildung 9).

Im PLZ-Zustellgebiet 30449 befinden sich zwei Messstationen des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (siehe Abbildung 9, links). Aufgrund der unterschiedlich geprägten Umgebung der beiden Messstationen – die Messstation HRSW befindet sich von Grünflächen umgeben am Rande einer Kleingartenkolonie, während die Messstation HRVS direkt an einer großen Straße liegt – ergeben sich unterschiedliche Werte im vieljährigen Mittel der Klimafaktoren (1,15 (HRSW) im Vergleich zu 1,23 (HRVS)). Dem PLZ-Zustellgebiet wird nach dem bisherigen Verfahren ein Klimafaktor von 1,13 zugeordnet, der mit dem ermittelten Wert an der Messstation HRSW im Randbereich der Kleingartenkolonie sehr gut übereinstimmt, aber für andere Bereich im PLZ-Zustellgebiet nicht gut passt. Im neuen rasterbasierten Verfahren können aufgrund der höheren Auflösung die ermittelten Werte an beiden Messstationen sehr gut erfasst werden. Die Spannweite der vieljährigen Klimafaktoren innerhalb des PLZ-Zustellgebietes bewegt sich zwischen 1,15 und 1,25.

Auch im zeitlichen Verlauf der Klimafaktoren erkennt man deutlich die umgebungsbedingte und damit zeitlich konstante Abweichung zwischen den beiden messbasierten Kurvenabschnitten (siehe Abbildung 10, Stationsmessungen). Die Zeitreihe basierend auf dem bisherigen Verfahren stimmt zwar sehr gut mit der ländlich geprägten Messstation überein. Mit dem neuen Verfahren kann jedoch die räumliche Variabilität innerhalb des PLZ-Zustellgebietes, die durch Messungen an den beiden Messstationen belegt werden kann, wiedergegeben werden.

Abbildung 9

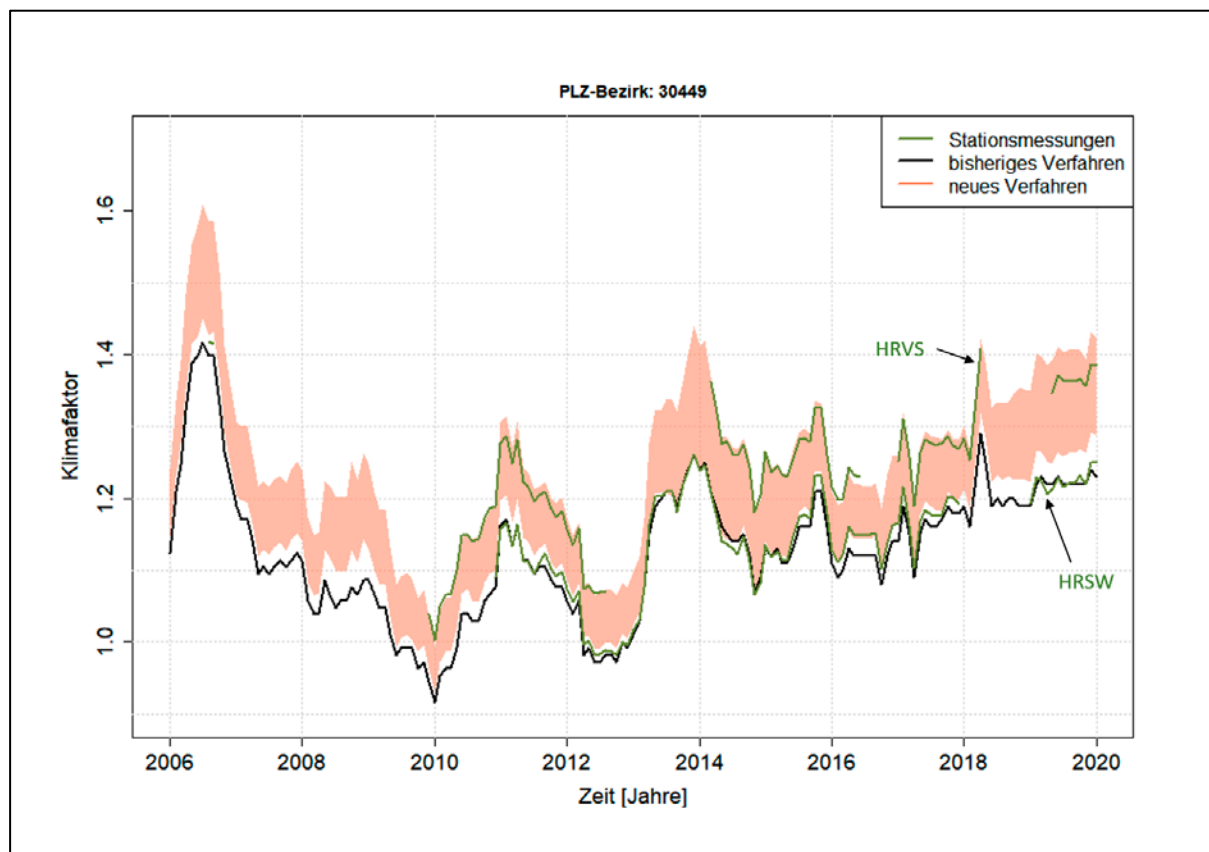
Visualisierung der Ergebnisse des bisherigen Verfahrens (links) und des neuen Verfahrens (rechts) für das PLZ-Zustellgebiet 30449 (Hannover). Werte der Klimafaktoren in wissenschaftlicher Notation. Erläuterungen siehe Text.



Quellen: MeteoSolutions GmbH, OpenStreetMap (Open Database-Lizenz), Postleitzahlgebiete: © Deutsche Post Direkt GmbH)

Abbildung 10

Zeitreihen monatlich gleitender Klimafaktoren für das PLZ-Zustellgebiet 30449 basierend auf Messungen an den Messstationen HRSW und HRVS (grüne Kurven), dem bisherigen Verfahren (schwarze Kurve) und dem neuen Verfahren, bei dem die Spannweite der Klimafaktoren angegeben ist, die sich aus den Rasterwerten ergibt, die räumlich innerhalb des PLZ-Zustellgebietes liegen (lachsfarbene Fläche).



Quelle: MeteoSolutions GmbH

Insgesamt lassen sich die Nachteile des bisherigen Verfahrens wie folgt zusammenfassen:

1. PLZ-Zustellgebiete können als reine Verwaltungseinheiten nicht bzw. nicht immer die räumlichen Strukturen von Klimafaktoren z.B. in stark gegliedertem Gelände abbilden.
2. PLZ-Zustellgebiete sind zeitlich dynamisch, d.h. es werden neue PLZ-Zustellgebiete eingerichtet und auch aufgelöst. Dies bedeutet, dass kontinuierlich Korrekturen am bisherigen Verfahren durchgeführt werden müssen, indem entweder ein fester PLZ-Bestand beibehalten und eine Zuordnungsmatrix zwischen dem festen und dem aktuellen PLZ-Bestand verwendet wird oder aber die jeweils aktuelle PLZ-Datenbanken mit variablen, veränderten PLZ-Zustellgebieten im Verfahren berücksichtigt wird. Beide Vorgehensweisen erfordern die regelmäßige Nachführung von PLZ-Daten.
3. Aufgrund des Regressionsverfahren im bisherigen Verfahren können bestimmte meteorologische Situationen (z.B. Inversionslagen) nicht hinreichend gut erfasst werden. Klimafaktoren mit höherer zeitlicher Auflösung (< 12-Monats-Klimafaktoren) sind mit diesem Verfahren nicht sinnvoll.

Im neuen Verfahren werden Klimafaktoren flächendeckend für ganz Deutschland auf einem Raster mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km berechnet. Als Basis dienen stündliche Temperaturdaten des neu entwickelten HOSTRADA-Datensatzes, der monatlich aktualisiert wird. Durch Verzicht auf eine PLZ-basierte Aggregation bleiben die klimatisch bedingten räumlichen Strukturen in den Klimafaktoren erhalten. Zudem sind durch das fest vorgegebene Bezugsraster, welches sich auch zeitlich nicht ändert, keine fortlaufenden manuellen Korrekturen mehr notwendig.

Technische Umsetzung des neuen HOSTRADA-Verfahrens

Das prinzipielle Verfahren zur Berechnung der Klimafaktoren auf der Basis der HOSTRADA-Daten ist wie folgt:

- Als Berechnungsbasis dienen die stündlichen Temperaturdaten des HOSTRADA-Datensatzes, aus denen Tagesmitteltemperaturen berechnet werden. Die Daten liegen in der Lambert-konform konischen Projektion auf einem Deutschland abdeckenden Raster in 1 km x 1 km Auflösung vor.
- Die Berechnung der Gradtage erfolgt für jeden Rasterpunkt nach der VDI-Richtlinie 3807: Gradtage sind als Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem jeweiligen Tagesmittel der Lufttemperatur definiert. Ein Gradtag liegt nur vor, wenn das Tagesmittel der Lufttemperatur unter 15 °C liegt (siehe Formel (3)).
- Monatliche Gradtage (MGT) ergeben sich aus der Summe der Gradtage des jeweiligen Monats.
- Monatlich gleitende Jahresgradtage (JGT) werden durch Addition der 12 zeitlich aufeinanderfolgenden monatlichen Gradtage berechnet.
- Klimafaktoren (KF) werden für gleitende 12-Monats-Zeiträume als Quotienten aus dem vieljährigen Mittel der Jahresgradtage der Messstation Potsdam ($\overline{JGT_p}$) und den aktuellen Jahresgradtagen (JGT) für den jeweiligen Rasterpunkt berechnet:

$$KF = \frac{\overline{JGT_p}}{JGT} \quad (5)$$

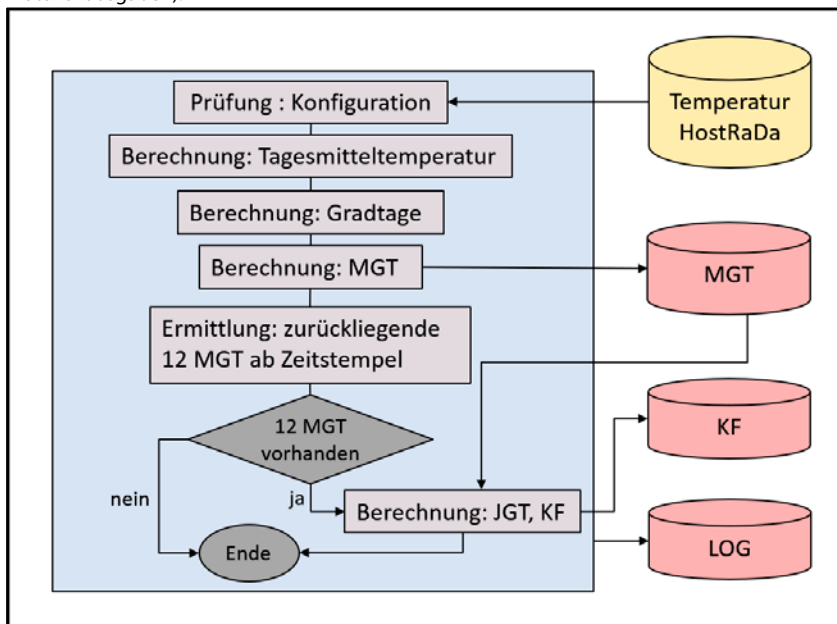
mit $\overline{JGT_p} = 3666.8 \text{ Kd/a}$.

Sobald neue HOSTRADA-Daten für einen kompletten Monat vorliegen, werden daraus die monatlichen Gradtage berechnet, mit den für die 11 zurückliegenden Monate vorliegenden berechneten Monatsgradtagen zu gleitenden Jahresgradtagen (12-Monats-Zeitraum) zusammengefasst und in die Klimafaktoren umgerechnet.

Die Berechnungsabläufe innerhalb des Skriptes sind in Abbildung 11 nochmals grafisch visualisiert.

Abbildung 11

Ablaufplan zum neuen Berechnungsverfahren für Klimafaktoren basierend auf den stündlichen Temperaturdaten des HOSTRADA-Datensatzes des Deutschen Wetterdienstes (MGT: monatliche Gradtage, JGT: Jahresgradtage, KF: Klimafaktoren, LOG: Protokollausgaben).



Quelle: MeteoSolutions GmbH

Diskussion und Fazit

Bei der Diskussion und Entscheidung, ob das neue Klimafaktoren-Berechnungsverfahren (HOSTRADA) gegenüber dem bisherigen Verfahren (Regressionsverfahren) vergleichbar gute oder bessere Ergebnisse liefert und somit das bisherige Verfahren künftig ersetzen sollte, wurden grundsätzliche Argumente erörtert und Vergleichsrechnungen durchgeführt.

Zunächst einige grundsätzliche Überlegungen:

- Das neue Verfahren bietet eine räumlich höhere Auflösung: aus der Kenntnis der Adresse des betrachteten Objekts (Gebäude) kann der Klimafaktor auf 1 km x 1 km genau ermittelt werden, während bisher die unterschiedliche Fläche von Postleitzahl-Zustellbezirken die Bezugsgröße war.
- Jedem PLZ-Zustellbezirk, egal mit welcher räumlichen Ausdehnung, Form (unzusammenhängendes Gebiet) und Orographie, wurde ein Klimafaktor zugeordnet, der dann für alle Objekte in dem PLZ-Zustellbezirk gültig ist.
- Das Nachführen neuer bzw. aufgelöster oder zusammengelegter PLZ-Zustellbezirke entfällt und es existiert eine eindeutige Zuordnung des Objekts zu dem zugehörigen Rasterfeld. Mit verschiedenen statistischen Verfahren wurde untersucht, ob das neue (HOSTRADA) Verfahren gegenüber dem bisherigen Verfahren vorzuziehen ist: Das HOSTRADA-Flächenmittel der Zeitreihe der gleitenden Jahresgradtage weicht über den gesamten Zeitraum um weniger als 1 % vom Flächenmittel des bisherigen Regressionsverfahrens ab. Insgesamt zeigen sich in den neu berechneten Jahresgradtagen hinsichtlich Fläche und Zeit weder erhebliche noch zu charakterisierende Abweichungen gegenüber den Jahresgradtagen des bisherigen Regressionsverfahrens.

Entscheidend noch – als ein relativer Vergleich – ist bei der Beurteilung der Güte des jeweiligen Verfahrens, wie gut es die an Stationen gemessenen Jahresgradtage (und damit die Klimafaktoren) berechnet. Wichtig dabei ist, dass die betrachteten Messstationen nicht im Verfahren berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund wurden Messstationen aus den Ländermessnetzen verwendet. Die Bewertung der Güte erfolgte über die Berechnung des mittleren absoluten prozentualen Fehlers (MAPE) als statistisches Gütemaß. In der Zusammenfassung zeigen beide Verfahren nur geringe Fehler (Abweichungen von den gemessenen Werten), die in den meisten Fällen sogar deutlich unter 5 % liegen, und weisen somit eine sehr gute und vergleichbare Qualität auf. Beim neuen Verfahren zeigt sich weder eine deutliche Verbesserung noch eine deutliche Verschlechterung in den Jahresgradtagen in Bezug auf die berücksichtigten Stationsdaten. Ein Einfluss der Geländehöhe auf die Qualität der Jahresgradtage ist zudem nicht festzustellen, denn auch an Bergstationen wie Kleiner Feldberg, Wasserkuppe oder Wurmberg fallen die Abweichungen zu den Stationsdaten gering aus.

Bei einem Test mit ausgewählten PLZ-Zustellbezirken konnte gezeigt werden, dass mit dem neuen Verfahren die räumliche Variabilität innerhalb eines PLZ-Zustellgebietes, die durch Messungen an Messstationen im Zustellgebiet belegt werden kann, wiedergegeben werden. Im Gegensatz dazu liefert das bisherige Verfahren nur einen Wert für das gesamte PLZ-Zustellgebiet.

Aufgrund dieser Ergebnisse und Überlegungen wird empfohlen, zukünftig das neue Verfahren zur Berechnung der Klimafaktoren auf einen 1 km x 1 km-Raster auf Basis der HOSTRADA-Daten zu verwenden. Für eine tatsächliche Umsetzung und Anwendung der nach dem neuen Verfahren ermittelten Klimafaktoren sind noch weitere Abstimmungen und Arbeiten erforderlich.

Weiteres Vorgehen:

- Sicherstellen einer regelmäßigen, ausfallsicheren Bereitstellung der monatlichen HOSTRADA-Daten, jeweils etwa vier Wochen nach Monatsende.
- Entwicklung und Realisierung von Zugriffsmöglichkeiten auf die Klimafaktoren über die Gebäudeadresse sowohl für Einzelgebäude als auch für beliebig viele Gebäude.

-
- Entscheidung der für die Ausstellung von Energieverbrauchsausweisen und Informationspflichten nach der Heizkostenverordnung zuständigen Bundesministerien über den Zeitpunkt, ab dem die neuen Klimafaktoren für die Nutzerinnen und Nutzer bereitgestellt werden können, begleitet mit Informationen für die Nutzer.

Literaturverzeichnis

DWD, 2024a: Leistungen. Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsausweise. Zugriff:
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html> [abgerufen am 13.09.2024].

DWD, 2024b: Leistungen. Testreferenzjahre (TRY). Zugriff:
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html> [abgerufen am 13.09.2024].

Halbig, G.; Namyslo, J., 2014: Neue Witterungsbereinigung für Energieausweise auf der Basis des Referenzklimas Potsdam. EneV aktuell, IV (2014): 11–13.

Halbig, G.; Schröder, F., 2011: Ortsgenaue Klimafaktoren für Deutschland. Teil 1. HLH, 10 (2011): 50–55.

VDI 3807 - Blatt 1, 2013: Verbrauchskennwerte für Gebäude. Grundlagen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zeitreihe der berechneten monatlich gleitenden Jahresgradtage an der Station Braunschweig. Die Qualität der einzelnen Werte ergibt sich über die Anzahl der fehlenden Gradtage (#NA) im jeweils berechneten Wert und ist in der Zeitreihe farblich gekennzeichnet. Der Zeitbezug der berechneten Jahresgradtage ist das Ende des jeweils 12-monatigen Zeitraums. Quelle: eigene Darstellung 12

Abbildung 2 Links: Vieljähriges Mittel der Jahresgradtage über den Zeitraum 2006 bis 2020 basierend auf HOSTRADA-Daten. Die geografischen Positionen der Stationen, die in der stationsbasierten Auswertung berücksichtigt wurden, sind als schwarze Punkte eingetragen. Rechts: Relative mittlere Abweichung des vieljährigen Mittels der Jahresgradtage basierend auf HOSTRADA-Daten zum vieljährigen Mittel der Jahresgradtage basierend auf dem Regressionsverfahren. Quelle: eigene Darstellungen, Layer (Länder, Flüsse): Carlos Efraín Porto Tapiquén. Geografía, SIG y Cartografía Digital. Valencia, Spain, 2020) 13

Abbildung 3 Oben: Zeitreihe des Flächenmittels der monatlich gleitenden Jahresgradtage basierend auf den HOSTRADA-Daten. Unten: Relative mittlere Abweichung des Flächenmittels der Jahresgradtage basierend auf den HOSTRADA-Daten zum Flächenmittel der Jahresgradtage basierend auf dem Regressionsverfahren. Zeitbezug der Werte ist das Ende des jeweiligen 12-monatigen Zeitraums. Quelle: eigene Darstellung 14

Abbildung 4 Gegenüberstellung der je Station berechneten $MAPE_{Ho}$ (HOSTRADA-Verfahren) und $MAPE_{Re}$ (Regressionsverfahren) in Form von Streudiagrammen für die einzelnen Bundesländer (Niedersachsen und Hamburg in einem Diagramm). Die Stationen sind in Abhängigkeit von der Geländehöhe farblich beschriftet bzw. markiert. An Stationen, die oberhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität der mit dem neuen Verfahren berechneten Jahresgradtage im Vergleich zum Regressionsverfahren ab. An Stationen, die unterhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität entsprechend zu (wird beispielhaft in der Abbildung für Hessen durch die entsprechenden zwei Pfeile angezeigt). Quelle: eigene Darstellung 17

Abbildung 5 Gegenüberstellung der je Station berechneten $MAPE_{Ho}$ (HOSTRADA-Verfahren) und $MAPE_{Re}$ (Regressionsverfahren) in Form eines Streudiagrammes. Die Stationspunkte sind in Abhängigkeit von der Geländehöhe eingefärbt. Stationen, mit einem $MAPE > 5\%$ sind zusätzlich mit dem Namen beschriftet. An Stationen, die oberhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität der mit dem neuen Verfahren berechneten Jahresgradtage im Vergleich zum Regressionsverfahren ab. An Stationen, die unterhalb der Diagonalen liegen, nimmt die Qualität entsprechend zu. Quelle: eigene Darstellung 18

Abbildung 6 Veranschaulichung des bisherigen Verfahrens der Klimafaktoren auf Basis von PLZ-Zustellgebieten anhand des PLZ-Zustellgebietes 35037 Marburg. Berechnete vieljährige Klimafaktoren auf dem Raster des bisherigen Verfahrens mit einer räumlichen Auflösung von 0.01° (links). Der Klimafaktor des Rasterpunktes, in dem der Bezugspunkt des PLZ-Zustellgebietes 35037 liegt, wird dem gesamten PLZ-Zustellgebiet zugeordnet (rechts). Quellen: eigene Darstellung, OpenStreetMap (Open Database-Lizenz), Postleitzahlgebiete: © Deutsche Post Direkt GmbH) 20

Abbildung 7 Visualisierung der Ergebnisse des bisherigen Verfahrens (links) und des neuen Verfahrens (rechts) für das PLZ-Zustellgebiet 35037 (Marburg). Erläuterungen siehe Text, Klimafaktoren in wissenschaftlicher Notation. Quellen: eigene Darstellung, OpenStreetMap (Open Database-Lizenz), Postleitzahlgebiete: © Deutsche Post Direkt GmbH) 21

Abbildung 8 Zeitreihen monatlich gleitender Klimafaktoren für das PLZ-Zustellgebiet 35037 basierend auf Messungen an der Messstation Marburg (grüne Kurve), dem bisherigen Verfahren (schwarze Kurve) und dem neuen Verfahren, bei dem die Spannbreite der Klimafaktoren angegeben ist, die sich aus den Rasterwerten ergibt, die räumlich innerhalb des PLZ-Zustellgebietes liegen (lachsfarbene Fläche). Quelle: eigene Darstellung 22

Abbildung 9 Visualisierung der Ergebnisse des bisherigen Verfahrens (links) und des neuen Verfahrens (rechts) für das PLZ-Zustellgebiet 30449 (Hannover). Werte der Klimafaktoren in wissenschaftlicher Notation.

Erläuterungen siehe Text. Quellen: eigene Darstellung, OpenStreetMap (Open Database-Lizenz), Postleitzahlgebiete: © Deutsche Post Direkt GmbH 23

Abbildung 10 Zeitreihen monatlich gleitender Klimafaktoren für das PLZ-Zustellgebiet 30449 basierend auf Messungen an den Messstationen HRSW und HRVS (grüne Kurven), dem bisherigen Verfahren (schwarze Kurve) und dem neuen Verfahren, bei dem die Spannbreite der Klimafaktoren angegeben ist, die sich aus den Rasterwerten ergibt, die räumlich innerhalb des PLZ-Zustellgebietes liegen (lachsfarbene Fläche). Quelle: eigene Darstellung 23

Abbildung 11 Ablaufplan zum neuen Berechnungsverfahren für Klimafaktoren 26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Verwendete Partnermessnetze	11
-----------	-----------------------------	----

Tabelle 2	Bundeslandspezifische und bundeslandübergreifende Auswerteparameter. Angegeben sind die Anzahl an Stationen, an denen sich die Qualität der Jahresgradtage gegenüber dem Regressionsverfahren verbessert haben (# Stationen ☺) sowie die Anzahl derjenigen, mit einer Qualitätsabnahme (# Stationen ☹). Zudem ist die Anzahl der in die Statistik einfließenden Jahresgradtage (# JGT-Werte), der mittlere absolute prozentuale Fehler (MAPE) basierend auf den HOSTRADA-Daten (Ho) und basierend auf den Regressionsdaten (Re) sowie die vieljährigen mittleren Jahresgradtage (JGT) der 3 Datenbasen (Station, HOSTRADA und Regression) angegeben.	19
-----------	--	----