

Predstavitev aktualnega stanja vedenja k klimatologiji snežne odeje in proizvodnje snega

FAQ's: Vprašanja in odgovori v zvezi s snegom, zasneževanjem in klimatskimi spremembami

PD. Dr. Andrea Fischer

andrea.fischer@oeaw.ac.at 0512-507-4941

Vsebina

Kako nastane tehnični sneg in ob kakšnih pogojih se lahko proizvaja?	2
Kaj vemo o podnebjju in podnebnih spremembah v alpskem prostoru?	2
Žičniške naprave vodijo iz doline na vrhove gora – ali imamo dobre informacije o snežni odeji v vseh višinskih legah?	2
Kaj vemo o klimatologiji snežne odeje in zasneževanju?	2
Ali lahko iz izmerjenih vrednosti merilne postaje v dolini izračunamo pogoje na zgornji postaji?.....	4
Kaj je podnebna sprememba?	4
Kakšen vpliv ima globalno segrevanje za več stopinj v alpskem prostoru?.....	5
Kako zanesljivi so podnebni scenariji?	5
Kaj lahko rečemo o zasneževanju v prihodnosti?	6
Kaj lahko rečemo o zasneževanju v prihodnosti?	6
Ali lahko vzamemo za izhodišče, da bo v bodočnosti možno smučati le v večjih višinah?	6
Znanstvena literatura.....	7

Kako nastane tehnični sneg in ob kakšnih pogojih se lahko proizvaja?

Tehnični sneg nastane z zmrzovanjem vodnih kapljic, ki jih izstrelimo iz snežnega topa (Fauve e tal., 2010). Za zmrzovanje je potrebno kapljicam odvzeti zadostno količino toplote. Voda zamrzne pod 0°C Celzija, zmrzovanje kapljic v zraku pa se zgodi pri -2°C temperature zraka. Ta mejna vrednost pa ni odvisna samo od običajne temperature, ampak tudi od vlage, ki igra pri tem veliko vlogo: mraz, ki nastane pri izhlapevanju pripomore k zamrzoivanju kapljic. Mraz, ki nastane pri izhlapevanju pomakne mejno vrednost pri zasneževanju za več stopinj Celzija (Olefs e tal., 2010). Za to je pomembno, da se pri preračunavanju upošteva vlažnost zraka. Če vlažnosti zraka ne upoštevamo, se lahko primerijo v določenih razmerah velike napake domnevnega porasta temperature v alpskem prostoru v naslednjih desetletjih. (Gobiet 2013).

Kaj vemo o podnebjju in podnebnih spremembah v alpskem prostoru?

Od približno leta 1770 obstajajo instrumentalni zapisi o podnebjju v alpskem prostoru (www.zamg.ac.at/HISTALP/; Auer et al, 2007). Ker so se s časom merilni instrumenti spremenili, je potrebno zapise homogenizirati (Böhn et al, 2001). V Avstriji je cela vrsta merilnih postaj Centralnega urada za meteorologijo in geodinamiko (Zentralamt für Meteorologie un Geodynamik-ZAMG) kakor tudi hidrografske službe posameznih dežel, ki so standardizirane in strogo kontrolirane na kvaliteto. Ker se obsežni zračni tokovi preko gorovja modificirajo (Whiteman, 2000; Ljequist in Cehak, 1984), lahko merijo sosednje postaje različne vrednosti. Efekti, kot zajezne padavine (posebej velika količina padavin zaradi prisilnega dvigovanja zračnih mas v gorovju) ali inverzije (temperature v dolini nižje kot v gorovju), oblikujejo vreme in tudi podnebjje v gorovju. Ti efekti so pogosto na majhnem prostoru in jih je skoraj nemogoče vključevati v visoko ločljive vremenske modele, kaj šele v podnebne modele, ki razpolagajo s slabo prostorsko ločljivostjo pri izračunavanju v kratkih časovnih intervalih.

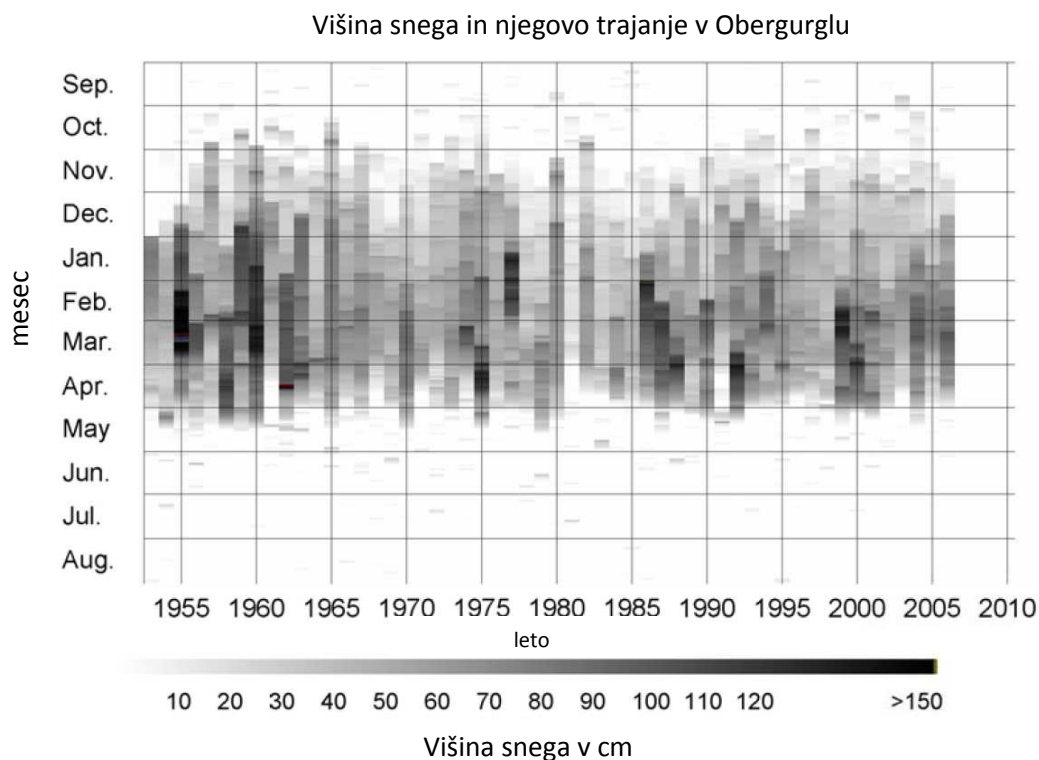
Parameter temperature je pri merjenju in modeliranju mogoče točneje določiti, pri padavinah iv vlažnosti zraka pa se v primerjavi s temperaturo pojavljajo večje negotovosti.

Žičniške naprave vodijo iz doline na vrhove gora – ali imamo dobre informacije o snežni odeji v vseh višinskih legah?

Večina postaj z daljšim časovnim obdobjem meritev je v mestih. Poleg observatorijev na Sonnblick-u, Zugspitze in Hohenpeißberg-u, ki delujejo že dobrih 100 let, obstaja le nekaj (in s časom manj) meteoroloških postaj v visokogorju, ki zapisujejo parametre višine novega snega, skupne višine snega in trajanje snežne odeje. Višine novega snega in trajanje snežne odeje ni mogoče meriti samodejno niti z najmodernejšimi merilnimi napravami, ker na snežno odejo močno vpliva veter. Zato lahko vrednosti ene postaje ekstrapoliramo glede na višino snega v okolici le z veliko nezanesljivostjo. Že nekaj let se raziskuje možnost spremljanja snežne odeje s pomočjo satelitov. Za to uporabljeni senzorji pa imajo pogosto velik raztros in zato ne morejo prikazati snežne odeje v alpskem prostoru na pogosto topografsko majhnem prostoru. Zaradi kratkega časovnega obdobja 30 let za klimatske periode, je težko med seboj primerjati produkte različnih generacij satelitov. Tako imamo točne informacije nekaj meteoroloških postaj ali nenatančne podatke preko velikih površin.

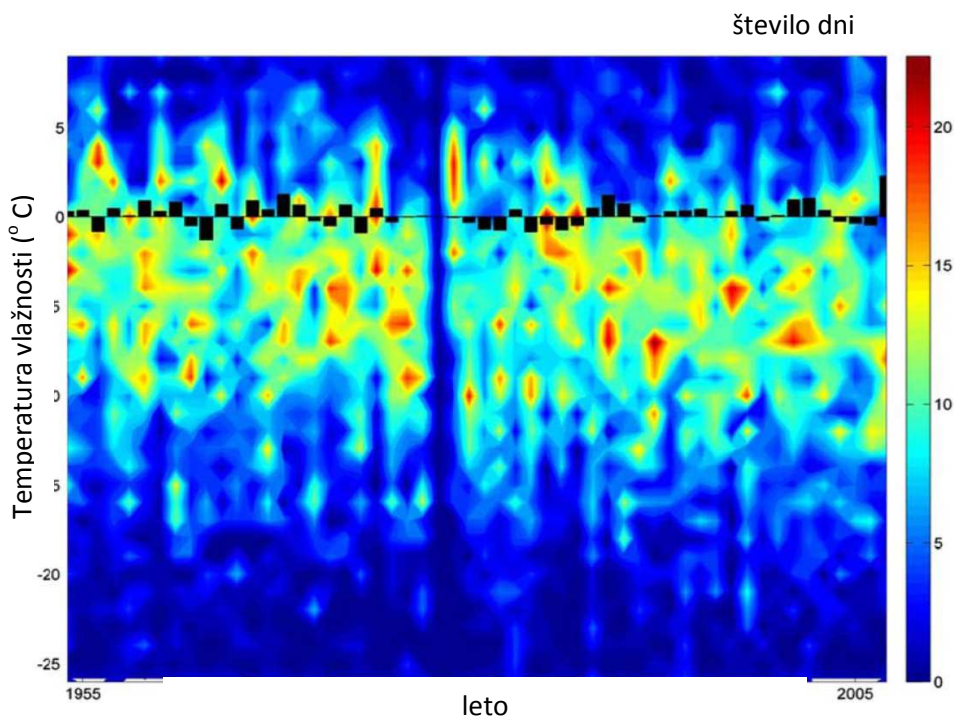
Kaj vemo o klimatologiji snežne odeje in zasneževanju?

Podatki zadnjih desetletij kažejo, da od leta do leta močno variira celotna višina snežne odeje kakor tudi njeno trajanje (Wielke e tal, 2004; Scherrer at al, 2004). Vedno so leta, v katerih je snega mnogo in leta, ko ga je malo (glej sliko 1). V zadnjih desetletjih so bile vredne upoštevanja zime 2006/2007 in 2011/2012. V zimi 2006/2007 je bilo zelo malo snega na severni strani Alp, v sezoni 2011/2012 pa so bile zabeležene rekordne količine snega. Vzrok za to so bili posebni vzorci tokov zračnih mas preko zime.



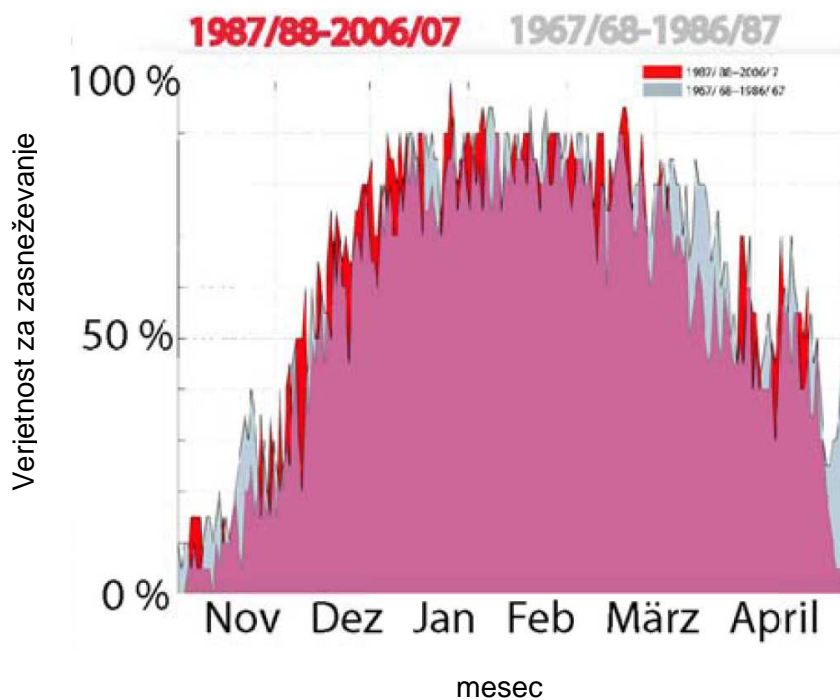
Slika 1: Višina snežne odeje in njeno trajanje se spreminjata iz leta v leto, statistično signifikantnega trenda (Schönwiese, 2000) ni mogoče izpeljati (Fischer, 2010)

Velike razlike dominirajo iz leta v leto na večini postaj in v veliki meri preko klimatskega trenda. To velja tudi za čase zasneževanja (slika 2): iz relativne vlažnosti in temperature zraka lahko izračunamo čase, v katerih je mogoče zasneževati. Ti časi zasneževanja prav tako kažejo, da ni enovitega trenda, obstaja pa velika spremenljivost iz leta v leto (Fischer, 2011).



Slika 2: Variabilnost temperature vlažnosti v Obergurglu. Pri temperaturi -2°C se lahko zasnežuje (Olefs et al, 2007 c)

Tako pogoji za zasneževanje kot verjetnost za naravne snežne odeje hitro naraščajo na začetku sezone, na koncu sezone prav tako hitro padajo (slika 3). Za ključni del sezone kaže na vseh raziskovanih postajah veliko verjetnost za naravno snežno odejo in veliko število potencialnih ur zasneževanja (Olefs e tal, 200 a, b, c).



Slika 3: Verjetnost za zasneževanje v Obergurgl-u. Analiza prikazuje le majhne spremembe med obema različnima periodama (Oles e tal, 2007 c)

Višina stalnih naselbin, drevesna meja in višina lege ledenika kaže, da obstajajo velike regionalne razlike podnebja znotraj Alp (Abermann e tal, 2011). Na južni in severni strani Alp padejo v kratkem času ob ustreznih smereh zračnih tokov velike količine padavin oz. snega. V centralnih Alpah so količine padavin pogosto manjše. Ledeniki so lahko zato na severni strani Alp na nižjih višinah, prav tako tudi na osrednjem alpskem grebenu (primeri za ledenike na severni strani Alp so npr. Schwarzmilzferner ali Hallstätter Gletscher). Najvišje ležeče kmetije v Ötztal-u ležijo na višini cca 2000 m, torej več kot 500 m višje kot najvišje kmetije v območju Kitzbühel-a ali salzburškega Pongau-a.

Ali lahko iz izmerjenih vrednosti merilne postaje v dolini izračunamo pogoje na zgornji postaji?

Pozimi se v dveh tretjinah vseh dni v sezoni ustvari tako imenovana temperaturna inverzija (Vergeiner in Dreiseitl, 1982; Wickus in Vergeiner, 1984). Pri tem se zadržuje mrzel zrak v dolinah, kar je lahko povezano tudi z nastajanjem visoke megle. Dejanski temperaturni gradient zato močno odstopa od tako imenovane standardne atmosfere pri kateri znaša linearno zniževanje temperature $6,5^{\circ}\text{C}$ na 1000 višinskih metrov. Ker lahko merimo natančen potek temperature v dejanski atmosferi le z dvigovanjem radio sonde ali gosto mrežo merilnih postaj, s sedanjo tehnologijo ni mogoče dovolj natančno izračunati poteka temperature v vseh višinskih legah žičniške naprave. Otežujoče je še to, da lahko nastanejo v kotanjah lokalno jezera hladnega zraka. Ekstrapolacija izmerjenih vrednosti posameznih merilnih naprav na celotno smučišče je zato mogoča le z veliko verjetnostjo.

Kaj je podnebna sprememba?

Podnebje je srednje stanje atmosfere v določenem časovnem obdobju najmanj 30 let (Schönwiese, 2013). Vreme se dogaja v kratkih časovnih obdobjih in niha okoli podnebne srednje vrednosti z večjimi ali manjšimi odstopanji. Če se podnebje spremeni, se lahko spremeni tudi srednje stanje kot tudi magnituda odstopanj. V vsakem podnebnju pa lahko nastopijo posamezna ekstremna leta.

Kakšen vpliv ima globalno segrevanje za več stopinj v alpskem prostoru?

Regionalizacije globalnih modelov so v tem času osrednje raziskovanje podnebja. Dosedanje otoplitve globalnih letnih srednjih temperatur so za različne regije, letne čase in višinske lege zelo različne (Omuhra, 2012; Stainford e tal., 2013). Pričakovati je, da se bo bodoča otoplitev podnebja oblikovala regionalno različno. Mogoče je tudi, da se bo frekvenca vremenskih stanj spremenila v primerjavi s sedanjim stanjem.

Sedanja časovna in prostorska ločljivost regionalnih modelov ne omogoča študij na skalo posameznih smučišč. Regionalni modeli globalnih scenarijev kažejo veliko pasovno širino. Nejasno je na primer, ali v enem in istem globalnem scenariju količina zimskih padavin v alpskem prostoru narašča ali pada. (IPCC, 2013).

Kako zanesljivi so podnebni scenariji?

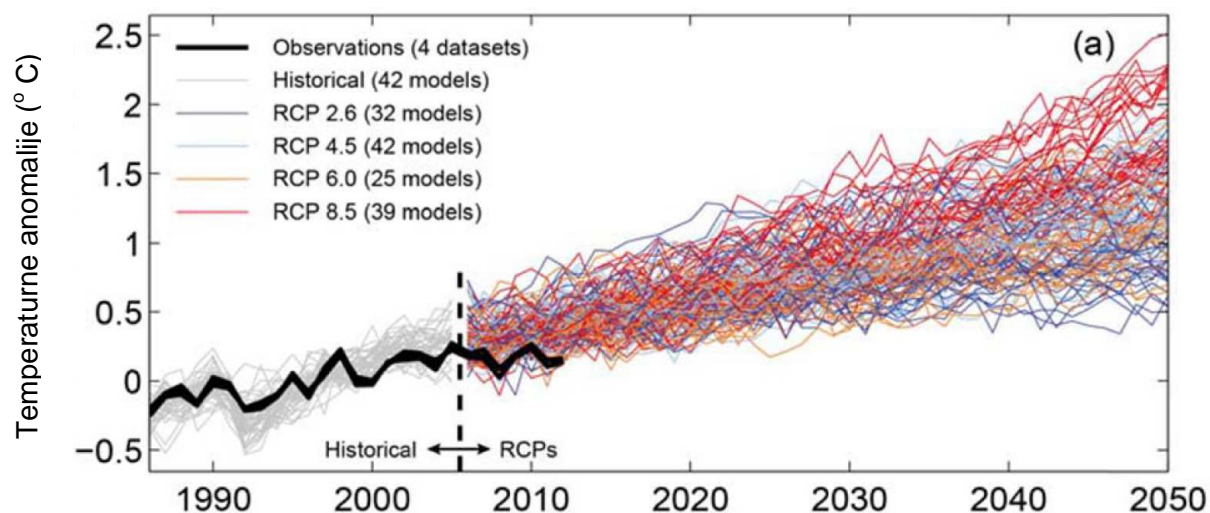
Scenariji niso nikakršne prognoze. Če prognoze računajo stanja atmosfere v prihodnosti na osnovi izmerjenega stanja, se scenariji nanašajo na domnevo o bodočem stanju atmosfere. Pri prognozah lahko računamo z neznatno spremenjenimi izhodiščnimi vrednostmi verjetnost nastopanja določenih stanj. Pri scenarijih lahko vstopne verjetne vrednosti vnesemo.

Ker je atmosfera kaotični dinamični sistem, pri katerem povzročijo že male spremembe izhodiščnega stanja velike spremembe, ima izračunavanje prognoz smisel le za časovna obdobja nekaj dni.

O zanesljivosti podnebnih scenarijev ni mogoče dajati izjav, ker je njihovo nastopanje med drugim odvisno od tega, ali bodo v računu upoštevane okoliščine tudi nastopile. Scenariji so pripomočki za ocenjevanje pasovnih širin bodočega stanja.

Trenutno ležijo izmerjene temperature na spodnji meji izračunanih scenarijev (IPCC 2013; Held 2013). To lahko odseva naravno variabilnost vremena, lahko pa nakazuje, da nekatere predpostavke modelov, kot je obnašanje oceanov (Meehl e tal, 2011; Kosaka e tal, 2013), niso dovolj realne.

Srednja globalna temperatura kratkoročnih projekcij za obdobje 1986-2050



Slika 4: Sedaj izmerjena povišanja temperature ležijo na spodnji meji običajnih scenarijev (vir: IPCC 2013, <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimaforschung/klimamodellierung/temperatur-hiatus>)

Kaj lahko rečemo o zasneževanju v prihodnosti?

Ločljivost regionalnih klimatskih modelov je še vedno pregroba, da bi lahko modelirali spremembe mikro podnebja na skali žičniška naprava/proga. Nekateri modeli si pomagajo s tako imenovanimi vremenskimi generatorji, to pomeni izračunavanje sintetičnega vremena do novega podnebnega stanja. Do sedaj še ni validacij, kako se takšne metode odražajo v bodoči mikroklimi, ker ne obstajajo meritve z visoko ločljivostjo za časovne vrste, ki bi jih lahko uporabili za preverjanje modelov z vrednostmi iz preteklosti.

Zelo verjetno je, da se bo ohranila karakteristična variabilnost snežne odeje in zasneževanje iz leta v leto kar pomeni, da bomo imeli vedno znova znotraj določenega obdobja leta, v katerih bo padlo veliko ali malo snega ali bodo primerna za zasneževanje.

Kaj lahko rečemo o zasneževanju v prihodnosti?

Veliko negotovost predstavljajo bodoče frekvence vremenskih stanj kot tudi pogostost in višina inverzij. Na regionalni osnovi zato ne moremo izdelati natančnih napovedi o bodočih časih zasneževanja. Vse napovedi je treba sprejeti z veliko pasovno širino mogočih odstopanj.

Ali lahko vzamemo za izhodišče, da bo v bodočnosti možno smučati le v večjih višinah?

V prosti standardni atmosferi je z višino vedno hladneje. To pa ne velja za zimske alpske doline v katerih se ustvarja inverzija. Kako in če sploh, se bodo v bodočem podnebjju ta stanja inverzije spremenila, še ni dovolj raziskano, da bi lahko napovedovali možne čase zasneževanja v teh jezerih hladnega zraka.

Iz analize dosedanjih podnebnih sprememb in s tam povezanimi spremembami potencialnih časov zasneževanja v različnih višinskih legah v Avstriji izhaja, da nastajajo največje spremembe časov zasneževanja v srednjih legah, časi zasneževanja v visokih legah (nad 3000 m) in v nizkih (pod 1000 m) pa se niso signifikantno spremenili. Tudi v nižjih legah so bili torej v večini let v predsezoni na razpolago potrebni 3 dnevi za zasneževanje (Olefs et al., 2007 a.). To, na prvi pogled presenetljivo, dejstvo je mogoče razložiti s tem, da

1. se inverzije ustvarjajo
2. predstavljajo dnevi, v katerih je mogoče zasneževanje v zelo nizkih legah, ekstremne vrednosti, katerih statistično pojavljanje se ne spreminja kljub različnim srednjim vrednostim.

Izhajati tudi ne moremo iz tega, kar pogosto izvira iz zelo poenostavljenih domnev, da zaradi podnebnih sprememb smučanje v nižinah ne bo več mogoče. Podnebne spremembe so kompleksnejše kot le enostavno premikanje višinskih con, pasovna širina bodočih klimatskih stanj je zato toliko večja, kolikor so manjša območja in časovna skala, ki jo opazujemo in kolikor daleč v bodočnost računamo.

Znanstvena literatura

Abermann, J., M. Kuhn und A. Fischer, 2011: Climatic controls of glacier distribution and changes in Austria. *Annals of Glaciology*, 52/59, 83 - 90.

Auer, I., R. Böhm, A. Jurkovic, W. Lipa, A. Orlik, R. Potzmann, W. Schöner, M. Ungersböck, C. Matulla, K. Briffa, P. Jones, D. Efthymiadis, M. Brunetti, T. Nanni, M. Maugeri, L. Mercalli, O. Mestre, . Moisselin, M. Begert, G. Müller-Westermeier, V. Kveton, O. Bochnicek, P. Stastny, M. Lapin, S. Szalai, T. Szentimrey, T. Cegnar, M. Dolinar, M. Gajic-Capka, K. Zaninovic, Z. Majstorovic, E. Nieplova, 2007: HISTALP - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region, *International Journal of Climatology*, Vol. 27/1, S. 17-46.

Böhm, R. I. Auer, M. Brunetti, M. Maugeri, T. Nanni, W. Schöner; 2001: Regional Temperature variability in the European Alps 1760 - 1998 from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 21, 1779-1801

Fauve, M., Rhyner, H., Schneebeili, M., 2002: Pistenpräparationen und Pistenpflege. Das Handbuch für den Praktiker. SLF Davos, 134 S.

Fischer, A., M. Olefs und J. Abermann (2011): Glaciers, snow and ski tourism in Austria's changing climate. *Annals of Glaciology* 52/58, 89-96.

Gobiet, A., S. Kotlarski, M. Beniston, G. Heinrich, J. Rajczak, and M. Stoffel (2013), 21st century climate change in the European Alps - A review, *Sci. Total Environ.*, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>.

Held I.M. (2013): Climate science: The cause of the pause. *Nature* 501, 318–319, doi:[10.1038/501318a](https://doi.org/10.1038/501318a)

IPCC (2013): *Climate change 2013. The physical science basis. Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the International Panel on Climate Change*. Genf: IPCC, 2215 Seiten ([Website](#)) (angenommener aber noch nicht im Detail bestätigter Entwurf)

Kosaka Y., Xie S.P. (2013): Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*, doi:[10.1038/nature12534](https://doi.org/10.1038/nature12534)

Liljequist, G. H. und K. Cihak, 1984: *Allgemeine Meteorologie*, Springer Verlag, 412 S.

Meehl G.A., Arblaster J.M., Fasullo J.T., Hu A., Trenberth K.E. (2011): Model-based evidence of deepocean heat uptake during surface-temperature hiatus periods. *Nature Climate Change* 1, 360–364, doi:[10.1038/nclimate1229](https://doi.org/10.1038/nclimate1229)

Nickus, U. und I. Vergeiner, 1984: The Thermal Structure of the Inn Valley Atmosphere, *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. A 33, 199-215.

Nickus, U. und I. Vergeiner, 1984: The Thermal Structure of the Inn Valley Atmosphere, *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. A 33, 199-215.

Ohmura, A., 2012, Enhanced temperature variability in high-altitude climate change, *Theor. Appl. Climatol.*

Olefs, M., A. Fischer und J. Lang, 2007 a: Kurzfassung: Untersuchungen zur Beschneigungsklimatologie Österreich, Studie am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.

Olefs, M., A. Fischer und J. Lang, 2007 b: Beschneigungsklimatologie: Teil I (Methodik und Datensatz), Studie am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.

Olefs, M., A. Fischer und J. Lang, 2007 c: Beschneigungsklimatologie: Teil II (Analyse Stationen), Studie am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.

Olefs, M., A. Fischer und J. Lang, 2010: Boundary conditions for artificial snow production in the Austrian Alps, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 1096 - 1113.

Salby, M. L., *Fundamentals of Atmospheric Physics*, Volume 61 of the International Geophysics Series, Academic Press, 1996, 627 S

Scherrer, S. C., C. Appenzeller, and M. Laternser, 2004: Trends in Swiss Alpine, snow days: The role of local- and large-scale climate variability, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi:10.1029/2004GL020255.

Schönwiese, C., 2000: *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Berlin, Stuttgart: Bornträger.

Schönwiese, C., 2013: *Klimatologie*. Berlin, Stuttgart: Bornträger.

Sonntag, D. 1990.: Important new values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90, and psychrometer formulae. *Zeitschrift für Meteorologie* 40 , S. 340-344.

Stainforth, D.A., et al. September 2013. Mapping climate change in European temperature distributions. *Environmental Research Letters*, v.8.

Vergeiner I. und E. Dreiseitl, 1982, Die Ausbreitungsverhältnisse von Schadstoffen im unteren Gailtal, *Carinthia II*, 39. Sonderheft, 29-49.

Vergeiner, I., E. Dreiseitl, H. Feichter und H. Pümpel, 1978: Inversionslagen in Innsbruck, *Wetter und Leben*, Jahrgang 30, 1978, S. 69-86.

Vergeiner, I., E. Dreiseitl, H. Feichter und H. Pümpel, 1978: Inversionslagen in Innsbruck, *Wetter und Leben*, Jahrgang 30, 1978, S. 69-86.

Whiteman, C.D., 2000: *Mountain Meteorology, Fundamentals and Applications*, Oxford University Press, 355 S.

Wielke, L.-M., L. Haimberger, M. Hantel, 2004, Snow cover duration in Switzerland compared to Austria, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13/1, S. 13-17(5)