

ÖGM bulletin

2018/1



Zum Titelbild: WegenerNet Station Nr. 154 am Kapfensteiner Kogel. (Foto: Wegener Center 2018)

Österreichische Gesellschaft für Meteorologie

Impressum

Herausgeber und Medieninhaber:

Österreichische Gesellschaft für Meteorologie
 1190 Wien, Hohe Warte 38
<http://www.meteorologie.at/>

Redaktion:

Fritz Neuwirth
 Österreichische Gesellschaft für Meteorologie
 1190 Wien, Hohe Warte 38
 fritz.neuwirth@gmx.at

Michael Kuhn
 Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften,
 Universität Innsbruck
 6020 Innsbruck, Innrain 52

Gerhard Wotawa
 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
 1190 Wien, Hohe Warte 38

Technische Umsetzung:

Christian Maurer

Redaktionsschluss für das ÖGM Bulletin 2018/2 ist der 30. Oktober 2018. Um Beiträge wird gebeten. Wenn möglich, verwenden Sie bitte \LaTeX ! Eine Vorlage samt Style-File ist auf der ÖGM-Website verfügbar.

Inhalt

Vorwort
 Fritz Neuwirth 3

Die ZAMG bei den Olympischen Spielen - INCA Kurzfristprognosen für Pyeongchang 2018
 Benedikt Bica 4

WegenerNet – Klimaforschungsregion seit mehr als 10 Jahren
 Thomas Kabas, Jürgen Fuchsberger, Gottfried Kirchengast, Christoph Schlager und Christoph Bichler 8

Die Prognose der 2-m Temperatur im ECMWF-Modell
 Thomas Haiden 16

Habilitation von Dr. Douglas Maraun
 Fritz Neuwirth 21

Bericht zur 11. Klimatagung des DWD
 Ernest Rudel 22

Neuigkeiten aus der Europäischen Meteorologischen Gesellschaft EMS
 Fritz Neuwirth 25

Bericht über die 38. Sitzung des Rats der Europäischen Meteorologischen Gesellschaft EMS
 Fritz Neuwirth 26

Buchrezension
 Fritz Neuwirth 28

Universitätsabschlüsse
 31

Geburtstage 2018
 37

Wien, im Juni 2018

Wegener Center

WegenerNet – Klimaforschungsregion seit mehr als 10 Jahren

Thomas Kabas, Jürgen Fuchsberger, Gottfried Kirchengast, Christoph Schlager und Christoph Bichler

Einleitung

Seit 2007 wird die kleinregionale Wetter- und Klimaentwicklung im Rahmen des WegenerNets beobachtet. Anfangs in der Südoststeiermark in der Fokusregion Feldbach aufgebaut, erfolgte ab 2010 eine Ergänzung durch das kleinere Schwesternetz Johnsachtal im Gebiet Nationalpark Gesäuse/Ennstal, sodass nunmehr in zwei Regionen hoch aufgelöste Daten von meteorologischen Variablen erhoben werden. Der nun vorliegende Datensatz von mehr als einem Jahrzehnt stellt bereits eine einmalige neue Ressource für eine Vielzahl an Forschungs- und Anwendungsmöglichkeiten dar. Auf den nachfolgenden Seiten erfolgen eine kurze Vorstellung des WegenerNets und eine Zusammenschau von ausgewählten Studienergebnissen mit weiterführender Literatur. Detaillierte Beschreibungen zum WegenerNet finden sich in *Kirchengast et al. (2014)* sowie auf der WegenerNet Homepage www.wegcenter.at/wegenernet (inklusive Publikationsliste von genannten und weiteren Studien).

WegenerNet Feldbachregion

Die WegenerNet Feldbachregion (FBR)

wurde im Jahr 2006 beginnend mit 150 Messstationen errichtet. Die nunmehr 155 Messstationen bilden ein engmaschiges Netz – eine Station pro ca. zwei Quadratkilometer – und erstrecken sich insgesamt über ein Gebiet von ca. 22 km x 16 km. 153 von den 155 Messstationen werden vom Wegener Center und zwei Stationen vom Österreichischen Hydrographischen Dienst (AHYD) betrieben. Die zeitliche Grundauflösung der Messwerte beträgt 5 Minuten. Die Stationsstandorte sind in Anlehnung an ein Stationsraster angeordnet (siehe **Abbildung 1**). Die mittlere Distanz zur nächstgelegenen Nachbarstation beträgt ungefähr 1,4 km. Es wird zwischen mehreren Stationstypen unterschieden, an welchen unterschiedliche Sensoren installiert sind. Die Grundparameter stellen dabei Lufttemperatur, Niederschlag und relative Luftfeuchte dar. Diese werden an 128 Basisstationen und nahezu allen weiteren Stationen erhoben. An 11 Basisstationen werden außerdem Bodenparameter, an 13 Primärstationen auch Windparameter und an der Referenzstation eine Reihe weiterer Parameter wie Luftdruck und Strahlungsbilanz gemessen. In **Abbildung 1** sind die Stationen des Partnerbetreibers AHYD und auch der ZAMG markiert,

deren Daten eine wichtige Ergänzung und Vergleichsmöglichkeit in der Datenaufbereitung darstellen.

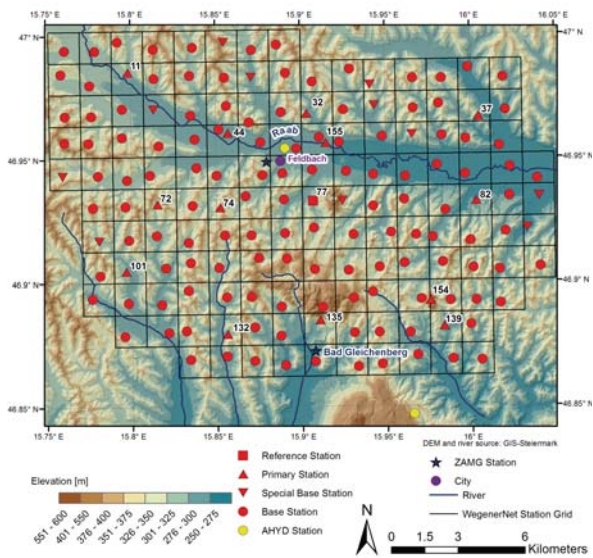


Abb. 1: Übersichtskarte der Messstationen in der WegenerNet Feldbachregion. Kennzeichnung der Basisstationen als rote Kreise, Basis-spezialstationen als abwärts gerichtete Dreiecke, Primärstationen als aufwärts gerichtete Dreiecke, Referenzstation als Quadrat, Stationen des Österreichischen Hydrographischen Dienstes als grüne Kreise und Vergleichsstationen der ZAMG als blaue Sterne. (Grafik: Wegener Center 2018)

WegenerNet Johnsbachtal

Das WegenerNet Johnsbachtal (JBT) umfasst 11 meteorologische Stationen (plus eine hydrographische Station), welche vom Wegener Center und weiteren Partnerorganisationen in einem Höhenbereich von unter 700 m bis über 2100 m betrieben werden (siehe **Abbildung 2**). Als Grundparameter werden Lufttemperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Schneehöhe sowie einige Wind- und Strahlungsparameter gemessen. Die zeitliche Grundaufösung beträgt 10 Minuten und Messwerte liegen teilweise seit Oktober 2010, teilweise seit Januar 2007 vor.

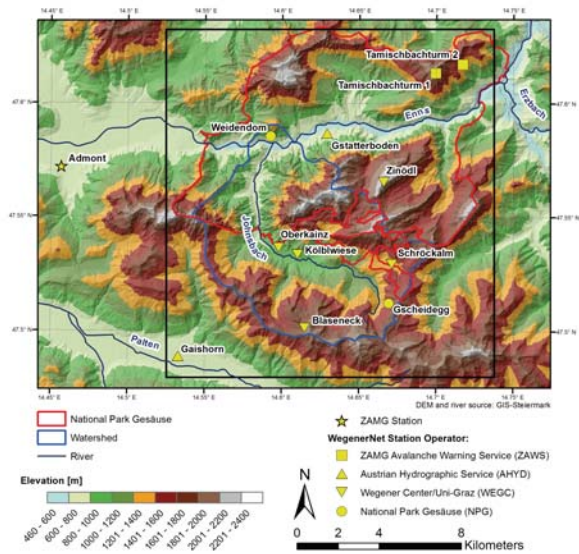


Abb. 2: Übersichtskarte der Messstationen im WegenerNet Johnsbachtal. Kennzeichnung der Stationen in Grün (abwärts gerichtete Dreiecke: Wegener Center Stationen, aufwärts gerichtete Dreiecke: AHYD, Kreise: Nationalpark Gesäuse, Quadrate: ÖBB/Lawinenwarndienst, Stern: ZAMG), des Einzugsgebiets Johnsbachtal in Blau, der Grenze des Nationalparks Gesäuse in Rot und der Umrandung des Kerngebiets in Schwarz. (Grafik: Wegener Center 2018)

Datenprozessierungs-System

Die Datenaufbereitung erfolgt in einem automatisierten Prozessierungssystem. Dieses reicht von der Datenübertragung und Einspeisung in eine Datenbank, über die Qualitätskontrolle bis hin zur Erstellung von Datenprodukten. Um Wetter- und Klimadatenprodukte zu erhalten, werden die Daten zunächst einer ganzen Reihe von automatisierten Qualitätstests unterzogen. Bei einwandfreier Qualitätsmarke fließen die nativen Daten dann in die zeitliche Aggregation (Mittelung bzw. Aufsummierung) ein. Für FBR und JBT stehen die Wetter- und Klimadaten danach als qualitätsgeprüfte Stationsdaten zur Verfügung. Für die FBR erfolgt zudem die weitere Ableitung und Auf-

bereitung von Gitterdaten (200 m x 200 m UTM-Koordinatensystem). Für beide Gebiete werden außerdem hochaufgelöste Windfelder (100 m x 100 m UTM) berechnet (siehe Abschnitt Forschungsbeispiele). Eine nähere Beschreibung der Datenaufbereitung findet sich in *Scheidl (2014)* und *Fuchsberger et al. (2018)* sowie auf der Website www.wegcenter.at/wegenernet.

WegenerNet Datenportal

Der Zugriff auf die Daten erfolgt über das WegenerNet Datenportal, das seit 2017 in neu entwickelter moderner Form zur Verfügung steht (www.wegenernet.org). Dort können einerseits die Stationsdaten als Zeitreihen geplottet und andererseits die Gitterdaten als Felder dargestellt werden. Außerdem ist ein Download der Daten möglich. Die Auswahl der gewünschten Stationen erfolgt benutzerfreundlich über eine zoombare Karte (mit wählbarem Hintergrund wie z.B. Basemap, OpenStreetMap und Orthofotos). Die aktuellen Messwerte werden in einer Stations-Detailansicht angezeigt, wo auch die Stationskoordinaten und weitere Informationen einsehbar sind. Detaillierte Zeitreihen der einzelnen Messparameter werden als zoombares Diagramm ausgegeben. Es können verschiedene zeitliche Auflösungen (von 5-Minuten über Halbstunden-, Stunden-, Monats-, Saison- bis zu Jahresdaten) ausgewählt werden. Ergänzend können zusätzliche hilfreiche Karten bzw. Gitterdatensätze wie zur Topographie (digitales Geländemodell) und zur Landbedeckung/Landnutzung herunter geladen werden.

Visualisierungsbeispiel – Niederschlagsdaten

Durch die Möglichkeit, die Daten am Datenportal in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung abzurufen, können schnell und kom-

fortabel lange Zeiträume analysiert werden. **Abbildung 3** zeigt Beispiele für Datenportal-Grafiken der Niederschlagsdaten dreier Messstationen mit zunehmender zeitlicher Auflösung. Zunächst in **Abbildung 3A** die Jahresdaten für die 10 Jahre 2007 bis 2016, wo das Jahr 2009 mit einer Niederschlagssumme von 1390 mm an Station 54 (westlicher Rand der Region) hervorsticht. Auffällig ist auch, dass am östlichen Rand der Region (Station 84) mit rund 1200 mm fast 200 mm weniger Niederschlag gemessen wurde. **Abbildung 3B** zeigt die Monatsdaten rund um das Jahr 2009; auffällig hier der Juni 2009 mit über 250 mm Niederschlag. Die Tagesdaten für dieses Ereignis sind in **Abbildung 3C** zu sehen, wo einerseits der Zeitraum 22.-24. Juni mit ca. 130 mm und andererseits auch der Zeitraum 3.-4. August mit ungefähr der gleichen Menge Niederschlag herausragen. Weitere Details sind in den Stunden- und 5-Minuten-Daten (**Abbildung 3D** und **Abbildung 3E**) zu sehen.

Forschungsaktivitäten und Ausblick

Da das WegenerNet als Langzeitfeldexperiment für hochauflösendes Monitoring von Wetter und Klima angelegt ist, können viele Forschungsaktivitäten zum Klima- und Umweltwandel und seinen Auswirkungen von diesen verlässlich verfügbaren Daten profitieren. Eine in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnende Anwendung der WegenerNet Daten ist beispielsweise die Nutzung zu Evaluierungszwecken. Begründet in der räumlich und zeitlich hohen Auflösung sowie der fortschreitenden Länge des FBR-Datensatzes wurden Ergebnisse aus dem WegenerNet in einer ganzen Reihe an Analysen eingebunden. Nachfolgend werden ausgewählte Studien für den Parameter Niederschlag und – als weiteres Entwicklungsbeispiel – die Ableitung von Windfeldern angeführt, ehe abschließend noch ein kurzer Ausblick erfolgt.

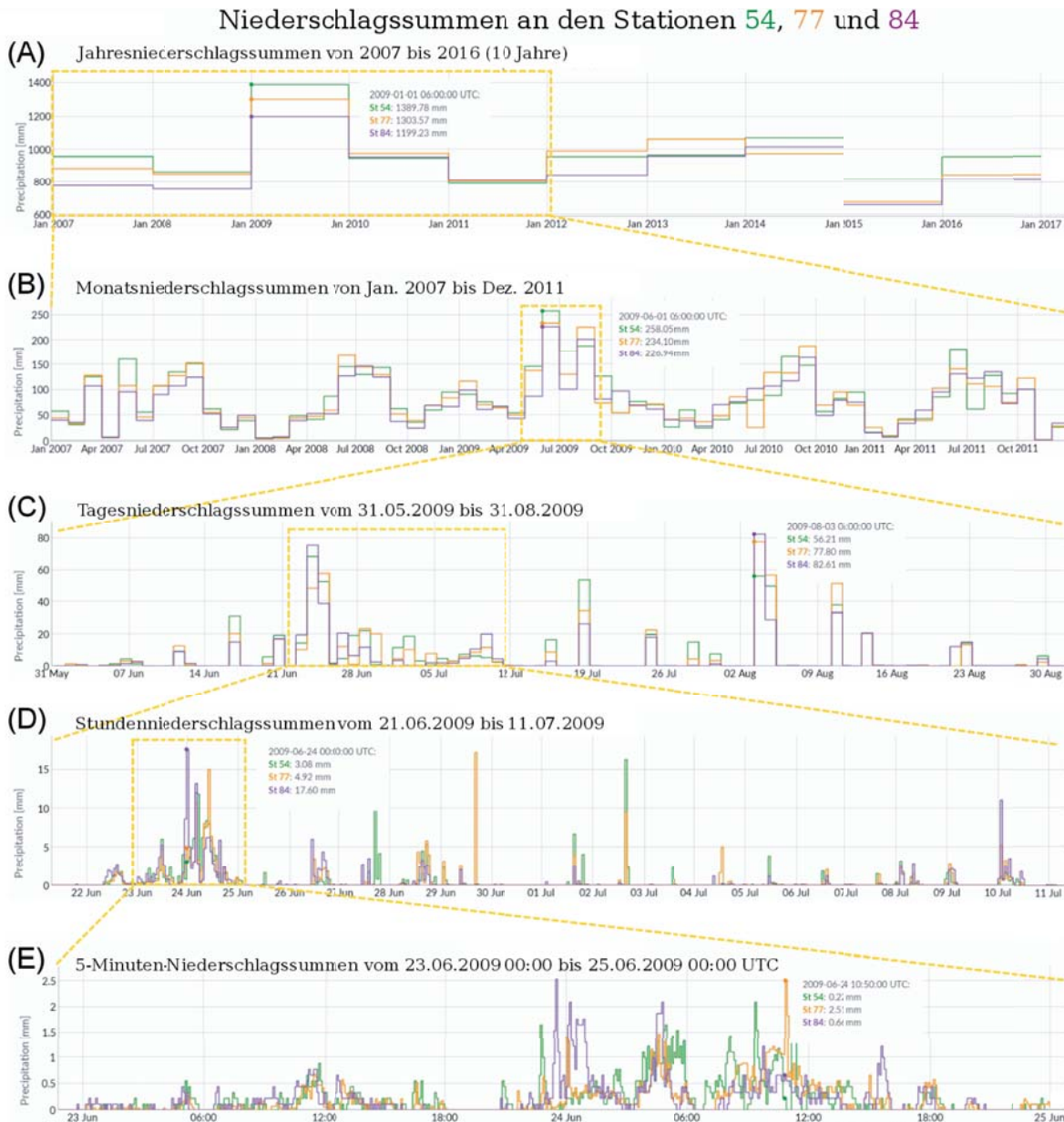


Abb. 3: Niederschlag an drei West bis Ost über das Gebiet verteilten WegenerNet Stationen (54, Westrand; 77, Zentrum; 84, Ostrand) mit zunehmender zeitlicher Auflösung (A-E). (Grafik: Wegener Center 2017)

Forschungsbeispiele – Niederschlagsanalysen

Zur Beurteilung der Datenqualität sei auf den unerlässlichen Vergleich mit Messergebnissen aus einer unabhängigen Referenz hingewiesen. Beispielsweise führten *O et al. (2018)* eine Gegenüberstellung von

Tagesdaten des WegenerNet 2007-2014 mit Messwerten der ZAMG und des Österreichischen Hydrographischen Dienstes (AHYD) durch. Als Referenz dienten zwei ZAMG und drei AHYD Stationen, deren Niederschlagsdaten jeweils mit den vier umliegenden WegenerNet Stationen verglichen wurden. In

den Resultaten zeigte sich eine hohe lineare Korrelation zwischen den Datensätzen, wobei die WegenerNet Stationen aber zu einer Unterschätzung der Niederschlagsmenge tendierten. Unter der Annahme eines systematischen Bias und der Korrektur-Nutzung des linearen Zusammenhangs (linear regression-slope correction) konnte jedoch eine Reduktion der Abweichung um ca. 80 % erzielt werden (siehe **Abbildung 4**). Auf Basis der Ergebnisse führten weitere Analysen zu einer verbesserten Datenaufbereitung und somit einer Qualitätssteigerung der Niederschlagsdaten sowie zu einer 2016 komplettierten Erneuerung der Niederschlags-Sensoren.

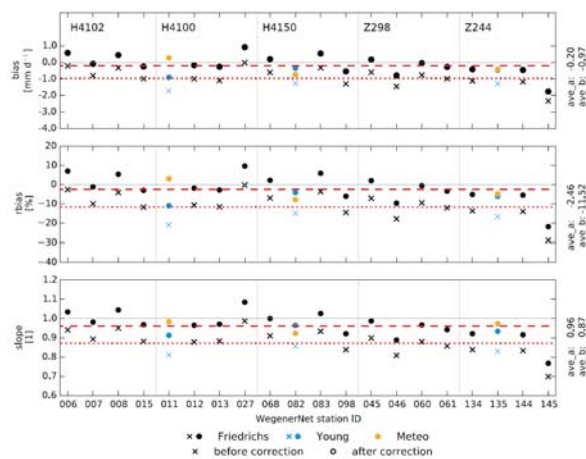


Abb. 4: Evaluierung der Niederschlagsmessungen von ausgewählten WegenerNet Stationen gegenüber Messstellen von ZAMG (Z298, Z244) und AHYD (H4102, H4100, H4150). Dargestellt sind die absolute Abweichung (*bias*), der relative Bias (*rbias*) und die Steigung (*slope*) resultierend aus einer linearen Regressionsgeraden vor (x) bzw. nach (o) einer Bias-Korrektur. Verschiedene Niederschlagssensoren sind farblich markiert (schwarz, blau, orange). Mittelwerte sind angegeben (Beschriftung rechts, *ave_b* vor, *ave_a* nach Korrektur) und als rote Linie eingezeichnet; vor Korrektur (gestrichelt) bzw. nach Korrektur (gestrichelt). (Quelle: *O et al. 2018*)

Die Analyse von konvektiven Nieder-

schlagsstrukturen, wie sie durch die Kombination von Wetterradar basierten Messdaten mit Daten aus herkömmlichen Boden-Niederschlagssensoren erfolgt, ist für viele Anwendungen von großem Interesse. In *Kann et al. (2015)* wurden Resultate aus dem Forecast-System rapid-INCA (rapid Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) mit den hoch auflösenden Messungen aus dem WegenerNet verglichen. Sowohl in Einzelereignis-Fallstudien als auch in einer längeren Validierungsperiode (Sommerhalbjahr 2011, April bis September) konnte dabei eine deutliche Unterschätzung der Niederschlagsmenge in rapid-INCA Analysen gezeigt werden (Unterschätzung der 5-min-Regensummen von über 30 % im Sommerhalbjahr).

In *O et al. (2017)* erfolgte in Zusammenarbeit mit der NASA eine Evaluierung von Satellitenmessungen (Kombination aktiver und passiver Mikrowellensensoren sowie Infrarotsensoren) aus dem Global Precipitation Missions (GPM) Programm Für zwei Gitterzellen (0,1 x 0,1 Grad) der Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Datenprodukte wurden halbstündliche Niederschlagsdaten im Zeitraum April-Oktober 2014 und 2015 mit WegenerNet Daten evaluiert (rund 40 WegenerNet Stationen je Gitterzelle). Die Ergebnisse, in denen u.a. Tendenzen zur Unterschätzung durch IMERG bei höheren Niederschlagsraten und Abweichungen in zeitlichen Ereignis-Verläufen deutlich werden, liefern einen wichtigen Beitrag für ein besseres Verständnis von Unsicherheiten und zur Verbesserung des quasi-global (60 °N bis 60 °S) verfügbaren Satellitendatensatzes für künftige Analysen. Auch die kürzlich erschienene Studie von *Tan et al. (2018)*, in welcher Niederschlagsraten aus dem GPM Dualfrequenz-Radar gegenüber drei Niederschlagsmessnetzen von hoher räumlicher Dichte evaluiert wurden, profitierte maßgeblich vom We-

generNet. Dieses stellte die beste und umfassendste Referenzdatenqualität bereit und zeigte u.a. systematische Biase der Satellitendaten auf. In der Studie wurde auch jener Zeitversatz sichtbar, den der Niederschlag aus Wolkenhöhen bis hinunter zur Erdoberfläche benötigt.

Abschließend sei an dieser Stelle zum einen auf eine Sensitivitätsanalyse zu Extremniederschlägen in Südostösterreich von *Schroeder et al. (2017)* verwiesen und zum anderen auf die Studie von *Hohmann et al. (2018)*, welche für das Einzugsgebiet Steirisches Raabtal anhand des Hydrologiemodells WaSiM untersucht hat, wie die Dürre- und Regenereignisse in der Südoststeiermark bei Klimawandel weiter zunimmt. Eine Auflistung von weiteren Arbeiten ist auf der WegenerNet Homepage bereitgestellt (www.wegcenter.at/wegenernet).

Forschungsbeispiele – Windfeldapplikation

Eine neu entwickelte Windfeld-Applikation (der Wind Product Generator, kurz WPG) ermöglicht nun neben den bestehenden Wetter- und Klimadatenprodukten die automatische Erzeugung von hochaufgelösten Luftströmungsfeldern der beiden Regionen. Der WPG zieht die Daten der Windstationen als Ankerpunkte heran und berechnet (mit dem diagnostischen Modell "CALMET") unter Berücksichtigung der geografischen Gegebenheiten, wie Berge und Täler, Landbedeckung, Sonneneinstrahlung, Temperatur und Luftdruck, flächenhafte Luftströmungen in 10 m Standardhöhe und nach Bedarf auch darüber (*Schlager et al. 2017*).

Eine Windfeld-Berechnung rund um den Steinberg in der FBR verdeutlicht Luftströmungsänderungen in Abhängigkeit von Wetterbedingungen (siehe **Abbildung 5**). Unter stabilen Bedingungen und damit we-

nig vertikaler Bewegung der Luftmassen, wie z.B. bei einer Inversionswetterlage, umströmt der von Süden kommende Wind den Steinberg (**Abbildung 5b**). Im Vergleich dazu verursachen instabile Wettersituationen eine Überströmung der hügelartigen Erhebung (**Abbildung 5a**).

Die Modellergebnisse wurden anhand unabhängiger Winddaten der ZAMG Stationen und ausgewählter WegenerNet Stationen evaluiert. Die Statistiken in der FBR zeigen aufgrund des sehr dichten Stationsnetzwerkes eine gute Übereinstimmung der modellierten und gemessenen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen. Der WPG erzeugt automatisch für beide Regionen alle 30 Minuten Windfelder in einem Raster von jeweils 100 m x 100 m. Diese sind für die FBR ab 2007 und für das JBT ab 2012 am Datenportal des WegenerNets abrufbar (www.wegenernet.org).

Ausblick

Die angeführten Studien sind nur einige Beispiele dafür, dass viele Projekte zur Erforschung des Klima- und Umweltwandels und seiner Auswirkungen, aber auch die Wetterbeobachtung und hydrologische Anwendungen, vom WegenerNet profitieren. Eine ganze Reihe weiterer Studien und Anwendungen sind schon geplant, was hier für einige Nutzungen seitens des Wegener Centers, gemeinsam mit PartnerInnen, noch kurz als Ausblick angeführt wird; dies soll auch zu weiteren Nutzungen anregen.

Diese Studien nutzen die Forschungs-Laborregion „Einzugsgebiet Steirisches Raabtal“ unter anderem für Fragestellungen zu hydrologischen Änderungen durch Klimawandel in der jüngeren Vergangenheit und in Zukunft.

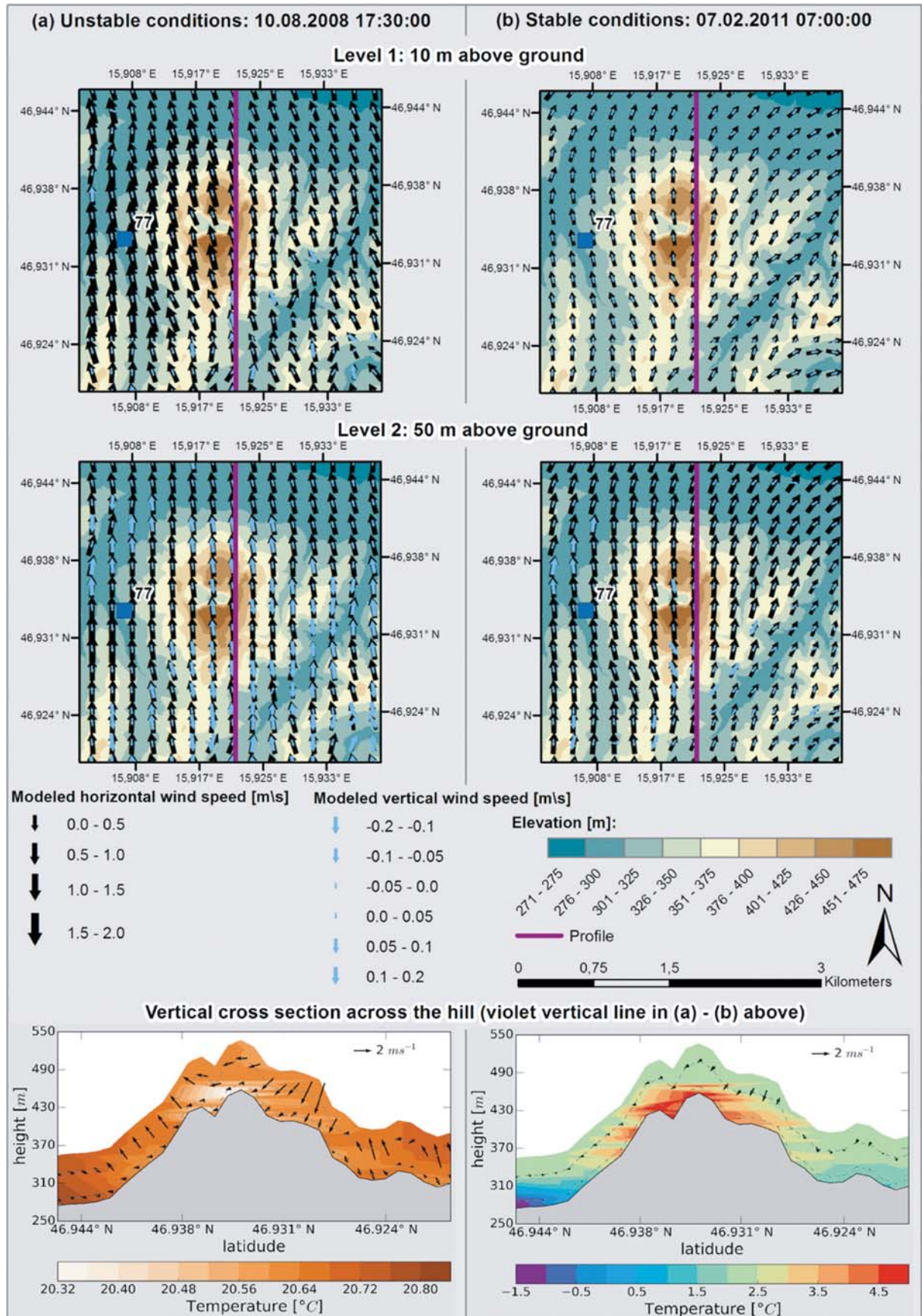


Abb. 5: Südströmung in Richtung des Steinbergs südöstlich der Stadt Feldbach bei (a) instabiler (10. August 2008) und (b) stabiler (7. Februar 2011) bodennaher Luftschichtung; gezeigt sind horizontale (v , schwarz) und vertikale (w , blau) Windkomponenten in 10 m (oben) und 50 m (mittig) über Grund. Vertikalschnitt der v - w Windvektoren in Nord-Süd-Richtung in 10- und 50-m Höhenschichten über dem Steinberg (unten), inklusive farbig schattierter Temperaturkonturen. (Quelle: Schlager et al. 2017)

Beispielsweise starteten sechs neue diese Region nutzende Dissertationen im Jahr 2018. Alle diese Arbeiten kooperieren im Rahmen des bzw. stehen in enger Beziehung zum FWF Doktoratskolleg Klimawandel (<http://dk-climate-change.uni-graz.at>), für das 2017 eine Verlängerungsphase bis 2022 bewilligt wurde. Dieses wird vom Wegener Center führend mitgetragen und befasst sich interdisziplinär mit Unsicherheiten und Schwellenwerten bei Klimaänderungen sowie mit Strategien zur Bewältigung des Klimawandels. Für Fragen zu Klimaänderungen sowie zu Wetter- und Klimaextremen (z.B. Starkniederschläge, Dürren, Hangrutschungen) ist neben dem Steirischen Raabtal mit dem WegenerNet FBR auch das Steirische Ennstal, insbesondere

auch das WegenerNet JBT, eine zweite wichtige Untersuchungsregion.

Daneben wird 2018 bis 2021 in verschiedenen Projekten beispielsweise die Verbesserung von Wetterradar Daten (u.a. Zirbitzkogel-Radar für West- und Südost-Steiermark, Forschungsradar des Instituts für Geographie) sowie von Satelliten-Niederschlagsdaten voran getrieben (NASA Zusammenarbeit, vgl. *O et al. 2017; Tan et al. 2018*). Auch ist geplant, gemeinsam mit der ZAMG an der Verbesserung der hoch auflösenden Wetter-Analysen des INCA Systems weiter zu arbeiten. Mit Blick auf all diese Vorhaben, und zahlreiche weitere, bleibt nur mehr dem WegenerNet auch für das zweite Jahrzehnt eine weiter so gedeihliche Entwicklung und Nutzung zu wünschen!

Literatur:

- Fuchsberger, J., G. Kirchengast, and T. Kabas (2018): Release Notes for Version 7 of the WegenerNet Processing System (WPS Level-2 data v7), WegenerNet Tech. Report No. 1/2018, 20 p., Wegener Center, Univ. Graz, Graz, Austria (online at: https://wegenernet.org/downloads/Fuchsberger-etal_2018_WPSv7-release-notes.pdf, last access 28 May 2018).
- Hohmann, C., G. Kirchengast, and S. Birk (2018): Alpine foreland running drier? Sensitivity of a drought vulnerable catchment to changes in climate, land use and water management. *Clim. Chang.*, **147**, 179-193. doi: 10.1007/s10584-017-2121-y.
- Kann, A., I. Meirold-Mautner, F. Schmid, G. Kirchengast, J. Fuchsberger, V. Meyer, L. Tüchler, and B. Bica (2015): Evaluation of high-resolution precipitation analyses using a dense station network. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **19**, 1547-1559. doi: 10.5194/hess-19-1547-2015.
- Kirchengast, G., T. Kabas, A. Leuprecht, C. Bichler, and H. Truhetz (2014): WegenerNet: a pioneering high-resolution network for monitoring weather and climate. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **95**, 227-242. doi:10.1175/BAMS-D-11-00161.1.
- O, S., U. Foelsche, G. Kirchengast, J. Fuchsberger, J. Tan, and W. A. Petersen (2017): Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **21**, 6559-6572. doi: 10.5194/hess-21-6559-2017.
- O, S., U. Foelsche, G. Kirchengast, and J. Fuchsberger (2018): Validation and correction of rainfall data from the WegenerNet high density network in southeast Austria. *J. Hydrol.*, **556**, 1110-1122. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.11.049.
- Scheidl, D. (2014): Improved quality control for the WegenerNet and demonstration for selected weather events and climate. Scient. Rep. No. 61-2014, Wegener Center Verlag, Graz, Austria, ISBN: 978 3 9503608 8 2.
- Schlager, C., G. Kirchengast, and J. Fuchsberger (2017): Generation of high-resolution wind fields from the dense meteorological station network WegenerNet in south-eastern Austria, *Wea. Forecasting*, **32**, 1301-1319. doi: 10.1175/WAF-D-16-0169.1.
- Schroeder, K., and G. Kirchengast (2018): Sensitivity of extreme precipitation to temperature: the variability of scaling factors from a regional to local perspective. *Clim. Dyn.*, **50**, 3981-3994. doi: 10.1007/s00382-017-3857-9.
- Tan, J., W. A. Petersen, G. Kirchengast, D. C. Goodrich, and D. B. Wolff (2018): Evaluation of Global Precipitation Measurement Rainfall Estimates against Three Dense Gauge Networks. *J. Hydrometeorol.*, **19**, 517-532. doi: 10.1175/JHM-D-17-0174.1.