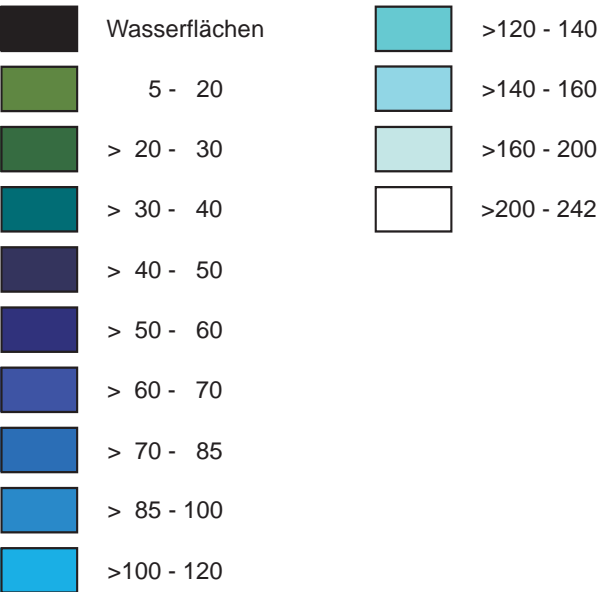


Karten 1-4: Mittlere Schneedeckendauer November bis Juni im jeweiligen Zeitraum [Tage]



GLOBAL CHANGE ATLAS  
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:  
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.1.5 Teilprojekt Glaziologie  
Mittlere Schneedeckendauer  
unter dem Klimatrend *REMO regional* und  
der Klimavariante *Baseline*

Rastergröße: 1 x 1 km<sup>2</sup>  
Maßstab: 1: 3.800.000



Datengrundlage:  
DANUBIA-Digitales Geländemodell  
Ergebnisse des statistischen Klimaantriebs-Generators (siehe Kapitel S3):  
Klimatrend *REMO regional*, Klimavariante *Baseline*

Autoren:  
M. Weber  
Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der  
Wissenschaften, München  
Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck  
M. Prasch  
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Grafik:  
V. Falck  
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,  
Ludwig-Maximilians-Universität München



3.1.5 Teilprojekt Glaziologie - Mittlere Schneedeckendauer von November bis Juni unter dem Klimatrend *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*

1. Einleitung

Die Veränderung der Schneedecke unter den Bedingungen des Klimawandels ist für die hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der Oberen Donau von größter Bedeutung. Neben den räumlich sehr heterogen verteilten Schneehöhen ist vor allem die Schneedeckendauer SD eine aussagekräftige Größe. Sie ist definiert durch die Anzahl der Tage mit einer Schneedecke von mehr als 1 mm Wasseräquivalent innerhalb der Wintersaison, welche in den Alpen in der Regel von November bis Juni des darauf folgenden Jahres andauert (siehe auch Kapitel 2.4.1).

Im Allgemeinen nimmt die SD wegen der Temperaturabnahme in der Atmosphäre mit der Höhenlage zu, oberhalb der klimatischen Firngrenze bleibt der Schnee sogar ganzjährig liegen, d.h. die SD beträgt dann in der Periode November bis Juni bis zu 242 Tage.

Die Schneedeckendauer ist von großer ökologischer als auch ökonomischer Bedeutung. Die wichtigsten ökologischen Aspekte, die zugleich ökonomische Belange beeinflussen, sind die Gletschermassenbilanz (siehe Kapitel 2.4.2), das Abflussverhalten bzw. die Wasserspeicherung und die Vegetationsbedeckung. Spezifische ökonomische Aspekte sind beispielsweise die Kosten zur Operationalität von Verkehrswegen oder der direkte Einfluss auf den Wintertourismus (siehe Kapitel 3.2.1).

Mit Hilfe des im Kapitel 2.4.1 vorgestellten Schneemodells *Snow* werden die zukünftigen Veränderung der Schneedeckendauer in Kartenform visualisiert, wie sie sich auf der Basis der Resultate eines Modellaufs von DANUBIA unter der Randbedingung des Klimatrends *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline* ergibt (siehe Kapitel S2-S4).

2. Datenaufbereitung

Die Schneedeckendauer auf jedem Proxel wurde anhand der Analyse der vom Schneemodell im Stundentakt berechneten Schneehöhen bestimmt. Obwohl die Modellrechnung auf diese Weise eine kontinuierliche Zeitreihe über 50 Jahre ab dem definierten Startzeitpunkt erzeugt, ist diese nicht als Vorhersage des Ablaufs des zukünftigen Wettergeschehens zu verstehen. Bestimmte singuläre Ereignisse in dieser Zeitreihe wie beispielsweise eine Episode mit extrem niedrigem Niederschlag oder ein besonders niedriger Anteil an Schnee in einem Modelljahr dürfen daher nicht mit den Zeitpunkten verknüpft werden, an denen sie auftreten. Sie sind verfahrensbedingt als zufällig zu betrachten.

Aussagekräftig ist dagegen der statistische Informationsgehalt der Ergebnisse zur Modellierung des Wasseräquivalentes der Schneedecke im Rahmen eines Szenarios, dem ein Klimatrend aufgeprägt wurde. Als Mittelungsintervall gilt in Analogie zu anderen klimatologischen Größen ein Zeitraum von 30 Jahren. Zur Verdichtung der Information wurden diese Mittelwerte beginnend mit dem Modelljahr 2011 im Abstand von Dekaden bestimmt. Diese drei sich überlappenden Intervalle repräsentieren jeweils andere klimatische Randbedingungen mit einem Temperaturniveau, das entsprechend der Vorgaben mit wachsenden Modelljahren ansteigt.

Als Interpretationshilfe zu der Kartendarstellung wurden ergänzende Statistiken zu den mittleren jährlichen Niederschlagssummen, aufgegliedert für einzelne Höhenbereiche, und zum Anteil des festen Niederschlags am Gesamtniederschlag für den Alpenraum erstellt, die in den Tabellen 3.1.5.1 und 3.1.5.2 aufgelistet sind. Als Referenz dienen die Ergebnisse einer Modellierung der Vergangenheit im Zeitraum 1971-2000.

3. Darstellung der Ergebnisse

Die Kartendarstellung dieses Beitrags zeigt die Veränderung der Dauer der Schneebedeckung im Donaueinzugsgebiet als 30-jährige Mittelwerte über die Modelljahre 2011-2040, 2021-2050 und 2031-2060, wie sie unter den Bedingungen des Klimatrends *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline* zu erwarten ist. Die räumliche Auflösung der Darstellungen der mittleren Schneedeckendauer über 30 aufeinander folgende Jahre beträgt 1 x 1 km<sup>2</sup>. Als Referenz dient in der ersten Kartendarstellung das Ergebnis der Modellierung des Zeitraums 1971-2000 anhand von Beobachtungsdaten. Bereits auf dieser relativ groben Skala wird die starke Abhängigkeit der SD von der

SD [d]	Schneedeckendauer SD [d]				Niederschlag NS [mm]			
Höhenstufe [m ü. NN]	1971-2000	2011-2040	2021-2050	2031-2060	1971-2000	2011-2040	2021-2050	2031-2060
290- 500	58	40	30	22	797	799	794	760
500-1000	87	63	52	40	1037	1038	1031	984
1000-1500	170	149	139	125	1460	1438	1428	1361
1500-2000	190	170	163	153	1410	1394	1380	1325
2000-2500	204	184	178	168	1365	1348	1334	1287
2500-3000	221	201	195	185	1339	1317	1303	1262
3000-3500	235	221	216	207	1380	1367	1347	1315
>3500	242	237	235	228	1714	1678	1665	1606
Gesamtgebiet	101	79	70	59	1039	1035	1028	983

Tabelle 3.1.5.1: Mittlere Schneedeckendauer (SD) in Tagen [d] im Zeitraum November bis Juni für die angegebenen Höhenbereiche und Zeitabschnitte unter der Randbedingung des Klimatrends *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*.

N:S [%]					
Höhenstufe [m ü. NN]	Flächenanteil [%]	1971-2000	2012-2040	2021-2050	2031-2060
290-1000	5.89	21	17	15	13
1000-2000	14.70	38	34	33	31
2000-3000	7.72	62	56	55	52
>3000	0.38	79	73	71	69
Alpen	28.70	41	37	36	33
EZG	100.00	25	21	20	18

Tabelle 3.1.5.2: Mittlerer prozentualer Anteil des Schnees am Niederschlag (N:S) für den alpinen Teil des Einzugsgebietes in separater Auflistung für die angegebenen Höhenintervalle und die in den Spalten angegebenen Modellierungszeiträume. In der zweiten Spalte sind zusätzlich die prozentualen Flächenanteile der Höhenintervalle am Gesamteinzugsgebiet angegeben, in der letzten Zeile ist zum Vergleich der mittlere Schneeanteil für das gesamte Einzugsgebiet ausgewiesen.

Geländehöhe deutlich, wie sie auch in der Zunahme der Mittelwerte über ausgewiesene Höhenbereiche des Einzugsgebietes in Tabelle 3.1.5.1 erkennbar ist. Da die subskalige Orographie innerhalb der 1 x 1 km Skala in den Alpen Höhendifferenzen bis zu mehreren 100 m aufweist, kann die Schneedeckendauer lokal auf einem Proxel bis zu 100 Tage gegenüber dem Mittelwert auf der km-Skala variieren. Analog zu dem Beispiel einer weiteren Kartendarstellung über einen kürzeren Mittelungszeitraum im Kapitel 2.4.1 zeigen sich neben der dominanten Höhenabhängigkeit auch regionale Unterschiede, die mit der räumlichen Niederschlagsverteilung korrelieren. Mit dem allgemeinen Anstieg des Temperaturniveaus und der damit höher liegenden Schneegrenze nimmt die Anzahl der Tage mit einer Schneedecke in allen Höhenlagen ab (siehe Tabelle 3.1.5.1). Durch den Vergleich der Karten untereinander sowie mit der Referenzkarte in Kapitel 2.4.1 wird der Eindruck eines deutlicheren Rückgangs der Schneedeckendauer im Tiefland vermittelt. Die Tabelle 3.1.5.1 zeigt jedoch, dass sich die mittlere Anzahl der Schneetage gegenüber der Referenzperiode im Laufe des Szenarios zunehmend um anfangs durchschnittlich 5-10 Tage pro Dekade reduziert. Diese Verkürzung ist am stärksten im Höhengürtel zwischen 1000 und 1500 m ü.NN ausgeprägt, wo sie gegen Ende der Simulation auf im Mittel bis zu 14 Tage pro Dekade anwächst. Darunter und darüber nimmt die Verkürzung der Schneedeckendauer generell ab, insbesondere in den Höhenlagen oberhalb 3000 m ü.NN ist sie in der Anfangsphase kaum merklich, steigt aber gegen Ende der Simulationsperiode auf ebenfalls 7-9 Tage pro Dekade drastisch an. Dies erklärt sich dadurch, dass sich mit dem Temperaturanstieg im Verlaufe des Szenarios immer mehr Anteile dieses Höhengürtels unterhalb der Firngrenze befinden, oberhalb welcher der Schnee nicht mehr vollständig abschmilzt. Dies ist gleichzeitig der Bereich, in dem noch Gletscher zu finden sind. Gemäß der zweiten Spalte in der Tabelle 3.1.5.2 ist deren Anteil an der Fläche des gesamten Einzugsgebiets relativ klein.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass eine Schneedecke im Flachland in einem wärmeren Klima zu einem noch selteneren Ereignis wird als bisher, überhaupt kein Schnee ist aber selbst in den tiefsten Lagen nicht zu erwarten. Folglich wird man auch dort zukünftig nicht auf die Bereitschaft eines Winterdienstes verzichten können. Die gegen Ende des untersuchten Klimatrends *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline* in allen Höhenlagen unterhalb 3000 m ü.NN gegenüber der Referenz 1971-2000 um durchschnittlich 40 Tage verkürzte Andauer der Schneedecke ist jedoch nicht mit einer Abnahme des Schneefalls in ähnlicher Größenordnung verbunden. Die Abnahme der Niederschlagsmengen beträgt in den un-

teren Höhenlagen (siehe Tabelle 3.1.5.1) zwischen 8% und 10%, zu den höchsten Lagen oberhalb 3500 m ü.NN hin abnehmend auf nur ca. 7%. Gemäß Tabelle 3.1.5.2 fiel im Referenzzeitraum in den Alpen ein gutes Drittel des Niederschlags als Schnee, im gesamten Einzugsgebiet immer noch ein Viertel. Daran wird sich auch in Zukunft nur wenig ändern, denn der Hauptanteil des Schnees fällt im Kernwinter, der auch unter den Bedingungen des Klimawandels Episoden mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufweist. In Lagen unterhalb von 2000 m ü.NN wird die Schneedecke zunehmend schneller abgebaut, verbunden mit der deutlich früher einsetzenden Schneeschmelze. Am deutlichsten ist die Veränderung jedoch in Lagen oberhalb von 3000 m ü.NN, denn dort sind die im Referenzzeitraum noch häufigen Schneefälle im Sommer zukünftig nicht mehr zu erwarten. Daher sinkt dort der Anteil von Schnee am Gesamtniederschlag von durchschnittlich 80% auf unter 70%. Die jährliche Schneeakkumulation wird dort zusammen mit der Abnahme des Niederschlags gegen Ende der Simulation in allen Höhenlagen um ca. 250 mm Schneewasseräquivalent gegenüber derjenigen im Referenzzeitraum reduziert.

Während folglich im Flachland aufgrund der kürzeren Schneedeckendauer weniger Behinderungen der Verkehrswege auftreten, werden die Betriebszeiten der Skilifanlagen (siehe Kapitel 3.2.1) in allen Höhenlagen kürzer. Dagegen steht für die Entwicklung der Vegetation eine längere Zeitspanne zur Verfügung. Des Weiteren verändert der frühere Aufbrauch der Schneereserven im Jahr die nivale Ausprägung des Abflussregimes der Einzugsgebiete an der Oberen Donau. Die weitreichendste Auswirkung zeigt sich in den vergletscherten Gebieten, wo die schneefreien Areale der Gletscher immer größer und die Ablationsperioden immer länger werden. Zusammen mit der reduzierten Schneeakkumulation ergeben sich extrem negative Massenbilanzen und damit verbunden ein beschleunigter Gletscherschwund.