

# StartClim2017.B

## Skalenübergreifende Evaluierung Extremwetter-bedingter Schadensfälle

Zentralanstalt für Meteorologie und  
Geodynamik



**ZAMG**  
Zentralanstalt für  
Meteorologie und  
Geodynamik

ProjektmitarbeiterInnen und AutorInnen des Berichts

Dr. Theresa Schellander-Gorgas

Konrad Andre

Mag. Michael Hofstätter

Alle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abteilung Klimaforschung

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Schellander-Gorgas, T., Andre, K., Hofstätter, M. (2018): SEVERE - Skalenübergreifende Evaluierung Extremwetter-bedingter Schadensfälle. Endbericht von StartClim2017.B in StartClim2017: Weitere Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, ÖBf, Land Oberösterreich

Wien, Juni 2018

StartClim2017.B

Teilprojekt von StartClim2017

Projektleitung von StartClim2017:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: [www.startclim.at](http://www.startclim.at)

StartClim2017 wurde aus Mitteln des BMNT, des BMBWF, und des Landes Oberösterreich gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>6</b>
<b>Abstract 6</b>	
<b>B-1 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>B-1.1 Naturgefahren in Österreich - Datenbanken und Netzwerke</b>	<b>7</b>
<b>B-1.2 Problemstellung Naturgefahren und Klimaforschung</b>	<b>10</b>
<b>B-1.3 Zielsetzung des Projekts SEVERE</b>	<b>11</b>
<i>B-1.3.1 Ablauf des Projekts SEVERE</i>	<i>12</i>
<i>B-1.3.2 Verwandte Projektinitiativen zu Extremwetterthematik</i>	<i>13</i>
<i>B-1.3.3 Verwendete Datensätze</i>	<i>15</i>
<b>B-2 Literaturrecherche und fachliche Expertisen</b>	<b>18</b>
<b>B-2.1 Fragestellung für die Recherche</b>	<b>18</b>
<b>B-2.2 ExpertInneninterviews</b>	<b>19</b>
<i>B-2.2.1 Erkenntnisse über die Auslösung von Wildbachgefahren</i>	<i>19</i>
<i>B-2.2.2 Kleinräumige Überflutungen durch Starkniederschläge</i>	<i>20</i>
<i>B-2.2.3 Erfassung von Extremniederschlagsdaten in Verbindung mit Schadensfällen aus dem Katastrophenfonds Steiermark</i>	<i>21</i>
<i>B-2.2.4 Gravitative Massenbewegungen, Prozessgruppen und -typen</i>	<i>22</i>
<i>B-2.2.5 Erkenntnisse aus der Entwicklung des Murenwarnsystems MUWA</i>	<i>23</i>
<i>B-2.2.6 Sozio-ökonomische Aspekte, Vulnerabilität</i>	<i>24</i>
<b>B-2.3 Literaturrecherche</b>	<b>25</b>
<i>B-2.3.1 Literatur gravitative Massenbewegungen</i>	<i>25</i>
<i>B-2.3.2 Literatur kleinräumige Überflutungen</i>	<i>26</i>
<b>B-2.4 Zusammenfassung: ExpertInnengespräche und Literaturrecherche</b>	<b>27</b>
<b>B-3 Verknüpfung von Schadberichten mit Ereignisniederschlägen</b>	<b>29</b>
<b>B-3.1 Beispiel 08.06.2003 - Kleinarl, Wagrain</b>	<b>31</b>
<b>B-3.2 Beispiel 22.06.2006 – Saalbach-Hinterglemm, Maishofen, Zell am See</b>	<b>33</b>
<b>B-3.3 Beispiel 27.06.2006 – Saalbach-Hinterglemm</b>	<b>34</b>
<b>B-3.4 Beispiel 25.06.2005 - Maria Alm, Wals-Siezenheim, Ramingstein, Niedernsill, Maishofen, Piesendorf, Zell am See</b>	<b>35</b>
<b>B-4 Weiterführende Forschungsvorhaben</b>	<b>37</b>

<b>B-4.1</b>	<b>Anwendungsorientierte Verbesserung von Niederschlagswarnungen -----</b>	<b>37</b>
<b>B-4.2</b>	<b>Zukünftige Entwicklung von Naturgefahren infolge von kleinräumigen Starkniederschlägen -----</b>	<b>38</b>
<b>B-5</b>	<b>Schlussfolgerung-----</b>	<b>40</b>
	<b>Literaturverzeichnis -----</b>	<b>42</b>
	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -----</b>	<b>47</b>



## **Kurzfassung**

Das Projekt StartClim2017.B – SEVERE untersuchte die Bedeutung von kleinräumigen Starkniederschlägen als Auslöser von Naturgefahren. Im Zuge des Projektes wurden Informationen über die Bedingungen gesammelt, unter denen Naturgefahren wie Muren, Hangrutschungen oder Sturzfluten durch Niederschlagseinwirkung ausgelöst werden können. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Gespräche mit ExpertInnen aus den Themenbereichen Hydrologie, Geomorphologie, Geologie und Meteorologie geführt und der aktuelle Stand der Forschung aus der Literatur erhoben. Zusätzlich wurden dokumentierte Schadensereignisse infolge von Wettereinflüssen aus der VIOLA-Datenbank der ZAMG zusammen mit hochaufgelösten Niederschlagsdaten aus dem SPARTACUS-Datensatz statistisch ausgewertet. Diese Auswertung sollte als Basisinformation darüber dienen, inwiefern Ereignisniederschläge allein schon sichere Aussagen über das niederschlagsbedingte Naturgefahrenrisiko zulassen. Sowohl die statistische Evaluierung als auch die Expertengesprächen und die Literaturrecherche ergaben, dass die physischen Prozesse, die zur Auslösung von Naturgefahren führen sehr komplex sind, und zusätzlich zum Niederschlag eine Reihe weiterer lokaler Einflussfaktoren für die Verursachung niederschlagsbedingter Schäden zum Tragen kommen. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurden Konzepte für fortführende Forschungsvorhaben in einem fächerübergreifenden Projektkonsortium erarbeitet.

## **Abstract**

The project StartClim2017.B – SEVERE investigated the importance of small-scale heavy precipitation on triggering natural hazards. Information were collected about the circumstances under which precipitation events can induce natural hazards such as debris flows, landslides or flash floods. Expert talks were conducted with scientists of the scientific fields of hydrology, geomorphology, geology and meteorology. A literature review provided additional information on the state-of-the-art in the research on natural hazards. Further, a statistical evaluation was performed based on documented damage events of the VIOLA data base of ZAMG and on SPARTACUS precipitation data. This was done in order to test the usefulness of pure precipitation data to predict the risk of natural hazards. The results of the statistical evaluation as well as of expert arguments and literature review stated that triggering processes of natural hazards are too complex to be explained by precipitation alone. Moreover, a variety of additional triggering conditions must be considered to explain the occurrence of these damaging events. Regarding these outcomes concepts were developed for subsequent research proposals including an interdisciplinary consortium.

## B-1 Einleitung

Extremwetterbedingte Schadereignisse durch Überflutungen, Muren, Hagel, Dürreereignisse, Stürme usw. treten in Österreich mit großer Häufigkeit auf und verursachen Jahr für Jahr beträchtliche SchADVolumina. Die Versicherungsschäden infolge von Extremwetterereignissen sind in den vergangenen Jahrzehnten rapide angestiegen - weltweit um das 15-fache in den letzten 30 Jahren (VVO, 2015) -, wobei unter anderem der sehr wahrscheinliche Anstieg der hohen Temperaturextreme und Starkniederschlagsereignisse verursacht durch den Klimawandel eine Rolle spielt (IPCC, 2014).

Großräumige Ereignisse wie Stürme (z.B. Orkantiefs Kyrill 2007 und Emma 2008) oder Hochwasser (Donau-Hochwasser, 2002 (BLFW, 2003), Überflutungen in Bayern und Westösterreich, 2005 (BLU, 2006), Hochwasser in Bayern und Österreich, 2013 (Blöschl et al., 2013)) werden zumeist gut dokumentiert, ausgehend von ihrer Entstehung und Entwicklung bis hin zu den Schadensausmaßen. Je kleinräumiger die Wetterereignisse ausfallen, desto schwieriger und lückenhafter wird deren Erfassung, obwohl sie zumindest zahlenmäßig überwiegen und auch einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am SchADVolumen durch wetterinduzierte Ereignisse stellen. Oft kann jedoch nur durch wetterbedingte Schäden oder durch sichtbare Folgen wetterbedingter Naturgefahren festgestellt werden, dass ein kleinräumiges Wetterereignis stattgefunden hat. Dies bedeutet, dass Ereignis- und Schadendatenbanken nicht nur für die Beurteilung der Unwetterfolgen und für Schadensabschätzungen eine große Bedeutung haben, sondern auch für die Erforschung der Wetterextreme selbst.

### B-1.1 Naturgefahren in Österreich - Datenbanken und Netzwerke

Für das Österreichische Bundesgebiet existieren mehrere fachspezifische Ereignisdatenbanken für Naturgefahren, die von den betreffenden Institutionen teils seit einigen Jahrzehnten betrieben werden. Diese Datenbanken sammeln detaillierte Informationen zu einzelnen Naturgefahrenarten wie Überflutungen, Lawinen, Hangrutschungen und Muren. Sie erfassen Ort, Zeit und Ausmaß des Ereignisses sowie je nach Datenbank auch Unterlagen zu Auslösemechanismen sowie zu Personen- und Sachschäden. Bevorzugt werden Ereignisse in die Datenbanken aufgenommen, die sich im Bereich von Siedlungsraum oder Infrastruktur ereignen. Dies geschieht aus dem einfachen Grund, dass diese Ereignisse öfter und frühzeitiger wahrgenommen werden, als jene in unbesiedeltem Gebiet. Dadurch sind die Spuren, die die Ereignisse hinterlassen, noch gut sichtbar, und auch die zeitliche Einordnung und die Intensität können genauer beschrieben werden. Beispiele für Ereignisdatenbanken für Naturgefahren in Österreich sind in Tab. B- 1) aufgelistet. Auch einige österreichische Unternehmen im Bereich Infrastruktur (z.B. ÖBB, Asfinag) verfügen über Naturgefahrenmanagement bzw. Naturgefahrenstrategien und archivieren Informationen über Naturgefahren und Prävention in ihrem Wirkungsbereich.

**Tab. B- 1:** Beispiele für Ereignisdatenbanken für Naturgefahren in Österreich

<b>Name</b>	<b>Institution</b>
<b>Bestand</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
<b>(Web-Link)</b>	
Hochwasserfachdatenbank seit 2010	Umweltbundesamt (im Auftrag des BMNT) Daten zu Gefahren- und Risikokarten, Hochwasserrisikomanagementplänen und Hochwasserereignissen (siehe auch BMLFUW, 2013)

Hydrographische Jahrbücher	BMNT
Seit 1893	Auswertungen von Niederschlag, Wasserstand/Durchfluss, Wassertemperatur, Grundwassermonitoring, Dokumentationen von Extremereignissen
<a href="https://www.bmnt.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/jahrbuecher.html">https://www.bmnt.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/jahrbuecher.html</a>	
eHORA	BMNT
Zeitraum abhängig von den dargestellten Parametern	Karten zur Darstellung des räumlich verteilten Risikos für Naturgefahren betreffend Hochwasser, Erdbeben, Rutschungen, Sturm, Hagel, Blitzschlag, Lawinen, sowie aktuelle Daten zu Wetterwarnungen, Schneelast, Pegelständen.
<a href="http://www.hora.gv.at">www.hora.gv.at</a>	
GBA-Datenbank	Geologische Bundesanstalt
Seit 1948	Massebewegungen der Kategorien Berg- und Felssturz, Kriechmasse/Talzus Schub/Sackung, Rutschung, visualisiert via Web-Applikation mit Informationen über räumlich-zeitlich Verortung, Art der Massenbewegung
<a href="https://gisgba.geologie.ac.at/gbaviewer/?url=https://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/AT_GBA_MASSENBEWEGUNGEN/MapServer">https://gisgba.geologie.ac.at/gbaviewer/?url=https://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/AT_GBA_MASSENBEWEGUNGEN/MapServer</a>	
Wildbach und Lawinenkaster (WLK) der WLW	BMNT, Wildbach und Lawinenverbauung
seit 1950	Ereignisportal historischer und aktueller Ereignisse und deren Schadwirkung als Web-Anwendung und SQL-Server-Basis. Prozessarten: Hochwasser, Fluvialer Feststofftransport, Murgang, murartiger Feststofftransport, Oberflächenabfluss, Hangmure, Rotationsrutschung, Translationsrutschung, nicht differenzierte Rutschung, Erd-, Schuttstrom und Talzus Schub. Parameter: Prozesskategorie, -art und -intensität, räumliche und zeitliche Verortung
Web-Applikation: <a href="http://maps.naturgefahren.at/Naturgefahren?g_card=gewaesser#">http://maps.naturgefahren.at/Naturgefahren?g_card=gewaesser#</a>	
Österreichische Schadenslawinendatenbank	Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Seit 1912	Aufzeichnungen über Lawinen, durch die Menschen verschüttet oder menschliche Güter beschädigt worden sind: Schadensarten, Schadensausmaße, freies Gelände oder Siedlungsraum/Verkehrsverbindungen (Luzian (2002); Luzian und Eller (2005))
VIOLA-Datenbank	ZAMG
Seit 1948	Ereignisdatenbank wetterinduzierter Naturgefahrenereignisse mit Schadwirkung auf Basis von Medienberichten (siehe B-1.3.3.1)
Web-Link: <a href="http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/monatsrueckblick/unwetterbericht/?jahr=2016&amp;monat=01">http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/monatsrueckblick/unwetterbericht/?jahr=2016&amp;monat=01</a>	



In den letzten Jahren wurden verstärkt Initiativen gebildet, um die Einträge der Datenbanken zu verknüpfen und Datensätze zu vereinheitlichen. Dadurch soll ein Gesamtüberblick über das Vorkommen, Häufigkeit und die sozialen und ökonomischen Schadensausmaße von Naturgefahren möglich werden.

Die nationale Plattform ASDR (Austria Strategy for Disaster Risk Reduction, <https://www.isdr.at/cms/intro/nationale-plattform>) hat sich beispielsweise zum Ziel gesetzt eine umfassende österreichweite Schadendatenbank zu schaffen, die einerseits die Risiko- und Klimafolgenforschung unterstützen als auch für Verwaltungszwecke zur Verfügung stehen soll. Für die Planung dieser Datenbank werden VertreterInnen des Bundes, der Länder, aus der Wissenschaft und Privatwirtschaft an einen Tisch geholt und Erfahrungen mit Datenbanken sowie Anforderungen und Erwartungen an eine österreichweite Schadendatenbank diskutiert. Die Plattform ASDR organisiert und koordiniert dadurch und darüber hinaus die ISDR (International Strategy for Disaster Reduction) Aktivitäten in Österreich und erfüllt die Forderungen des Sendai-Rahmenprogramms („Sendai Framework for Disaster Risk Reduktion“, siehe <https://www.isdr.at/cms/intro/sendai-framework>) zur Reduktion von Schäden durch Naturgefahren.

Wichtige Vorarbeiten für die Planung und Entstehung einer nationalen Schadendatenbank lieferten u.a. die Projektinitiativen SNORRE (Matulla et al., 2015) und damage.at (Köberl et al., 2018).

Das Projekt StartClim2014.A – SNORRE entwickelte ein Konzept die Daten und Anwendungen unterschiedlicher Akteure bei der Bewältigung von Katastrophen auf einer Plattform zu vereinen. Der Bedarf und Möglichkeiten dazu wurden durch Umfragen und bei Workshops diskutiert und evaluiert. Das Spektrum an beteiligten Institutionen reichte von Blaulicht- und Hilfsorganisationen, über Institutionen aus Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, Energie, Gesundheit, Tourismus und Wasserwirtschaft bis hin zu Forschungsinstitutionen, Gemeindeverwaltung, Medien, Warnzentralen und Versicherungen. Durch die Vernetzung verschiedener Glieder der Handlungsketten im Katastrophenfall sollten Schwachstellen in der Kommunikation, etwaige technische und personelle Engpässe und fehlende Expertisen detektiert werden, um den Informationsfluss zwischen den Gliedern der Ketten hinsichtlich ressourcenoptimierter Bewältigung des Anlassfalls zu verbessern. Durch die Verknüpfung von Daten sollte auch eine umfassende Auswertung von Extremereignissen ermöglicht werden.

Damage.at evaluierte die Machbarkeit einer österreichweiten Schadendatenbank, die wetter- und klimabedingte Schäden an Siedlungsraum und Infrastruktur beinhalten soll. Bei dieser Machbarkeitsstudie wurde das Hauptaugenmerk auf Datensammlungen zu monetären Schäden durch Naturgefahren gelegt, sowie auf Möglichkeiten diese zu nutzen, zu verschneiden und zu vergleichen. Der Schwerpunkt der Studie lag auf Daten aus dem Bereich der öffentlichen Verwaltung. Einerseits wurde ein Konzept für die Datenbankstruktur und Nomenklatur erarbeitet, andererseits wurden Fragen des Datenschutzes und der Nutzungsrechte auf verschiedenen Ebenen diskutiert. Auch Schwierigkeiten im Zuge der Datensammlung und in Hinblick auf die Vereinheitlichung der Daten wurden benannt, etwa fehlendes Wissen um die Wichtigkeit der gewonnenen Daten, wenn z.B. wesentliche Datensätze nach einigen Jahren gelöscht werden.

Zusätzlich entstanden Initiativen, die weniger die Daten, als die Expertinnen und Experten aus diversen Fachgebieten der Bereiche Naturgefahren und Katastrophenprävention zusammenführen sollen. Ein Beispiel dafür ist das DCNA (Disaster Competence Network Austria – Kompetenznetzwerk für Katastrophenprävention, <http://dcna.at/contao/index.php/dcna-startseite.html>), ein gemeinnütziger Verein unter universitärer Leitung, der die Vernetzung wissenschaftlicher Fachexpertisen auf dem Gebiet der Sicherheits- und Katastrophenforschung fördert und koordiniert. Zu den Vereinsaktivitäten zählen u.a. die Nennung von Ansprechpartnern und die Bereitstellung

von Expertisen für Politik und Gesellschaft, Zusammenarbeit mit dem staatlichen Krisen- und Katastrophenmanagement (SKKM), gemeinsame wissenschaftliche Bearbeitung von praxisrelevanten Fragestellungen, Initiierung von Tagungen und Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs. Eine weitere, internationale Initiative, die jedoch in Österreich sehr aktiv ist, ist das Expertinnennetzwerk „women exchange 4 Disaster Risk Reduction“ (we4DRR, <http://www.naturgefahren.at/eu-internationales/we4DRR/about/why.html>). Ziele dieses Netzwerks, das ausschließlich Frauen als Mitglieder aufnimmt, sind u.a. Beiträge und Diskussionen zur Thematik „Gender und Naturgefahren“, als auch das Sichtbarmachen von weiblichen Expertisen durch nationalen und internationalen Wissens- und Erfahrungsaustausch.

### **B-1.2 Problemstellung Naturgefahren und Klimaforschung**

Die Konzentration auf den Bereich Naturgefahren bekommt in der Klimaforschung einen immer wichtigeren Stellenwert. Nachdem lange Zeit die Zusammenhänge auf globaler Skala in Verbindung mit der langzeitigen Entwicklung des Klimas im Vordergrund standen, kam immer mehr die Frage auf, wie sich die Klimaänderungen auf das lokale Klima und dadurch in Folge auf das Leben der lokalen Bevölkerung auswirken. Neben Maßnahmen zu Anpassung an die langsam fortschreitende Veränderung des Klimas stehen die Erkennung und Verminderung der Vulnerabilität durch Extremereignisse im Fokus von nationalen Anpassungsstrategien (zB. BMLFUW, 2017). Dies ist einerseits dadurch begründet, dass zahlreiche Forschungsergebnisse eine Änderung der Intensität und Häufigkeit von Extremereignissen nahelegen und andererseits dadurch, dass bei Extremereignissen, die hohe Schadenssummen zur Folge haben und ein akutes Gefahrenpotential darstellen, rascherer Handlungsbedarf gesehen wird, als bei Veränderungen, die sich im Zeitraum von Jahrzehnten zeigen.

Die Erforschung von extremen Wetterereignissen und ihren Folgen hat jedoch mit einigen Schwierigkeit zu kämpfen:

1. Bei Extremereignissen handelt es sich um Ereignisse mit (lokal und regional) relativ langen Wiederkehrzeiten. Um historische Extremereignisse statistisch sinnvoll zu erfassen werden daher lange Beobachtungszeitreihen benötigt. Je länger der betrachtete Zeitraum, desto geringer ist häufig die Dichte der Daten die zur Evaluierung herangezogen werden können. Dies wiederum wirft die Frage auf, ob die verwendete Datengrundlage die zu beschreibenden Ereignisse auch ausreichend erfasst, besonders im Fall von Extremereignissen mit kurzer Dauer und geringen räumlichen Ausmaßen.
2. Um die zukünftige Entwicklung wetterbedingter Extremereignisse abzuschätzen, werden Klimaprojektionen hinzugezogen, die auf eher groben räumlichen Skalen (Beispiele) verfügbar sind, und von denen für die Anwendung erst die lokalen Wetter- und Witterungsbedingungen im sog. „Downscaling“ abgeleitet werden müssen. Die benötigten Rechenressourcen für das dynamische Downscaling sind sehr groß, sodass entweder nur ein kurzer Zeitraum „downgescaled“ werden kann oder die gewählte Auflösung nicht die gewünschte Auflösung erreichen kann, etwa jene der konvektionsauflösende Skala von etwa 2 km – 4 km. Statistische Downscalingmethoden benötigen weniger Ressourcen und können für auch für vereinzelte geographische Punkte angewendet werden, jedoch sind sie stärker als dynamische Methoden abhängig von verfügbaren historischen Beobachtungsreihen und davon, ob die verwendeten groben Projektionen die Häufigkeit der ausschlaggebenden Wetterlagen wiedergeben können.
3. Schäden infolge von Wetter- und Klimaeinflüssen entstehen häufig nicht nur durch die Intensität der einzelnen Wetterereignisse selbst, sondern können durch die Verkettung verschiedener, per se nicht bedrohlicher Einflüsse zustande kommen. Einige dieser Einflüsse werden durch menschliche Aktivitäten wie

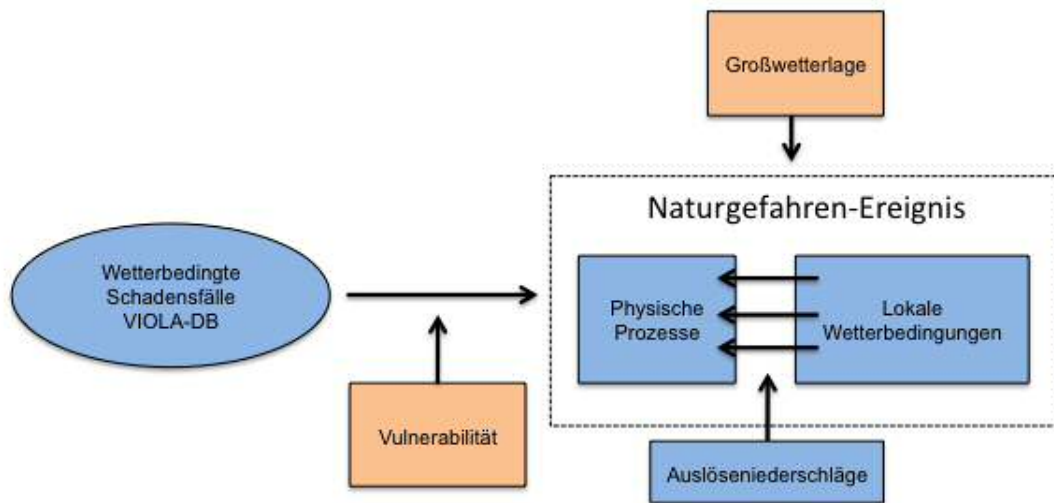
Landnutzung oder Verbauung gefördert, andere kommen durch Langzeiteinwirkungen zustande und zeigen ihr zerstörerisches Potential erst durch das Einwirken eines auslösenden Prozesses, von dem allein kein Gefahrenpotential ausgegangen wäre.

### **B-1.3 Zielsetzung des Projekts SEVERE**

Die in B-1.2 beschriebenen Problematiken waren es, die die grundlegende Motivation für das Projekt StartClim2017.B - SEVERE darstellten. Es sollten methodische Zugänge gefunden werden, die einerseits eindeutige Verbindungen zwischen lokal extremen Wetterbedingungen und den entsprechenden Großwetterlagen herstellen lassen, und andererseits die Wetterbedingungen mit dem tatsächlich beobachteten Schadereignissen verknüpfen. Dabei war es ein Ziel vorhandene und laufende Arbeiten zu dieser umfassenden Thematik zu identifizieren und darauf aufzubauen und Kontakte zu notwendigen externen Expertisen zu knüpfen. Auf dieser Grundlage sollten erste konkrete Auswertungsschritte durchgeführt werden, um die Machbarkeit des Vorhabens einschätzen zu können und weitere Schritte, etwa im Rahmen eines nachfolgenden Projektantrags effizient zu planen.

Als meteorologischer Parameter für die Auswertungen wurde bewusst der Niederschlag gewählt, da dieser in der Meteorologie nach wie vor zu den Parametern zählt, die nur mit großen Unsicherheiten sowohl vorhergesagt als auch gemessen werden können. Denn einerseits ist die Niederschlagsentstehung ein komplexer Vorgang, andererseits weisen Niederschlagsmuster eine sehr große räumliche Variabilität auf. Gleichzeitig ist Niederschlag, anders als etwa der Wind als direkte Schadeinwirkung, ein indirekter Auslöser für Naturgefahren wie etwa Muren oder Überflutungen und damit Teil einer sehr komplexen Wirkungskette. Das Hauptaugenmerk in StartClim2017.B - SEVERE lag dabei besonders auf kleinräumige Niederschlagsereignissen, zum Ersten, da für großflächige, ausgiebige Dauerregen schon weitreichende Expertisen bestehen oder entsprechende Projekte im Gange sind und zum Zweiten, da für kleinräumige Ereignisse oft andere Methoden und Datensätze herangezogen werden müssen und fächerübergreifender Forschungsbedarf gegeben ist. Weiters wurden Niederschläge in fester Form (Hagel und Schnee) aus dem Evaluierungen ausgeschlossen. Die Art von Hagelschäden unterscheidet sich sehr von Schäden durch flüssigen Niederschlag, und auch für die Erfassung werden andere Methoden verwendet. Auch die Prozesse, die den Auf- und Abbau einer Schneedecke bestimmen, sind sehr komplex und hätten dem Projekt eine andere Ausrichtung gegeben.

Der ursprünglich geplante Projektablauf in StartClim2017.B - SEVERE beinhaltete, die gesamte Ereigniskette ausgehend vom Impact, definiert durch dokumentierte Schadereignisse infolge von Niederschlag, über die lokalen Wetter- und Witterungseinflüsse bis hin zu den auslösenden, grob-skaligen atmosphärischen Bedingungen zu betrachten. Allerdings zeigte es sich, dass allein die Verknüpfung zwischen dem Schadereignisraum und dem Ereignisraum meteorologischer Bedingungen ein sehr umfangreiches Arbeitsgebiet darstellt, das große Sorgfalt und methodische Genauigkeit erfordert. Zudem spielen Expertisen zum Thema Auswirkungen von Niederschlägen und Niederschläge aus Auslöser von Naturgefahren eine größere Rolle als zunächst angenommen. Aus diesem Grund beschränkten sich die tatsächlichen Projektinhalte in SEVERE nun ausschließlich darauf, die Bedeutung des Niederschlags für das Auftreten niederschlagsbedingter Naturgefahren zu verstehen und den Niederschlag für konkrete Schadensfälle in der Vergangenheit zu rekonstruieren. Die Verbindung zur groben Skala und Großwetterlage wurde ausgespart, nicht zuletzt auch aus dem Grund, dass für diesen Abschnitt der Ereigniskette die rein meteorologische Expertise und Methodik ausreicht. Sowohl diese als auch die benötigten Datensätze (Reanalysen, Hindcasts, Klimaprojektionen für die zukünftige Entwicklung) sind bei Bedarf an der ZAMG hausintern verfügbar.



**Abb. B- 1:** Struktur des Projektes StartClim2017.B – SEVERE. Die in blau gehaltenen Felder sind im Projekt integriert, die orangenen Felder weisen auf die Aspekte hin, die in der Thematik eine wichtige Rolle spielen, aus dem engeren Fokus des Projekts jedoch ausgeblendet werden.

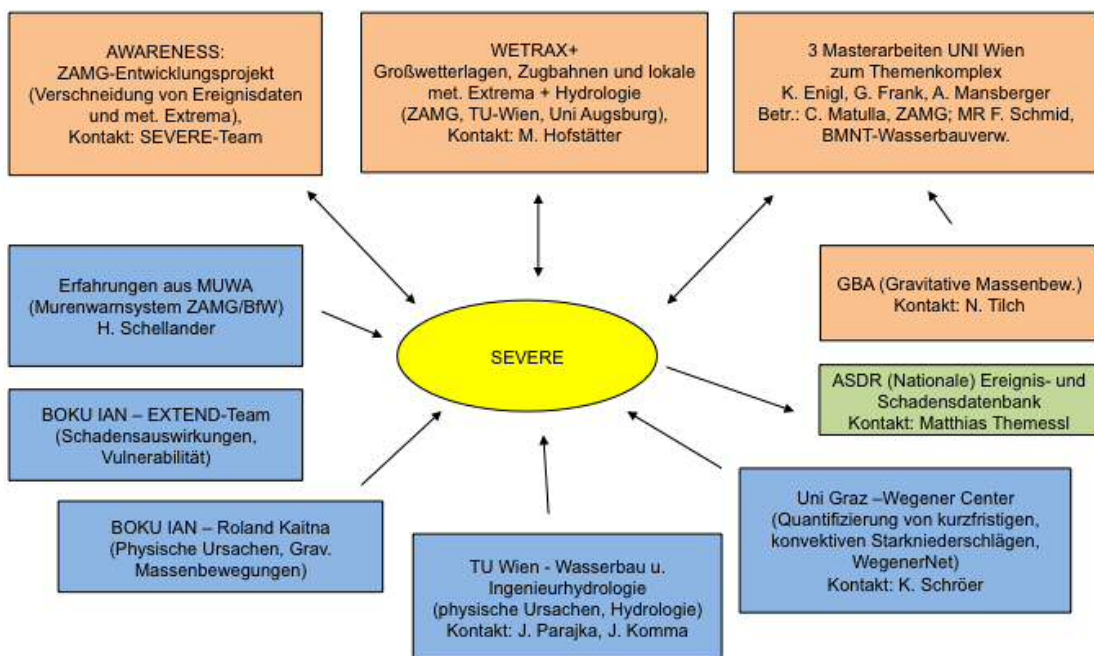
### **B-1.3.1 Ablauf des Projekts SEVERE**

Der Ablauf des Projekts gestaltete sich gemäß der in Abschnitt B-1.3 beschriebenen Zielsetzung in folgenden Schritten:

1. Literaturrecherche: Die Literaturrecherche bezog sich auf Zusammenhänge von kleinräumigen (Stark)niederschlägen und Naturgefahren. Dabei wurde nach zwei Kategorien, „Gravitative Massenbewegungen“ (Muren, Hangrutschungen) und „Oberflächenwasser“ (kleinräumige Überflutungen und Sturzfluten), unterschieden. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, Informationen über Auslöseniederschläge unter Berücksichtigung unterschiedlicher hydrologischer, geologischer und topographischer Vorbedingungen zu erhalten. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Literaturrecherche ist in Abschnitt B-2.3 zu finden.
2. Einbindung externer Expertisen zum Stand aktueller Erkenntnisse und Arbeiten: ExpertInnen unterschiedlicher Institutionen aus dem Bereichen Hydrologie, Geomorphologie und auch Meteorologie wurden zum Stand des Wissens in der Thematik niederschlagsbedingte Naturgefahren eingehend befragt. Dabei ging es in erster Linie darum, Informationen über verfügbare Datenquellen zu sammeln, Möglichkeiten für weiterführende Arbeitsschritte, aber auch für potentielle Kooperation zu besprechen. Die Leitfragen für die ExpertInnengespräche sind in B-2.1 aufgelistet, die Zusammenfassungen der Gesprächsinhalte in B-2.2 zu finden.
3. Übersicht über verwandte Projektinitiativen: Dieser Schritt diente in erster Linie dazu, Synergien mit weiteren laufenden Projekten zur Extremwetterthematik zu nützen und dabei auch Doppelgleisigkeiten zu vermeiden. Eine Kurzübersicht zu drei mit SEVERE verwandten Projekten ist in B-1.3.2 zu finden.
4. Exemplarische Verschneidung von Schadereignissen infolge von Extremwetter aus der VIOLA-Datenbank mit SPARTACUS-Niederschlagsdaten (siehe B-3): Dieser erste Schritt in Richtung der Verschneidung verschiedener Datensätze half dabei technische Fragen, die sich bei der Extraktion der Daten aus der Datenbank und der zeitlichen und räumlichen Einordnung der Schadereignisse

stellten, zu klären. Des Weiteren wurde ein Ausgangspunkt zu weiteren Auswertungen markiert, der in erster Linie die Fragen beantworten sollte:

1. Wo in Bezug auf unsere Zielsetzungen stehen wir, wenn wir ausschließlich von gegitterten Tagesdaten und den Einträgen aus der VIOLA-Datenbank ausgehen? D.h. Welche Aussagen sind aufgrund dieser Datenbasis schon möglich, welche noch nicht?
  2. Welche Ereignisse, die in der VIOLA-Datenbank enthalten sind, können mit Hilfe des Ereignisniederschlags erklärt werden (seltenes, sehr intensives Ereignis), welche nicht (mittelmäßiger Niederschlag am Tag des Ereignisses, und dennoch traten Schäden auf)?
  3. Wie „extrem“ sind die in SPARTACUS beobachteten Auslöseniederschläge im Vergleich zur Klimatologie?
5. Planung fortführender Forschungsvorhaben: Auf der Basis der Erkenntnisse der Punkte 1. bis 4. wurden Konzepte zu Projektvorhaben erarbeitet, die im Anschluss an das Projekt StartClim2017 zu Einreichung geführt werden sollen.



**Abb. B- 2:** Übersicht über das Netzwerk aus ExpertInnen (B-2.2) und Projektinitiativen (B-1.3.2), mit denen StartClim2017.B – SEVERE in Kontakt steht.

### **B-1.3.2 Verwandte Projektinitiativen zu Extremwetterthematik**

#### **B-1.3.2.1 WETRAX+**

Das Projekt WETRAX+ startete im Frühsommer 2018. Es ist als Fortsetzung des Projekts WETRAX (Weather Patterns, CycloneTracks and related precipitation Extremes, 2012-2015, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/zeitliche-klimaanalyse/wetrax>) konzipiert. Während das Vorgängerprojekt WETRAX sich der Klimawandelanalyse von Wetterlagen und Zugbahnen von Tiefdruckgebieten widmete, die maßgeblich für die Entstehung größerer Hochwasser an Flüssen verantwortlich sind (Hofstätter et al., 2016, 2017), geht WETRAX+ nun mehr ins Detail und fokussiert auf zugrunde liegende Prozesse. In enger Kooperation der ZAMG, TU-Wien und der Uni-

versität Augsburg sollen etwa mittels hydrologischer Methoden Aussagen über die Auswirkungen intensiver Niederschläge auf den Wasserhaushalt und Abflussregime ermöglicht werden. Zusätzlich zu den Starkniederschlagsperioden werden auch Trockenperioden untersucht und damit auch die Berücksichtigung von atmosphärischen Stationaritäten und Persistenzen in den Fokus gerückt. Weiters werden auf Basis von Beobachtungsdaten und atmosphärischen Vertikalprofilen Wetterlagen identifiziert, die speziell konvektive Starkniederschläge begünstigen. Gerade in dieser Thematik gibt es Anknüpfungspunkte mit der Problemstellung in SEVERE, wenn auch unter anderen Aspekten. Auch konzentriert sich SEVERE durch seinen Ansatz darauf Ereignisse auf sehr feinen räumlichen Skalen zu untersuchen, während WETRAX+ eine stärkere Anbindung an die Großwetterlage verfolgt.

#### **B-1.3.2.2**     **AWARENESS**

AWARENESS läuft während des Arbeitsjahres 2018 als internes Entwicklungsprojekt der ZAMG, an dem u.a. auch das Projektteam von Startclim2017.B- SEVERE beteiligt ist. Ein vorrangiges Ziel von AWARENESS ist es meteorologische Extremwetterereignisse mit beobachteten Auswirkungen und Impacts zu verschmelzen. Dabei wird zusätzlich zu der vorhandenen VIOLA-Datenbank, die auch in SEVERE Verwendung findet eine Unwetterdatenbank aufgebaut, die meteorologische Extrema abbilden soll. Dies soll den kombinierten Zugriff von meteorologischen Daten und Impact-Informationen etwa für den Zweck von Nutzeranfragen und Gutachten erleichtern. Anders als in StartClim2017.B - SEVERE wird nicht vom Impact ausgegangen, sondern eine Verbindung von zunächst unabhängigen Ereignisräumen gesucht. Auch werden im Projekt AWARENESS zusätzlich zum Niederschlag Daten zu Temperatur und Wind untersucht und aufbereitet.

#### **B-1.3.2.3**     **Masterarbeiten zur Thematik an der Universität Wien**

Drei Masterarbeiten (Tab. B- 2) von Studierenden des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien haben thematisch einen engen Bezug zu den Inhalten von Startclim2017.B - SEVERE. Betreut werden die Arbeiten, die im Sommer 2017 begonnen wurden, von Priv.-Doz. Dr. Christoph Matulla, der auch das Climate Impact-Team in der Abteilung Klimaforschung an der ZAMG leitet, sowie von MR DI Franz Schmid (BMNT, Bundeswasserbauverwaltung). Im Zuge von Masterarbeitstreffen gab es immer wieder fachlichen Austausch über die Fortschritte der Masterarbeiten und dem Projekt SEVERE.

**Tab. B- 2:** VerfasserInnen der Masterarbeiten und die Titel der Arbeiten

<b>Student/in</b>	<b>Titel der Arbeit</b>
Andreas Mansberger	Kopplung (Downscaling) großräumiger, atmosphärischer Prozesse an regional-skalige Wetterentwicklung mit Fokus auf Extremereignisse im komplexen Gelände
Fabian Georg Frank	Verwendung von Ensembles regional-skaliger Klimaprojektionen zur Bewertung potentieller Veränderung künftiger Extremereignisse bis zum Ende des 21. Jahrhunderts
Katharina Enigl	Erstellung einer österreichweiten Ereignisdatenbank und Evaluierung von Zusammenhängen zwischen lokal-skaliger Wetterentwicklung und Extremereignissen

Besonders groß sind die Überschneidungen mit der Arbeit von Kollegin Katharina Enigl, die Ereignisdatenbanken unterschiedlicher Institutionen (VIOLA-Datenbank der ZAMG, den Ereigniskataster der Wildbach und Lawinenverbauung (WLV) des BMNT und die

Datenbank „Massenbewegungen“ der Geologischen Bundesanstalt) zu einem einheitlichen Ereignisraum zusammengefasst hat. Diesem wurde in der Arbeit meteorologische Daten für Temperatur, Niederschlag und Bodenfeuchte (SPARTACUS (Hiebl und Frei, 2016, 2018), WINFORE (Haslinger und Bartsch, 2016) und WETRAX (GPARD-6 und GPARD-1, Hofstätter et al., 2015) gegenübergestellt (Enigl et al., 2018). Dabei wurde das Ziel verfolgt statistische Zusammenhänge zwischen dem Ereignisraum und dem meteorologischen Raum zu finden, die als Indizes verwendbar sind.

### **B-1.3.3 Verwendete Datensätze**

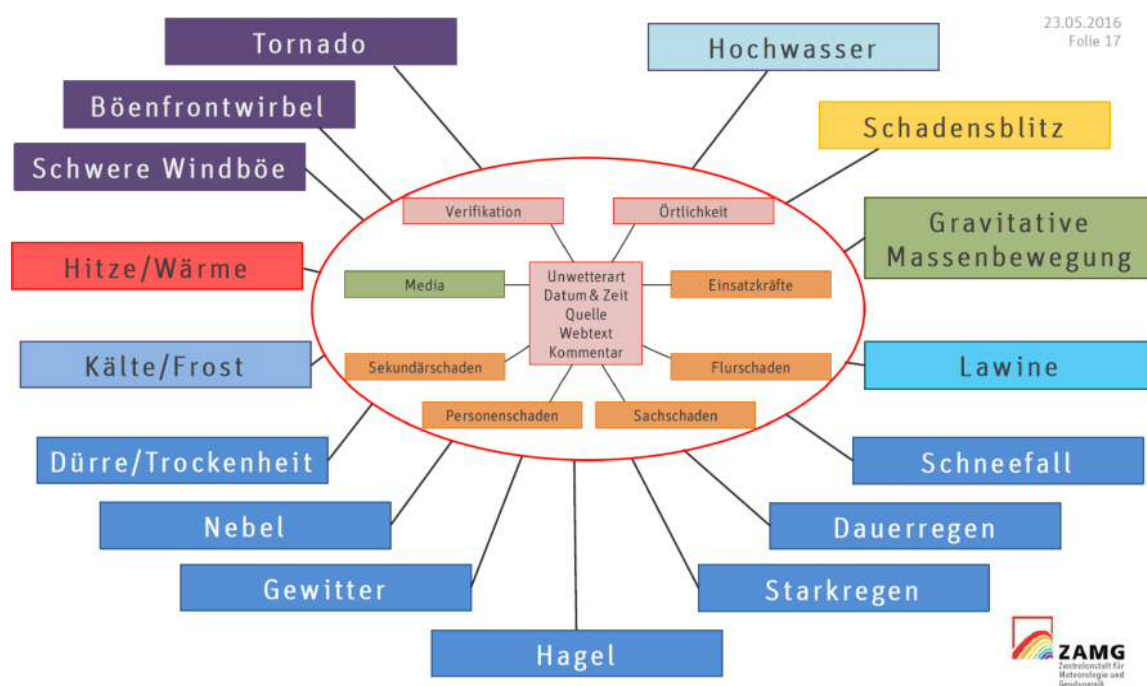
Die verwendete Datenbasis für die statistischen Auswertungen von Ereignisniederschlägen wurde bewusst eingeschränkt, um den möglichen Erkenntnisgewinn aus vorhandenen Datensätzen zu beschreiben. Daher wurden für den Schadereignisraum ausschließlich Einträge aus der VIOLA-Datenbank (Reisenhofer, 2015) herangezogen und für die Niederschlagsbedingungen ausschließlich der SPARTACUS-Niederschlagsdatensatz (Hiebl und Frei (2018)). Diese sind im Folgenden (B-1.3.3.1, B-1.3.3.2) detailliert beschrieben. Für die Auswahl war entscheidend, dass die lokale Klimatologie der Niederschläge in die Auswertungen miteinbezogen werden sollte, die aus SPARTACUS gut abgeleitet werden kann. Im Zuge des Projekts wurde die Anforderung gestellt auch die ebenfalls an der ZAMG verfügbaren INCA-Analysen (Haiden et al., 2011) miteinzubeziehen, da sie zusätzlich zu den verfügbaren Stationsdaten auch Radardaten miteinbeziehen. Dieser Forderung wurde nachgekommen, und es wurden in den Auswertungen die Ereignisniederschläge aus SPARTACUS jenen aus INCA gegenübergestellt (siehe B-3.1- B-3.4). Zudem ist geplant INCA-Daten in weiterführenden Forschungsvorhaben in Kombination mit SPARTACUS-Daten zu verwenden. Dennoch muss angemerkt werden, dass INCA ein Nowcasting-Tool ist, dass seit 2003 verfügbar ist und konzipiert wurde in Echtzeit einen möglichst umfassenden Überblick über die aktuelle Wettersituation zu bieten, wobei alle verfügbaren Datenquellen, im Falle von Niederschlag Stations- und Radardaten, gewichtet in die Analyse einfließen. Anders als in SPARTACUS wird nicht auf eine zeitlich konsistente Auswahl an Beobachtungsdaten Wert gelegt. Deshalb und aufgrund der vergleichsweise kurzen Dauer der Verfügbarkeit (15 Jahre, wobei in diesen Zeitraum auch wesentliche Änderungen des Systems fallen), werden INCA-Analysen für die in StartClim2017.B – SEVERE und weiterführenden Arbeiten als Zusatzinformationen, jedoch nicht als Grundlage für klimatologische Auswertungen herangezogen.

#### **B-1.3.3.1 VIOLA-Datenbank:**

Die VIOLA (Violent Observed Local Assessment) – Datenbank erfasst Informationen über wetterbedingte Extremereignisse basierend auf Medienberichten (Reisenhofer, 2015). Die seit 1948 archivierten Schadereignisse werden seit 2014 in die digitale Plattform von VIOLA übertragen und kategorisiert. Dadurch wurden gefilterte Abfragen von Unwetterereignissen möglich. Außerdem verfügt die VIOLA-Applikation über eine interaktive Webdarstellung, die etwa einen raschen Überblick über die dokumentierten Ereignisse eines Kalendermonats samt Zusatzinformationen und geographischer Verortung mittels Karte ermöglicht. Je nach Informationsgehalt der Medienberichte sind für die Ereignisse Zeit (Beginn und Ende des Ereigniszeitraums) und Ort (Geographischer Punkt, Gemeinde, Bezirk, Bundesland), eine qualitative Beschreibung des Wetterereignisses, Angaben über Sach-, Personen- und Flurschäden und beteiligte Einsatzkräfte vermerkt. Die Ereignisse selbst sind Extremwetterkategorien, geordnet nach meteorologischen Parametern oder ihren Auswirkungen („Gravitative Massenbewegungen“), zugeordnet. Abfragen aus der Datenbank sind je nach Umfang und Zweck der Abfragen entweder über eine Web-Applikation oder via SQL-Routinen möglich.

Für das Projekt StartClim2017.B - SEVERE wurden Ereigniskategorien ausgewählt, die entweder in direkter Verbindung zu flüssigem Niederschlag stehen oder aber eine Folge

desselben sind. Dies betrifft die Kategorien (siehe Abb. B- 3) „Gewitter“, „Starkregen“, „Dauerregen“, „Hochwasser“ und „Gravitative Massenbewegungen“. Ereignisse aus der Kategorie „Dauerregen“ wurden nur aufgrund der in B-1.3, Abs. 2 erwähnten Einschränkungen nur dann verwendet, wenn die Dauer des Ereignisses nicht länger als 24h betrug, oder ein Bezug zu einem Hochwasserereignis oder einer Massenbewegung gegeben war. Die Anzahl der Fälle von Hochwasser und gravitativen Massenbewegungen ist weitaus geringer als jene von Starkregen oder Dauerregen. Das hat den Grund, dass in den Niederschlagskategorien unmittelbare Folgen des Niederschlags in der Beschreibung des Ereignisses oft integriert sind, ohne dass das Ereignis in weiteren Kategorien mitgelistet wurde. Eine konkrete Untersuchung von Überflutungsfällen und Murenabgängen muss daher die Kategorien von Stark- und Dauerregen teilweise miteinander verbinden. Im Rahmen von StartClim2017.B - SEVERE wurde diese Problematik zwar erkannt und diskutiert, jedoch erfolgte noch keine Anwendung nach getrennten Kategorien.



**Abb. B- 3:** Überblick über die Ereigniskategorien in der VIOLA-Datenbank und die Art der dokumentierten Informationen. Quelle: Reisenhofer (2016).

### B-1.3.3.2 *SPARTACUS-Niederschlag*

Der Niederschlagsdatensatz SPARTACUS (spatiotemporal reanalysis dataset for climate in Austria, Hiebl und Frei (2018)) besteht aus Niederschlagsanalysen auf einem regelmäßigen Gitter mit 1 km x 1 km Maschenweite, die beginnend mit dem 01.01.1961 bis aktuell täglich verfügbar sind. Eine wesentliche Charakteristik des Datensatzes ist die Langzeit-Konsistenz. Daher werden für die Interpolation ausschließlich Stationsmessungen verwendet und zwar nur solche, die bestimmte Kriterien hinsichtlich ihrer langjährigen Verfügbarkeit erfüllen.

Im Zuge des Interpolationsprozesses werden klimatologische Hintergrundfelder des mittleren monatlichen Niederschlags mit täglichen Niederschlagsfeldern verknüpft. Diese Vorgangsweise hat den Vorteil, dass für die Hintergrundfelder ein wesentlich dichteres Messnetz verwendet werden kann (2.614 Stationen der meteorologischen und hydrologischen Dienste, davon 1.249 in Österreich) als für die täglichen Felder (523 Stationen) und die Ansprüche an die Langzeitkonsistenz dennoch erfüllt werden können.



Für die Hintergrundfelder wurden Daten der 30-jährigen Periode von 1977-2006 herangezogen und das geostatistische Interpolationsverfahren „Kriging mit externer Drift“ (KED, siehe z.B. Schabenberger und Gotway, 2005) angewendet, das außer den Stationswerten noch topographische Prediktoren miteinbezieht. Die täglichen Niederschlagsstrukturen wurden als Anomalien auf die Hintergrundfelder aufgeprägt. Die geschah unter Verwendung des sog. SYMAP-Schemas (Shepard, 1984), eines Winkeldistanz-gewichteten Interpolationsschemas, das von Frei und Schär (1998) an die Bedingungen einer sehr variablen Stationsdichte, wie sie etwa im alpinen Raum vorherrscht, angepasst worden war.

## B-2 Literaturrecherche und fachliche Expertisen

Für die Verknüpfung von Niederschlagsdaten und Naturgefahrenereignissen bzw. Folgeschäden ist es wichtig die Ursachen der Naturgefahrenereignisse und insbesondere die Rolle der Niederschlagseinwirkung darin zu kennen. In vielen Fällen sind es weniger einzelne Faktoren, die Murgänge, Hangrutschungen und Überflutungen auslösen, als eine Verkettung mehrerer Bedingungen, die zum Ereignis führen. Dazu gehören sowohl topographische als auch geologische Eigenschaften der betroffenen Gebiete, die langfristig kaum Veränderungen unterliegen, als auch Landnutzung, die die Disposition eines Gebietes für Naturgefahren sprunghaft verändern kann. Des Weiteren gibt es Ursachen, die stark saisonalen Schwankungen unterliegen als auch die mittel- und kurzfristigen hydrometeorologischen Einflüsse, die sowohl zeitlich und räumlich höchst variabel sind.

Besonders die beiden letztgenannten haben aus klimatologischer und meteorologischer Sicht große Bedeutung, da sie das Bindeglied zwischen atmosphärischen Einflüssen und Gefahrenereignis darstellen. Je nach dem betrachteten Zeithorizont wird hier zwischen Boden-Vorbefeuchtung (Tage bis Wochen vor dem Ereignis) und Auslöseniederschlag (Stunden bis max. 3 Tage vor dem Ereignis) unterschieden.

Im Projekt StartClim2017.B - SEVERE wurden große Anstrengungen unternommen fachspezifische Informationen über Vorbefeuchtung und Auslöseniederschläge für kleinräumige Naturgefahrenereignisse zu sammeln und auszuwerten, die eine robustere Verschneidung von atmosphärischen Daten und Ereignis- und Schadinformationen ermöglichen sollen. Die zwei Wege, die dabei beschränkt wurden, waren 1.) Interviews mit fachlichen ExpertInnen aus Hydrologie, Geomorphologie wie auch mit MeteorologInnen, die ihre Erfahrung in der Thematik zur Verfügung stellen konnten, und 2.) eine ausgedehnte Literaturrecherche.

### B-2.1 Fragestellung für die Recherche

Die im Folgenden aufgelisteten Fragestellungen zu den Punkten „Auslöseniederschlag“, „Vorbefeuchtung/Bodenfeuchte“, „weitere physische Faktoren“ und „Datengrundlage“ dienen als Richtschnur, sowohl für die Befragung der ExpertInnen als auch für die Literaturrecherche.

- **Auslöseniederschlag:** Auf welche Zeiträume (Minuten, Stunden, Tage) muss der Niederschlagseinfluss eingegrenzt werden, um ihn eindeutig dem Naturgefahrenereignis (insb. Muren, Hangrutschungen, Sturzfluten) zuordnen zu können? Inwieweit zeigen sich räumliche Ähnlichkeiten die entsprechende (höhenabhängige) Regionalisierungen empfehlen?
- **Vorbefeuchtung/Bodenfeuchte:** Welche Rolle spielen die Vorbefeuchtung und Bodenfeuchte für die Entstehung und Intensität von Überflutungen/Muren Hangrutschungen? Welche Zeiträume vor dem Ereignis sind hier von Bedeutung? Ist die zeitliche Relation zwischen lokalem Niederschlag und der Veränderung der Bodenfeuchte bekannt oder ableitbar?
- **Weitere physische Faktoren:** Welche weiteren mitauslösende physische Faktoren wie z.B. Hangneigung, -länge und -exposition, Bodeneigenschaften (Versiegelungsgrad, Porosität, Schichtung), Landnutzung im Auslösegebiet und Impactgebiet, regionale Änderungen der Flächenwidmung (reaktive sowie prophylaktische Anpassung der Gefahrenzonen) und Abflusseigenschaften sind für die Entstehung von Überflutungen, Muren und Hangrutschungen von Bedeutung?

Welchen Stellenwert bei der Auslösung der Ereignisse haben sie im Vergleich zum Niederschlag?

Wie sehr sind die weiteren physischen Faktoren zeitlich veränderlich? Gibt es Abschätzungen darüber, wie sich diese Einflussgrößen im Zuge des Klimawandels und der kontinuierlichen Veränderung der Flächenwidmung in Zukunft verändern könnten? Existieren regionale oder länderübergreifende Konzepte, die mittelfristige Strategien (Verbindlichkeitsstatus) empfehlen? Falls ja, auf welchen umwelt- und sozio-ökonomischen Annahmen basieren sie?

- **Datengrundlage:** Welche Datenquellen können für diese Faktoren herangezogen werden, um entsprechend aussagekräftige Indizes zu generieren und Ereignisse zu analysieren? Gibt es Daten/Karten, die flächendeckend zur Verfügung stehen, oder sind diese eher lokal oder regional begrenzt?

Ist die räumliche Auflösung der Daten für die gewünschten Zwecke ausreichend?

Gerade bei kleinräumigen Ereignissen kann der auslösende Ereignisniederschlag nur ungenau abgeschätzt werden. Kann diese Schätzung eventuell mit Abfluss und Pegelmessung ergänzt werden?

## B-2.2 ExpertInneninterviews

**Tab. B- 3:** Auflistung der fachlichen Expertisen, die in die Recherche eingeflossen sind.

Name(n)	Institution	Fachgebiet, Thema
Dr. Roland Kaitna	BOKU, Institut f. Alpine Naturgefahren	Geomorphologie, Auslöseniederschläge für Wildbachgefahren
PD Juraj Parajka, PhD DI Dr. Jürgen Komma	TU-Wien, Institut f. Wasserbau und Ingenieurhydrologie	Hydrologie, Möglichkeiten der Modellierung von kleinräumigen Überflutungen
Katharina Schröer, MSc.	Karl Franzens-Universität Graz, Wegener Center für Klima und Globalen Wandel	Meteorologie, Erfahrung mit Verschneidung von Versicherungsdaten und Extremniederschlägen
Dr. Nils Tilch	Geologische Bundesanstalt, Abteilung Ingenieurgeologie	Geologie, Prozessarten d. gravitativen Massenbewegungen
Mag. Harald Schellander	ZAMG, Kundenservice Tirol und Vorarlberg	Meteorologie, Erfahrungen mit dem Murenwarnsystem MUWA
DI Dr. Doris Damyanovic DI Karin Weber Dr. Maria Papathoma-Köhle DI Susanna Wernhart	BOKU, Institut f. Landschaftsplanung BOKU, Institut f. Alpine Naturgefahren	Sozio-ökonomische Aspekte von Extremereignissen, Vulnerabilität

### B-2.2.1 Erkenntnisse über die Auslösung von Wildbachgefahren

Bei dem Treffen mit Dr. Kaitna wurde im Wesentlichen über die Erkenntnisse aus dem Projekt DEUCALION II („Determination of past and future meteorological trigger conditions of torrential processes at different temporal and spatial scales“, ACRP 2015-2018) gesprochen. Für das Projekt SEVERE war dabei besonders von Bedeutung zu erfahren, unter welchen Niederschlags- und Bodenfeuchte-Bedingungen Wildbachgefahren, d.h. kleinräumige Hochwasser und Muren, extreme Sedimenttransporte und murartige Abflüsse (Kaitna, 2017), ausgelöst werden können.

Im Rahmen des Projektes wurden u.a. Modellierungen mit konzeptionellen Niederschlags-Abfluss-Modellen unter Verwendung unterschiedlicher Parameter durchgeführt (Prenner et al., 2018). Dafür wurden über einen Zeitraum von 60 Jahren und in ausge-

wählten Einzugsgebieten die Bedingungen, die Wildbachereignisse auslösen können, simuliert. Angetrieben wurde das Modell hauptsächlich durch Tageswerte von Temperatur und Niederschlag und kalibriert durch Abflussmessungen über einen 30-jährigen Zeitraum.

Die Ereignisse werden im Wesentlichen durch langdauernde Niederschläge mit niedriger Intensität (etwa unter Einfluss von ausgeprägten Tiefdruckgebieten) oder durch lokale, sehr intensive Niederschläge von kurzer Dauer ausgelöst (konvektive Niederschläge). Im Frühjahr bis Frühsommer kommt noch die Schneeschmelze, oft in Verbindung mit Niederschlag, als Auslöser hinzu, während im Hoch- und Spätsommer die konvektiven Starkniederschläge aus Ursache für Wildbachereignisse dominieren (Mostbauer et al., 2017, 2018).

Bezüglich der Rolle der Vorbefeuchtung gelten je nach Auslösemechanismus (d.h. intensive, kurze Niederschläge/ langanhaltende Niederschläge/Schneeschmelze) unterschiedliche Bedingungen für die Auslösung von Wildbachgefahren. Bei konvektiven Niederschlägen hat die Vorbefeuchtung beispielsweise weniger Bedeutung als bei langdauernden Niederschlägen. Bei letzteren kann beobachtet werden, dass sich die Bodenfeuchte während oder infolge des Niederschlagsereignisses langsam aufbaut und zur Auslösung eines Ereignisses beiträgt (Prenner et al., 2018, Kaitna, 2018).

Generell wurde im Projekt festgestellt, dass die Vorhersage von Murengefährdung wesentlich bessere Ergebnisse liefert, wenn die verschiedenen Auslösemechanismen, d.h. Dauerregen oder kurzfristige Starkregen, und die hydrologischen Informationen des Einzugsgebietes mit einbezogen werden, als wenn der Niederschlag als einziger Prediktor verwendet wird.

Auch die Möglichkeiten Sub-Tagesdaten anstelle von Tagesdaten für die Analyse von Auslöseniederschlägen zu verwenden wurden in DEUCALION II getestet (Braun und Kaitna, 2018). Dabei ist einerseits die geringere Stationsdichte von Sub-Tagesdaten problematisch, andererseits zeigt sich bei den Sub-Tagesdaten eine präzisere Einschätzung der Niederschlagsintensität (höher), der Dauer (kürzer) und des Auslösezeitraums im Vergleich zu Tagesdaten.

### **B-2.2.2 Kleinräumige Überflutungen durch Starkniederschläge**

Bei dem an der TU-Wien anberaumten Treffen wurden die Teilnehmer des SEVERE Projektteams über vergangene und aktuelle Arbeiten am Institut für Institut f. Wasserbau und Ingenieurhydrologie in Bezug auf Hochwassermodellierung informiert. Dabei lag der Fokus auf kleinräumigen Ereignissen infolge kurzer, intensiver Niederschläge (Sturzfluten), da großräumige Ereignisse etwa entlang von Flussläufen meistens ohnehin schon gut untersucht sind und ein ausreichender Datenbestand über sie vorhanden ist.

Ein Teil der Information galt dem derzeit laufenden Projekt HORA 3, das 2017 gestartet wurde und bis 2020, gefördert durch das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) und den Versicherungsverband Österreich, laufen soll (<https://www.vrvis.at/research/projects/hora-3/>). Ziel des Projekts ist es Flutsimulationen in Form von Überflutungsflächen und Strömungsgeschwindigkeiten für alle österreichischen Flüsse mit sehr hoher Auflösung zu erzeugen. Dabei soll mit einer räumlichen Auflösung von 1 m x 1 m gerechnet werden, was u.a. Simulationen für Einzugsgebiete ab einer Fläche von nur 10 km<sup>2</sup> zulässt. Mit den Applikationen, die in diesem Projekt erstellt werden sollen, wird es möglich sein, das Überflutungsrisiko auch sehr kleinräumig (etwa für einzelne Gebäude) und für unterschiedliche Jährlichkeiten und auch der zeitliche Flutverlauf abgeschätzt werden kann.

Abgesehen von HORA-3 können mit einfachen konzeptionellen Modellen auch die Auswirkungen von einzelnen Niederschlagsereignissen berechnet werden. Dies wäre nach

Auskunft der Experten auch für Fälle aus der VIOLA-Datenbank möglich, die mit konzeptionellen Abflussmodellen nachgerechnet werden könnten.

Möglich wäre mit konzeptionellen Modellen u.a. auch untere und obere Niederschlags-schwellwerte für das Überflutungsrisiko zu bestimmen. Der untere Schwellwert gibt den Niederschlags an unter dem keine Überflutung zu erwarten ist, während der obere Schwellwert den Niederschlagswert darstellt, ab dem ein Risiko von annähernd 100% für einen Überflutung besteht. Dabei sind die Schwellwertberechnungen abhängig von der Art des Niederschlags, die durch Intensität und Dauer beschrieben wird, durch die lokalen Abflusseigenschaften und die Vorbefeuchtung.

Die Vorbefeuchtung und Bodenfeuchte sind Faktoren, die das Abflussverhalten lokal wesentlich beeinflussen können. Im Rahmen des Projektes SEVERE war es u.a. auch wichtig den Zeitraum einzugrenzen, der für eine Betrachtung der Vorbefeuchtung vor Überflutungsereignissen in Frage kommt. Nach Auskunft der Experten kann sich die Bodenfeuchte zwar innerhalb weniger Tage verändern, das Gedächtnis des Bodens hinsichtlich der Feuchte kann jedoch bis zu mehreren Wochen betragen.

Informationen über das regionale Abflussverhalten in Österreich können die Einschätzung regionaler und lokaler Ereignisniederschläge erleichtern und sollen in der weiterführenden Forschungsarbeit verwendet werden. In dieser Thematik wurde auf bereits vorhandene Studienergebnisse verwiesen. Gaal et al. (2012) beschrieben beispielsweise 13 räumlich eingeschränkte Regionen in Österreich (sog. „Hot spots“) mit nahezu einheitlichen Überflutungsmechanismen bezüglich der vorkommenden Niederschlagsregime, Geologie, Topographie und auch der Jahreszeit der Überflutungsereignisse. Merz et al. (2006) identifizierten sechs verschiedene Regionen in Österreich, die sich hinsichtlich der Abflussbeiwerte und des Abflussverhaltens für unterschiedliche Ereignistypen und Überflutungs-Wellenformen zusammengefasst werden können. So treten zB. in der alpinen Region in Westösterreich die meisten Überflutungsereignisse im Sommer auf und zwar in Verbindung mit Schnee- und Gletscherschmelze. Diese erhöhen die Bodenfeuchte schon vor dem Ereignis und sorgen dadurch für hohe Abflusskoeffizienten. Im östlichen Flachland hingegen überwiegen die flachen Einzugsgebiete und die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen. Das Klima ist trockener als im alpinen Bereich und der Niederschlag infiltriert in den meisten Fällen. Die Abflusskoeffizienten sind tendenziell niedrig.

### ***B-2.2.3 Erfassung von Extremniederschlagsdaten in Verbindung mit Schadensfällen aus dem Katastrophenfonds Steiermark***

Katharina Schröer, MSc. beendet zurzeit ihre Dissertation mit dem Titel „Characteristics and consequences of extreme convective rainfall events in the south-eastern Alpine forelands“ im Rahmen des „Doctoral Programme Climate Change: Uncertainties, Thresholds and Coping Strategies (DKCC)“ am Wegener Center für Klima und Globalen Wandel der Uni Graz. Im Zuge persönlicher Gespräche mit dem Team des Projektes StartClim2017.B - SEVERE wurde festgestellt, dass die Doktorandin sich mit einer den Projektinhalten sehr verwandten Fragestellung auseinandergesetzt und dadurch einiges an Erfahrung mit den Problemstellungen in SEVERE gewonnen hat. Aus diesem Grund wurde sie im Rahmen des Projekts als Interviewpartnerin zu ihrer bereits vorhandenen Expertise befragt.

Im Rahmen ihrer Abschlussarbeit wurden Schadensmeldungen des Österreichischen Katastrophenfonds aus dem Zeitraum 1990-2015 für 480 steirische Gemeinden mit sub-täglichen Niederschlagsmessungen, Abflussdaten sowie mit kategorisierten Wetterlagen verknüpft (siehe Schröer und Tye, 2018). Auf diese Weise wurde festgestellt, welche Niederschlagsmuster zu welchen Schadensausmaßen führen. Die Aufzeichnungen über die Wetterlagen ermöglichten in eine Zuordnung auch in Fällen, in denen sich keine Messstellen in unmittelbarer Nähe der Schadensortes befanden. Die Vorbefeuchtung

wurde in Form von klimatologischen Anomalien des Niederschlags jeweils 5 und 14 Tage vor dem Ereignis in den Auswertungen ebenfalls berücksichtigt. Auch Landnutzungs- und Orographiedaten flossen in die Evaluierung ein.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl der Schadensmeldungen während Wetterlagen, die tendenziell konvektive Niederschläge auslösen, ca. 1,5 – 3 mal so häufig sind, als an anderen Niederschlagstagen. Im alpinen Bereich sind die Schadensmeldungen dominiert von konvektiven Niederschlägen, da sie häufig Rutschungen und Muren auslösen. In landwirtschaftlich dominierten Gegenden hingegen sind die Schäden durch kurze Starkregen und jene durch langdauernde Niederschläge mit niedriger Intensität in etwa ausgewogen.

Weitere Erkenntnisse aus der Arbeit betreffen Auswahl der Daten und die Auswertungsmethodik und sind somit auch für weitere Forschungsvorhaben in der Thematik von Bedeutung: So zeigte sich z.B. dass die verwendeten Abflussdaten das Schadensrisiko infolge kleinräumiger, konvektiver Niederschläge nicht wiedergeben können, auch nicht in Fällen mit großem Schadvolumen. Gerade die kleinräumigen Ereignisse sind jedoch oft in den Niederschlagsmessdaten nicht sichtbar, weshalb der Stellenwert der Wetterlageninformationen wichtig ist. Dennoch stellte sich auch anhand der Wetterlagen heraus, dass es für kleinräumige Starkniederschläge nicht die einzelne signifikante Wetterlage gibt, sondern dass verschiedene Wettersituationen diese hervorrufen können. Nicht zuletzt müssen in die Analysen auch die Unsicherheiten miteinbezogen werden, sowohl in den Messdaten als auch in den Schadenberichten. Zusätzlich gibt es noch den Adaptions-Effekt zu berücksichtigen, d.h. dass infolge größerer Unwetterschäden oft in Schutzmaßnahmen investiert wurde, sodass spätere Unwetter in der Schadensstatistik gar nicht mehr aufscheinen.

#### **B-2.2.4 Gravitative Massenbewegungen, Prozessgruppen und –typen**

Der Erfahrungsweitergabe fand im Rahmen eines Impulsreferats statt, das für Masterstudenten (siehe B-1.3.2.3) an der ZAMG gehalten wurde (Tilch, 2017). Ziel des Referats war es, grundlegende Kenntnisse über gravitative Massenbewegungen und die Tätigkeiten der GBA in diesem Themenbereich zu vermitteln. Zentral für das Treffen war zudem die Frage, ob und in welchem Ausmaß es möglich ist gravitative Massenbewegungen zeitlich und räumlich eindeutig bestimmten Niederschlagsereignissen zuzuordnen.

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass gravitative Massenbewegungen sehr komplexe Prozesse mit vielen Einflussfaktoren darstellen, für die Niederschläge meist nur als indirekte, ursächliche Prozessauslöser gelten. Die Erwartungen, einfache Gesetzmäßigkeiten oder Indizes ableiten zu können, die eine Verbindung zwischen konkreten Niederschlags- und Massenbewegungsereignissen herstellen, wurden also massiv gedämpft.

Kategorisiert nach Bewegungsarten wurden gravitative Massenbewegungen des Bereichs „Fallen/Stürzen“, d.h. Steinschlag, Blocksturz und Felssturz, ausgeschlossen und die Bewegungsarten „Gleiten/Rutschen“ (Hangrutschungen) sowie „Fließen“ (Hangmuren, Erd- und Schuttströme) als eher relevant für die Fragestellung definiert. Die brauchbarsten Zusammenhänge zwischen Niederschlagseinwirkung und Auslösung seien dabei bei flachgründigen Ereignissen zu erwarten, da bei tiefgründigen Ereignissen mitunter längere Zeiträume zwischen Niederschlag und Prozessauslösung liegen können. Zudem verlaufen die Prozesse oft in zeitlich voneinander getrennten Stadien, wobei fortgeschrittene Stadien tendenziell eine höhere Disposition aufweisen als das Anfangsstadium (zB. Anriss einer Rutschung auf einem Hang).

Der Niederschlag als indirekter Prozessauslöser hat dabei zunächst Auswirkungen auf Wassergehalt und Porenwasserdruck des Bodens (direkte Prozessauslöser), wobei unterschiedliche Standorte auch unterschiedlich auf vergleichbare Niederschlagsereignisse und Vorbefeuchtung reagieren. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die

Grunddisposition, d.h. Gebietseigenschaften wie Infiltrationskapazität, Wasserspeicherkapazität und –aufnahmevermögen und die lokalen hydrologischen Systeme. Diese werden wiederum beeinflusst durch die Art der Landnutzung, den Versiegelungsgrad, künstliche Wasserführung oder etwa Makroporen (Mauslöcher). Zu den direkten Prozessauslösern und den mit ihnen verbundenen Gebietseigenschaften liegen für viele bekannte Massenbewegungen keine Informationen vor, was eine Bewertung etwa als Index schwierig macht. Zusätzlich sind gravitative Massenbewegungen derart singulär, dass ein Ereignis auch bei vergleichbarerem Niederschlagsinput am selben Standort kaum ein zweites Mal in gleicher Weise stattfindet.

Dr. Tilch wies außerdem darauf hin, dass bei vielen dokumentierten Massenbewegungen das Ereignisdatum sowie die Verortung eine große Unsicherheit aufweisen. Vermerkt sind in vielen Fällen das Meldedatum oder Sichtungdatum, da der gesamte Prozessraum, d.h. die Zeitspanne in dem die Entwicklungsstadien des Prozesses stattgefunden haben, prinzipiell nur ungenau einem konkreten Datum zugeordnet werden kann. Oft werden sichtbare Folgen der Prozesse auch erst später entdeckt und das zeitliche Ereignisfenster kann nur grob abgeschätzt werden. Auch die Verortung ist in Ereignismeldungen oft nur mit der Wohnadresse des Grundbesitzers verknüpft, nicht aber mit der geographisch genauen Position der Massenbewegung.

Ein letzter Hinweis galt scheinbar guten Zusammenhängen zwischen gravitativen Massenbewegungen und Niederschlag: Gerade in Gebieten mit hoher Grunddisposition und hoher Siedlungsdichte (als Beispiel wurde die Flyschzone in Niederösterreich erwähnt) kommt es einerseits zu einer hohen Dichte an Rutschungen, andererseits werden auch viele dieser Ereignisse aufgrund der Besiedlungsdichte detektiert. Besonders Gebietsintegrale Auswertungen von Niederschlags-Rutschungs-Zusammenhängen würden daher eher zufällig zu guten Ergebnissen führen.

### **B-2.2.5 Erkenntnisse aus der Entwicklung des Murenwarnsystems MUWA**

Das Projekt MUWA (Weiter-)Entwicklung eines meteorologischen Frühwarnsystems für Muren (Huber et al., 2014) wurde im Jahr 2013 in enger Kooperation der ZAMG mit dem BFW durchgeführt. Ziel des Projektes war es ein bestehendes einfaches Murenwarnsystem, das ursprünglich ausschließlich auf der Überschreitung von Niederschlagssummen und der Überschreitung von Dauerstufen basierte, hinsichtlich nichtmeteorologischer Faktoren wie Bodeneigenschaften und Landnutzung zu erweitern. Aus meteorologischen und topographischen Kennwerten sollte für sieben ausgesuchte Gebiete im Raum Tirol und Salzburg eine regionale statistische Vorhersagefunktion für die Wahrscheinlichkeit von Murereignissen abgeleitet werden. Dabei wurde das Warnsystem anhand von 28 gut dokumentierten Murereignissen aus dem Zeitraum 2004-2012 kalibriert und validiert.

Die aus MUWA abgeleiteten Informationen, die besonders für SEVERE von Bedeutung sein konnten, betrafen vor allem die Unsicherheiten, die bezüglich Dauer der Auslöseniederschläge und der Verortung der Niederschlagsinformation in Kauf genommen werden können. Diese Fragen wurden teils mit Harald Schellander persönlich diskutiert, teilweise wurden die Empfehlungen aus dem detaillierten Endbericht (Huber et al., 2014) abgeleitet.

Die meteorologischen Daten stammten aus hochaufgelösten INCA-Niederschlagsanalysen, die alle 15 Minuten auf einem 1 km x 1 km – Raster produziert werden. Für die Untersuchung der ausgewählten Murgangereignisse wurde jeweils das Maximum der 15-minütigen Niederschlagssummen über alle Gitterpunkte im jeweiligen Untersuchungsgebiet verwendet. Zusätzlich wurden Niederschlagsdaten nahe gelegener Messstationen verwendet, die mit 1-minütiger Auflösung zur Verfügung stehen. Als Prediktorvariablen für die Murenvorhersage wurden gleitende Niederschlagssummen für verschiedene Dauerstufen von 15 Minuten bis 3 Tagen.

Die nicht-meteorologischen Parameter für die Vorhersagefunktion wurden von einem digitalen Höhenmodell mit einer Auflösung von 10 m x 10 m (ALS-DHM) und einem Landnutzungsdatensatz (Seger, 2001), die beide flächendeckend für die Untersuchungsgebiete vorhanden sind, abgeleitet. Sie umfassten die mittlere Abflussklasse und Oberflächenrauigkeit, sowie Auslösepunktdichten für extreme und seltene Ereignisse, jeweils für die betrachteten Flächen. Während die Abflussklasse den Anteil des Niederschlags beschreibt, der direkt zur Entstehung von Oberflächenabfluss beiträgt, bestimmt die Rauigkeitsklasse den Fließwiderstand, der sich dem Oberflächenabfluss entgegenstellt. Beide Parameter sind abhängig von Vegetationsbedeckung und Landnutzung, sowie weiteren Bodeneigenschaften und wurden jeweils einzelnen INCA-Gitterzellen zugeordnet. Die Auslösepunktdichten beschreiben wiederum die lokale Dichte je Gitterzelle von möglichen Auslöseflächen für Muren, abgeleitet aus der Topographie.

Im Zuge der Validierung der Ergebnisse stellte sich heraus, dass für manche Ereignisse die INCA-Daten im Vergleich zu den in der BFW-Wildbachdatenbank dokumentierten Ereignisniederschläge keine plausiblen Niederschlagswerte für den Auslösezeitraum zeigen. In diesen Fällen wurden einerseits die Stationsdaten herangezogen, um die Plausibilität der Werte einzuschätzen, andererseits wurden teilweise die dokumentierten Ereigniszeitpunkte verschoben, sodass sie besser zur beschriebenen Niederschlags-situation passten.

Es zeigte sich, dass die Dauer der Auslöseniederschläge für die untersuchten Ereignisse in fast allen Fällen über einer Stunde, aber im Rahmen von 24 h angesiedelt war. Die aus MUWA ermittelten Intensitäten der Ereignisse entsprachen dabei eher den jeweils unteren Bereichen für die entsprechenden Dauerstufen. Prinzipiell neigt das MUWA-System jedoch eher zu starker Überwarnung, die je nach verwendeter statistischer Methode (lineare Regression oder Diskriminanzanalyse) unterschiedliche Ausmaße annimmt.

Empfehlungen für weiterführende Arbeiten, die aus dem Projekt MUWA abzuleiten sind, sind jedenfalls, 1) dass wenn möglich Subtagesdaten für die Beschreibung der Auslöseniederschläge verwendet werden sollen und 2), dass die Niederschlagssituation möglichst anhand mehrerer vorhandener Niederschlagsdatensätze (zB einer Kombination aus gegitterten Daten und Stationsdaten) abgeschätzt werden soll. Zusätzlich wurde empfohlen, den betrachteten Niederschlagszeitraum vor einem Ereignis auf jeden Fall länger als 3 Tage anzusetzen. Einerseits werden viele der Ereignisse nicht durch kurzzeitige Starkniederschläge ausgelöst, sondern auch durch länger dauernde Niederschläge mit niedriger Intensität, andererseits ist da die Zeitspanne von drei Tagen nicht ausreichend, um die Niederschlagsvorgeschichte ausreichend zu berücksichtigen.

#### **B-2.2.6 Sozio-ökonomische Aspekte, Vulnerabilität**

Das Gespräch fand im Rahmen eines SEVERE-EXTEND-Vernetzungstreffens statt (StartClim2017.B bzw. StartClim2017.C). Ziel war es mögliche Schnittstellen der beiden StarClim-Teilprojekte zu definieren. Als eine dieser Schnittstellen wurde im Gespräch die physische Vulnerabilität der Bevölkerung identifiziert. Diese war im Projekt SEVERE bislang wenig zur Kenntnis genommen worden, da es primär um die Beschreibung der Wettersituationen ging, die zu Extremereignissen führen können. Da sich die Auswertungen in SEVERE allerdings auf Ereignisdokumentationen aus der VIOLA-Datenbank stützen, ist die Vulnerabilität unverzichtbar als Teil der Ereigniskette von den Wettereinflüssen bis zu den Schadauswirkungen anzusehen. Dies ist dadurch begründet, dass die VIOLA-Datenbank zum heutigen Stand die Informationen über wetterbedingte Extremereignisse mit Folgeschäden ausschließlich aus Medienberichten bezieht. Die enthaltenen Einträge sind daher durch Medien insofern vorgefiltert als nur jene Ereignisse in die Berichterstattung gelangen, die das Aufsehen der Bevölkerung erregt haben, sei es durch Personenschäden, beachtliche wirtschaftliche Schäden oder aber durch die Mächtigkeit des Ereignisses selbst. Ereignisse, die abseits besiedelter Gebiete oder



wichtiger Infrastruktur stattfinden, sind hingegen kaum erfasst. Für das Projektteam des Teilprojektes SEVERE war es daher von großer Bedeutung, die Begrifflichkeiten der Vulnerabilität besser kennenzulernen, auch wenn diese nicht im Fokus der eigentlichen Projektarbeit stand.

Hierfür wurde eine Übersichtsstudie (Papathoma-Köhle et al., 2011) empfohlen, die den Begriff der physischen Vulnerabilität eingrenzt und zugleich Richtlinien für die benötigten Informationen aus der Impact-Forschung beschreibt: In der Studie wird die physische Vulnerabilität definiert als der Impact durch Naturgefahren auf Gebäude und Infrastruktur, unabhängig vom sozialen, rechtlichen oder kulturellen Hintergrund der Bevölkerung. Diese Definition erleichtert die Erstellung von Gefahrenschwellwerten, da nicht die Frage im Fokus steht, ab welchem Schwellwert eines Ereignisses mit all seinen Folgeaspekten Gegenmaßnahmen seitens der Bevölkerung ergriffen werden sollen. Vielmehr können die Vulnerabilität und die Intensität von Ereignissen wie Vermurungen und Überflutungen direkt in Beziehung gesetzt werden. Dabei ist es wünschenswert, dass die Intensität des Ereignisses detailliert beschrieben wird, wie etwa durch Geschwindigkeit und Höhe der Ablagerungen bei Vermurungen, oder Fließgeschwindigkeit und Überflutungshöhe bei Überflutungen. Dadurch können die Gebäudeschäden gezielter abgeschätzt werden. Bei der Erhebung der physischen Vulnerabilität ist es dennoch wichtig, die Qualität der lokalen Gebäudesubstanz und die lokale Häufigkeit der Extremereignisse sowie ihrer Intensität zu kennen. Nur so können die Informationen geographisch aufbereitet werden und für Entscheidungsträger von Nutzen sein.

### **B-2.3 Literaturrecherche**

#### ***B-2.3.1 Literatur gravitative Massenbewegungen***

Niederschlagsschwellwerte, die für die Auslösung von Muren und Hangrutschungen in Frage kommen, werden zumeist aus dokumentierten historischen Ereignissen abgeleitet (empirische Schwellwerte). In der Literatur werden überwiegend Intensität-Dauer-Schwellwerte verwendet, wobei häufig auch die Bodenfeuchte und die hydrologischen Bedingungen berücksichtigt werden. Ein ausführlicher Review über die Methodik und Grundzüge zur Schwellwertbestimmung ist in Guzzetti et al. (2007) zu finden, der sich hauptsächlich auf Mittel- und Südeuropa bezieht, jedoch auch einen Überblick über weitere Studien zum Thema Auslöseniederschläge weltweit bietet (siehe auch Guzzetti et al., 2008).

Prinzipiell wird zwischen globalen, regionalen und lokalen Schwellwerten unterschieden. Dabei beschreiben die globalen Schwellwerte universelle Vorbedingungen zur Auslösung von Muren, die regionalen Schwellwerte werden für Gebiete bis einige 1000 km<sup>2</sup> definiert, die einheitliche meteorologische, klimatische und topographische Merkmale aufweisen. Lokale Schwellwerte beziehen sich auf die konkreten klimatischen und geomorphologischen Bedingungen vor Ort.

Während regionale und lokale Schwellwerte potentiell für die Murenvorhersage und -warnungen geeignet sind, sind diese mit globalen Schwellwerten nicht möglich. Die Zielvorstellung ist es Schwellwerte zu generieren, die einen Wertebereich für die Ereignisse angeben, also ein Minimum, unter dem Ereignisse nicht zu erwarten sind, und ein Maximum, über dem Ereignisse nahezu sicher eintreten. Bei der Auswertung von Schwellwerten aus verschiedenen Studien stellten Guzzetti et al. (2007) fest, dass lokale Schwellwerte zumeist etwas höher liegen als regionale, und globale Schwellwerte sich hauptsächlich auf eine absolute Untergrenze zur Auslösung von Mureneignissen beziehen. Sehr unterschiedlich sind in den ausgewerteten Studien jedoch 1.) der Zeitraum, in dem der Ereignisniederschlag gemessen wird und 2.) die Berücksichtigung von Vorbefeuchtung und Bodenfeuchte. Dies sind Umstände, die sich auf die abgeleiteten Schwellwerte auswirken.

Eine detaillierte Auseinandersetzung mit Niederschlagsschwellwerten und ihren Unsicherheiten für die Auslösung von Muren ist in Perucacci et al. (2017) zu finden. Dazu wurden über 2000 hauptsächlich flachgründige Murereignisse und die jeweiligen Auslöseniederschläge in ganz Italien evaluiert, wobei Einschränkungen bezüglich der Entfernung der Niederschlagsstationen vom Ereignisort und die Genauigkeit der zeitlichen Einordnung des Ereignisses angewendet wurden. Die Ergebnisse wurden nach bestimmten Kriterien, darunter auch für unterschiedliche klimatische Regionen und Gebiete mit einheitlichen Niederschlagsregimen (abhängig vom jährlichen Niederschlag aufbereitet). Bezüglich der Unsicherheiten der Schwellwerte legen die Ergebnisse nahe, besser eine größere Datenbasis, dafür in einer größeren Region als Grundlage zu verwenden als eine kleinere Datenbasis für ein lokal begrenztes Gebiet.

Marra et al. (2017) untersuchten die Bedeutung der räumlichen Aggregation von Niederschlagsdaten für die Bestimmung von Auslöseschwellwerten. Ausgehend von der Annahme, dass Schwellwerte auf der Basis von Niederschlagsmessungen an Station eher zur Unterschätzung neigen, wurden diese mit Schwellwerten auf der Basis von aggregierten Radardaten mit Gitterweiten von  $1 \text{ km}^2$ - $20 \text{ km}^2$  verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Verwendbarkeit von aggregierten Daten im Vergleich zu Stationsdaten einerseits abhängig von der Intensität des Niederschlags und andererseits von der Gitterweite der aggregierten Daten, sowie der Dichte des verglichenen Stationsnetzes ist. So sind laut Marra et al. (2017) die Schwellwerte aggregierter Niederschlagsdaten auf einem  $20 \text{ km}$ -Gitter mit jenen von Stationsdaten mit einer Dichte von  $1/10 \text{ km}^2$ . Als Vorteil, den die Verwendung von aggregierten Daten bietet, wurde die höhere Konsistenz der Ergebnisse genannt.

Vessia et al. (2014) stützten sich hingegen auf Zeitreihen von Niederschlagsstationen, um den effektiven Niederschlag für ein Murereignis zu identifizieren. Dabei wurden einerseits die mittlere Niederschlagsintensität für den Monatszeitraum vor dem jeweiligen Ereignis und andererseits der kumulierte Ereignisniederschlag und die Niederschlagsdauer berücksichtigt. Auf Basis dieser Parameter wurde mit weiteren Variablen, angepasst an die regionale Klima- und Niederschlagscharakteristik, eine automatisierte Anwendung zur Identifizierung von Ereignisniederschlägen entwickelt. Diese zeigte auf nationaler (Italien) und regionaler Ebene gute Ergebnisse. Die Autoren schränkten jedoch ein, dass die Kalibrierung der Methodik auf einer möglichst großen Anzahl von gut dokumentierten Ereignissen erfolgen sollte.

Ein Murenfrühwarnsystem für die Region Kampanien stellten Piciullo et al. (2017) vor. Auf Basis dokumentierter Murereignisse und den zugeordneten Auslöseniederschlägen wurde eine Reihe von empirischen Schwellwertgleichungen kalibriert und evaluiert. Diese enthalten neben den Niederschlagsbedingungen auch Informationen über die regionale hydrologische Situation. Das resultierende Warnsystem kann verwendet werden, um Murenwarnungen für die folgenden 6h entsprechend dreier Warnlevel herauszugeben. Je höher das Warnlevel, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Mure. Dabei orientieren sich die Level an bestimmten Kombinationen von akkumuliertem Niederschlag und Niederschlagsdauer.

### ***B-2.3.2 Literatur kleinräumige Überflutungen***

Bei der Literaturrecherche bezüglich Überflutungen lag der Fokus hauptsächlich auf den kleinräumigen Überflutungen, die infolge von Starkregen sehr rasch auftreten können, sog. Sturzfluten (engl. „flash floods“). Gaume et al. (2009) beschreiben etwa, dass die Mechanismen von Sturzfluten noch nicht restlos geklärt sind. Gemeinsam ist Sturzfluten, dass meist Niederschläge mit mehr als  $100 \text{ mm}$  innerhalb weniger Stunden die Auslöser sind, und dass sie oft nur eingeschränkte Gebiete betreffen (Größenordnung  $10 \text{ km}^2$  –  $100 \text{ km}^2$ ). Die Vorhersage von Sturzfluten ist sehr schwierig, und die Vorlaufzeit

sehr kurz, da Sturzfluten zumeist durch konvektive Niederschläge ausgelöst werden, die ebenfalls nur sehr kurzfristig und ungenau prognostiziert werden können. Aufgrund der Auslösebedingungen treten extreme Sturzfluten in Mitteleuropa am ehesten im Spätfrühling und Sommer auf. Sie treten nicht selten auf üblicher Weise trockenen Flächen auf in Verbindung mit Abfluss-Raten, die jene anderer Überflutungsmechanismen übersteigen. Die Bodenfeuchtebedingungen und die hydraulischen Eigenschaften des Bodens wirken sich dabei oft direkt auf die Generierung des Abflusses aus (Borga 2010, 2011).

Um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Sturzfluten in einer Region zu beschreiben, wird u.a. auf den Begriff der „Flashiness“ (Baker et al., 2004) zurückgegriffen, d.h. der kurzfristigen Änderung der Abflusseigenschaften von Bächen und Flüssen. Holko et al. (2011) beschreiben den von Baker et al. entwickelten Flashiness-Index von Gebirgsbächen in der Slowakei und Österreich, der den Abfluss auf Tagesbasis in Relation zum mittleren Abfluss setzt. Es zeigt sich, dass die Flashiness positiv beeinflusst, d.h. verstärkt, wird durch die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen und die Hangneigung des Einzugsgebietes. Negativ auf die Flashiness wirken sich hingegen ein hoher Basisabfluss und die Größe des Einzugsgebietes aus. Die Schneebedeckung eines Einzugsgebietes spielt eine eher untergeordnete Rolle.

Auch die Landnutzung und Geologie haben Einfluss auf die Neigung zu Sturzfluten in einem Einzugsgebiet. Während versiegelte Flächen das Sturzflutrisiko erhöhen, wirkt sich Waldbestand zumeist mildernd auf das Sturzflutrisiko aus. Für landwirtschaftlich genutzte Flächen sind die Ergebnisse ambivalent. Eine verstärkte Neigung zu Sturzfluten ist zudem in Gebieten mit Flysch-Formationen Kalkgestein und Tertiärer Geologie zu finden, eine verminderte Neigung bei kristalliner und quartärer Geologie.

Nicht vernachlässigt werden dürfen laut Holko et al. (2011) etwa auch Kraftwerksanlagen im Einzugsgebiet, da diese den Abfluss bedarfsweise verändern können und somit Auswirkungen auf den Flashiness-Index haben.

Grillakis et al. (2016) untersuchten die Einfluss der Bodenfeuchte auf die Magnitude von Sturzfluten, teils in Kreta, teils in anderen Gebieten wie etwa Rastenbergl im Kamp-Einzugsgebiet in Niederösterreich. Im Unterschied zu Kreta wurde in Niederösterreich ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen der Bodenfeuchte zu Beginn der Niederschlagsereignisse und dem maximalen Abfluss gefunden, was laut Autoren auf die sandige Bodenstruktur zurückzuführen sein dürfte. Der Abfluss steigt zudem immens an, sobald die Speicherkapazität des Bodens erreicht ist. Die Bodenfeuchte kann daher ausschlaggebend dafür sein, ob ein heftiges Gewitter zu einer Sturzflut führt oder nicht.

Reithofer und Humer (2016) erwähnen, dass es im Unterschied zum Gefahrenzonenplan für Oberflächengewässer keine normierte Vorgangsweise für das Sturzflutrisiko auf Hängen existiert. Bei Überflutungsflächen existieren üblicher Weise Abflussganglinien als obere Randbedingungen, nicht jedoch bei Sturzfluten, da sich der Abfluss erst in der Fläche direkt aus dem Regen bildet und räumlich verteilt abfließt. Dadurch ereignet sich die Überflutung schon im Einzugsgebiet selbst und kann nur auf Basis eines hydrodynamischen Modells erfasst werden (Humer et al., 2015). Reithofer und Humer (2016) entwickelten ein 2D-Strömungsmodell mit dem etwa die maximale Überflutungstiefe auf Basis eines 100-jährlichen Ereignisses bei 60 Minuten Dauer. Sie verwenden dabei Daten als Eingangsparmeter, die hauptsächlich Internet verfügbar sind und dadurch von jeglichen Nutzern verwendet werden können. Einige ihrer wichtigsten Quellen sind etwa Bemessungsniederschläge, ALS-Daten (digitales Geländemodell mit Gebäude-Layer), CORINE-Landnutzungsdaten und Durchlässigkeitsbeiwerte des Bodens.

### **B-2.4 Zusammenfassung: ExpertInnengespräche und Literaturrecherche**

Im Folgenden sind in einigen Punkten die wichtigsten Erkenntnisse aus den Gesprächen mit externen ExpertInnen und aus der Literaturrecherche zusammengefasst. Es

handelt sich besonders um jene Aspekte, die in weiterführenden Forschungsvorhaben zur Thematik „Naturgefahren und Niederschlagseinfluss“ berücksichtigt werden sollen.

- Die Betrachtung des Niederschlags als Auslöser von gravitativen Massenbewegungen ist nicht für alle Prozesstypen von Massenbewegungen sinnvoll: Empfohlen wird die Beschränkung auf flachgründige Hangrutschungen und Muren.
- Die Evaluierung getrennt nach Auslösemechanismen, d.h. infolge von langdauernden Niederschlägen mit niedriger Intensität, konvektiven Starkniederschlägen und Schneeschmelze hat größere Aussicht auf Erfolg als die Evaluierung unabhängig von der Art des Niederschlagseinflusses.
- Ziel der Niederschlagseinschätzung sollte es sein, Schwellwerte zu ermitteln, bei deren Unterschreitung kein Risiko von Naturgefahren zu erwarten ist bzw. bei deren Überschreitung Schäden durch Naturgefahren mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind.
- Die Unsicherheiten bezüglich Zeitraum und Ort eines Naturgefahrenereignisses wie auch des Niederschlagseinflusses müssen in die Auswertungen miteinbezogen werden.
- Wenn möglich sollten verschiedene Datensätze kombiniert werden, um den Niederschlagseinfluss auf ein Naturgefahrenereignis möglichst genau zu erfassen: Tagesdaten und Subtagesdaten, Stationsdaten und gegitterte Datensätze, Datensätze mit Langzeitkonsistenz und solche mit kürzeren Beobachtungsperioden, dafür aber mit erweiterter Datenbasis (zB. Radardaten).
- Die Vorbefeuchtung, entweder abgeleitet vom zeitlichen Verlauf der Niederschlagssituation vor dem eigentlichen Ereignis oder durch Bodenfeuchtedaten sollte unbedingt mit einbezogen werden.
- Die klimatologischen Anomalien der Vorbefeuchtung sind dabei eine wichtige Zusatzinformation.
- Kenntnisse der topographischen, geologischen und hydrologischen Eigenschaften, sowie der Landnutzung der betroffenen Gebiete sollten die Auswertung des Niederschlagseinflusses auf Naturgefahren unterstützen. Die von den FachexpertInnen empfohlene Literatur bietet dafür einen guten Ansatz, ebenso digitales Kartenmaterial, das online zur Verfügung gestellt wird.
- Auch wenn es für die Entstehung kleinräumiger, konvektiver Niederschläge nicht eine einzelne typische Großwetterlage gibt, so kann doch zwischen Wetterlagen unterschieden werden, die derartige Ereignisse tendenziell ausschließen oder aber mit Risiko für konvektive Ereignisse verbunden sind. Zusätzlich ist es wichtig, den Verlauf der Wetterlagen sowie der atmosphärischen Stabilität mit einzu beziehen.

### **B-3 Verknüpfung von Schadberichten mit Ereignisniederschlägen**

Dieser Teil des Projekts diente dazu einen Ausgangspunkt für weiterführende Arbeiten in der Thematik Schadensfälle infolge von Extremwetter zu definieren. Dabei ging es einerseits um die Verwendbarkeit der schon vorhandenen Datensätze (hauptsächlich, VIOLA und SPARTACUS, teils auch INCA auf Tagesbasis) um verwertbare Aussagen zu erzielen und andererseits um ein erstes technisches Set-up der Verknüpfung dieser beiden Datensätze. Dem Rahmen des Projektes entsprechend, wurden die im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte und Auswertungen nur exemplarisch an einem zeitlich und räumlich eingeschränkten Datensatz ausgeführt. Dennoch lassen sie wertvolle Rückschlüsse darauf zu, welche Schritte für eine Erweiterung der Arbeit (siehe B-4) sinnvoll und notwendig sind.

Für die Verknüpfung der Daten wurden zuerst Voraussetzungen für die korrekte Verortung der Ereignisse am SPARTACUS-Gitter geschaffen. Exemplarisch wurde ein Bundesland, Salzburg, ausgewählt, um die Evaluierungsmethode und die Verknüpfung der Daten zu testen. Ein Großteil der Einträge in der VIOLA-Datenbank ist auf Gemeinde-Ebene verortet, geringere Anteile auf Bezirks- oder Landesebene oder anhand markanter Punkte wie Flussläufe, Straßenabschnitte oder Gebirgsmassive. Verortungen auf Bezirks- und Länderebene sind für die Betrachtung kleinräumiger Extremereignisse zu grob und für die genannten Kategorien von markanten Punkten bedarf es einer Zuordnung zu repräsentativen Punkten in SPARTACUS, die einen höheren Aufwand erfordern würden. Daher wurden für die hier beschriebenen Auswertungen ausschließlich Einträge aus der VIOLA-Datenbank ausgewählt, die auf Gemeinde-Ebene verortet sind. Um diese mit SPARTACUS-Daten zu verschneiden wurden auf Basis von Gemeinde-Shapes (politische Grenzen) Masken für das SPARTACUS-Gitter erstellt.

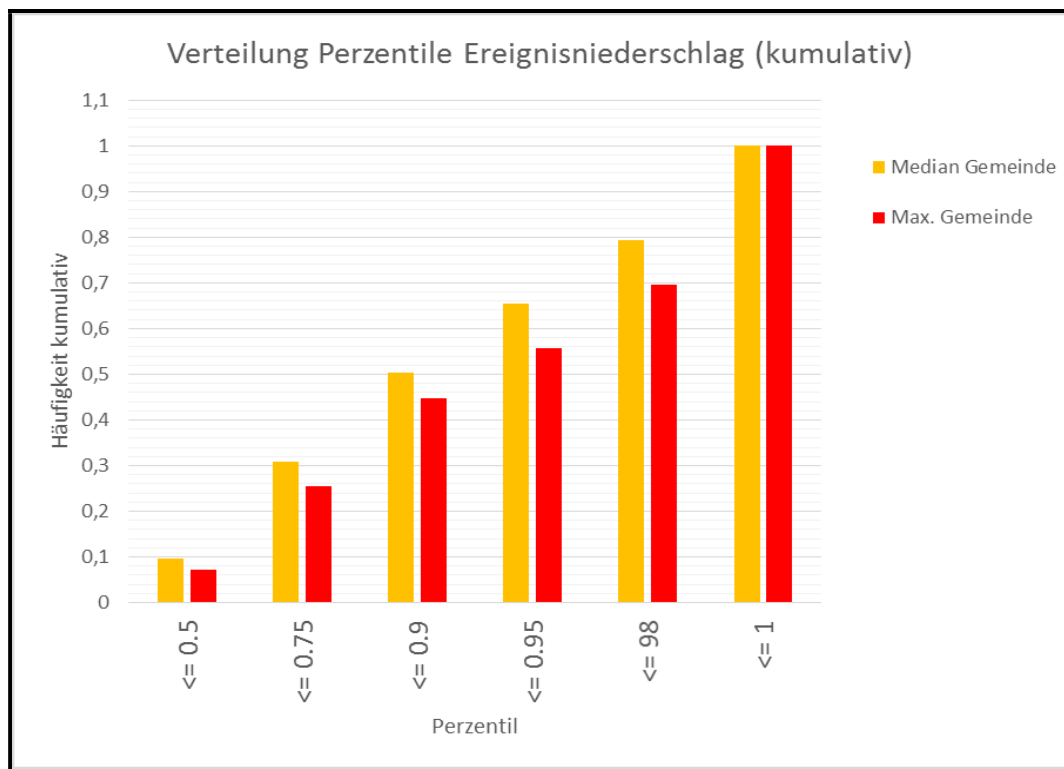
Niederschläge von kurzer Dauer und hoher Intensität kommen am häufigsten in den Sommermonaten vor. Obwohl sich die konvektive Saison häufig von Mai bis September erstreckt, wurden in erster Näherung nur Ereignisse aus den Monaten Juni, Juli und August ausgewählt, und, um den Rechenaufwand gering zu halten, und vorerst nur Ereignisse aus den Jahren 2001-2017. Um Ereignisse infolge von Dauerregen auszuschließen wurden Einträge, zwischen deren dokumentiertem Beginn und Ende mehr als 24h lagen, nicht in der Evaluierung berücksichtigt. Des Weiteren wurde darauf Rücksicht genommen, dass der Tagesniederschlag in den SPARTACUS-Daten sich auf den Zeitraum von 7h bis 7h des Folgetages bezieht. Dadurch wurden auch Ereignisse ausgeschlossen, die mehr als einen jener 24h-Zeiträume betrafen. Durch die Konzentration auf die konvektive Saison, die von zahlreichen Niederschlagsereignissen von kurzer Dauer in den Nachmittags-, Abend- und Nachtstunden geprägt ist, betraf diese Einschränkung allerdings nur wenige Ereignisse. Insgesamt wurden im Rahmen von SEVERE 166 Fälle aus dem Raum Salzburg untersucht. Aufgrund der teilweisen Miteinbeziehung anderer Schadkategorien in die unter Niederschlag kategorisierten Fälle (siehe B-1.3.3.1), wurden die Kategorien Niederschlag, Oberflächen- bzw. Hochwasser und gravitative Massenbewegungen bei dieser ersten Auswertung nicht getrennt behandelt.

Die derart selektierten SPARTACUS-Ereignisdaten bestanden jeweils aus den Tageswerten der Gitterpunkte, die sich innerhalb oder am Rande der jeweiligen Gemeindegrenzen befanden. Zusätzlich wurden an jedem Gitterpunkt zu Vergleichszwecken eine klimatologische Niederschlagsverteilungen berechnet sowie die 14 Tage vor dem Ereignisdatum extrahiert. Aus diesen Werten wurden die in (Tab. B- 4) gelisteten Maße zu Niederschlagseinschätzung berechnet.

**Tab. B- 4:** Maße zur Bewertung des Ereignisniederschlags aus Spartacus auf Gemeindeebene

Gitterpunkt- werte	Akkumulierte Niederschläge vor dem Ereignis	14d, 10d, 7d, 5d, 3d
	Niederschlagsperzentile aus der Klimatologie	75%, 90%, 95%, 97%, 99%, 99,5%
	Absolutes Maximum	
	Perzentilwert des Ereignisniederschlags	
Gemeinde- werte	Perzentil des Ereignisniederschlags	Gemeindeminimum, -median, -maximum
	Absolutwerte des Ereignisniederschlags	Gemeindeminimum, -median, -maximum

In Abb. B- 4 ist die kumulative Verteilung der Perzentilwerte der extrahierten Ereignisniederschläge abgebildet. Es zeigt sich, dass die in VIOLA erfassten Schadensfälle nur zu einem Teil durch intensiven Starkniederschlägen zu erklären sind. Nur etwa 50% der Ereignisniederschläge können einem Perzentilwert von über 95% d.h. etwa 20-jährlichen Ereignissen, zugeordnet werden. Nahezu 30% der Ereignisniederschläge erreichen nur das 75. Perzentil und entsprechen damit Ereignissen, die statistisch gesehen alle 4 Jahre auftreten. In immerhin 20%-30% der Fälle sind die Niederschläge so intensiv (Perzentilwerte über 98%), dass ihr Auftreten als sehr selten und diese damit tatsächlich als Extremereignisse eingestuft werden können. In einigen Fällen erreichten die Tagesniederschläge sogar das absolute Maximum seit 1961.



**Abb. B- 4:** Kumulative Verteilung der Perzentilwerte (d.h. der Ereignisniederschläge im Vergleich zur Klimatologie)

Bei sehr extremen Niederschlägen liegt der Zusammenhang zwischen der Niederschlagseinwirkung und den Schadereignissen nahe, auch wenn noch keine Aussagen über den Prozess, der die Schäden zur Folge hatte, berücksichtigt sind.

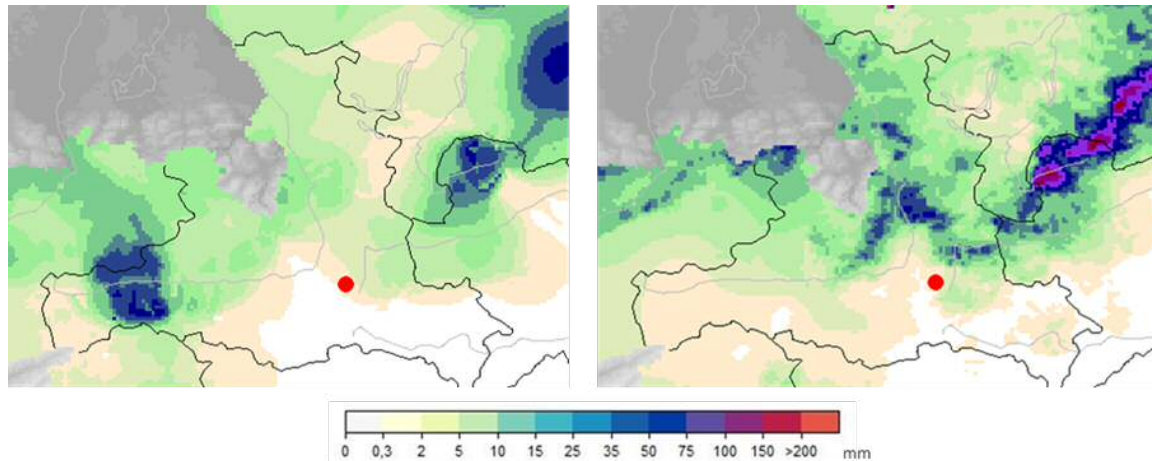
Liegen die Ereignisniederschläge nicht im extremen Bereich, dann gibt es mehrere Möglichkeiten, warum es dennoch zu dokumentierten Schäden gekommen ist:

1. Falsche Abschätzung des Ereignisniederschlags: Dies kommt vor allem in Fällen vor, in denen der Niederschlag sich nur auf ein sehr kleines Einzugsgebiet konzentriert, z.B. im Zuge einzelner Gewitterzellen, die während ihrer gesamten Entwicklung stationär bleiben und vom Messnetz nicht erfasst werden. Einen weiteren Grund kann auch die sehr kurze Dauer bei gleichzeitig hoher Intensität eines Ereignisses darstellen. Das Signal eines sehr kurzen Ereignisses erscheint möglicherweise in den Tagesdaten sehr gedämpft und fällt auf einer Dauerstufe von 24h nicht mehr in die Kategorie Extremereignis.
2. Zeitliche Verschiebung zwischen dem Niederschlagseinfluss und dem Ereignis: Oft treten die Folgen von kurzzeitigen Starkregen schon während des Niederschlags oder kurz danach auf. Im Fall von gravitativen Massenbewegungen kann die Zeitspanne zwischen dem Niederschlagseinfluss und der Auslösung des Schadereignisses auch länger, etwa mehrere Tage oder sogar Wochen dauern. Von Vorteil ist allerdings, dass Rutschungen und Muren, die nicht unmittelbar nach einem Starkregeneignis auftreten, in der VIOLA-Datenbank meistens in der Kategorie gravitative Massenbewegungen erfasst sind.
3. Der Boden ist schon vorgesättigt: In diesem Fall genügen weniger intensive Niederschläge um Muren und Überflutungen auszulösen. Die Betrachtung der Vorbefuchtung entweder durch den akkumulierten Niederschlag der Tage vor einem Ereignis oder durch die Bodenfeuchte unmittelbar vor Beginn des Ereignisses sollte daher in die Auswertungen miteinbezogen werden.
4. Komplexes Zusammenspiel mehrerer Ursachen: Topographische, hydrologische und geologische Eigenschaften sowie die Landnutzung des Ereignisgebietes spielen ebenso wie der Niederschlag eine wichtige Rolle bei der Auslösung von niederschlagsbedingten Naturgefahren. Die Kenntnis der lokalen Gebietseigenschaften erleichtert die Einschätzung des Gefahrenpotentials von Niederschlägen, auch wenn sie nicht in die extremen Perzentilbereiche fallen.
5. Fehlerhafter Eintrag in der Datenbank: In manchen Fällen kann ein fehlerhafter Eintrag in die Datenbank vorliegen, etwa ein falsches Datum oder ein falscher Ort.

Im Folgenden sind einige Fälle von niederschlagsbedingten Schäden aufgeführt, in denen die aus SPARTACUS-Daten abgeleiteten Ereignisniederschläge teils eine gute Begründung für das Auftreten von Schäden lieferten, teils jedoch auch geringer als erwartet ausfielen. Zu Vergleichszwecken wurden die Ereignisniederschläge auch aus INCA-Daten, die zusätzlich zur Stationsinformation Radardaten enthalten, extrahiert. Es zeigt sich, dass in den meisten Fällen die Schadwirkung des Ereignisses, nicht allein durch den Niederschlag geklärt werden kann. Die Niederschlagsunterschiede zwischen SPARTACUS- und INCA-Analysen fielen eher gering aus, vermutlich auch deshalb, da Radardaten besonders im Gebirge aufgrund von Abschattungseffekten oft weniger verlässliche Werte liefern als im Flachland.

### **B-3.1 Beispiel 08.06.2003 - Kleinarl, Wagrain**

VIOLA-Infotext: „Ein Gewitter mit Starkregen und Hagel ließ zahlreiche Wildbäche über die Ufer treten, die Brücken zerstörten. Einige Häuser waren von der Außenwelt abgeschnitten.“



**Abb. B- 5:** Niederschlagsanalysen (Ausschnitt Salzburg) vom 08.06.2003 aus SPARTACUS (links) und INCA (rechts). Beide Analysen erfassen den Zeitraum 8.6.2003 7h (MESZ) bis 9.6.2003 7h. Der rote Punkt markiert das von Schäden betroffene Gebiet um Kleinarl/Wagrain und zeigt, wie wenig Niederschlag in der unmittelbaren Umgebung des Ereignisses aufgezeichnet wurde.

**Tab. B- 5:** Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und - maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 08.06.2003.

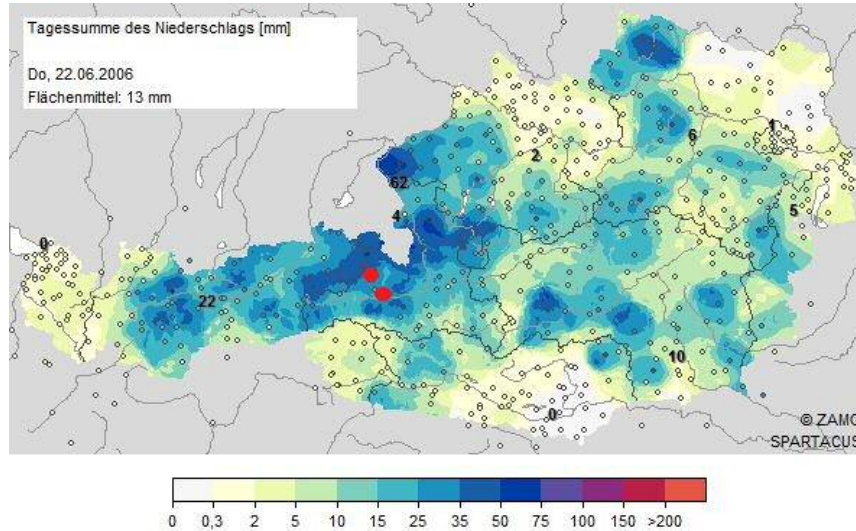
VIOLA-Incident-IDs:	10005795, 10005807					
Ereignis-Niederschlag SPARTACUS		Mittel		Median		Maximum
	Mitterkleinarl	0.96		0.80		2.30
	Hinterkleinarl	0.24		0.10		1.10
	Wagrain	1.80		1.80		1.80
Ereignisniederschlag INCA	Mitterkleinarl	1.37		0.83		3.59
	Hinterkleinarl	1.70		1.07		6.25
	Wagrain	4.28		4.28		4.28
SPARTACUS-Vorbefeuchtung		14d	10d	7d	5d	3d
	Mitterkleinarl	67.06	53.45	9.58	8.86	8.86
	Hinterkleinarl	58.58	44.64	11.93	11.41	11.41
	Wagrain	62.9	50.50	10.5	9.8	9.8

Das Beispiel vom 08.06.2003 kann auf der Grundlage der verwendeten Daten als eines der Ereignisse eingestuft werden, bei der Niederschlagseinfluss so kleinräumig ausgefallen ist, dass er von den in die Datensätze SPARTACUS und INCA einfließenden Stationsdaten (Einzelwerte sind hier nicht abgeführt, wurden aber überprüft) nicht erfasst wurde. Ebenso lässt die Vorbefeuchtung durch den Niederschlag der vorangegangenen Tage (fast kein Niederschlag in der Woche vor dem Ereignis) nicht auf eine hohe Sättigung des Bodens schließen. Anzumerken ist jedoch, dass im 2003 noch nicht alle Radarstationen in INCA erfasst waren und die Gewitterzellen daher auch nicht im INCA-Datensatz erfasst waren. Zusätzlich sind gerade im betroffenen Gebiet die Abschattungseffekte für Radardaten besonders schwerwiegend.



**B-3.2 Beispiel 22.06.2006 – Saalbach-Hinterglemm, Maishofen, Zell am See**

VIOLA-Infotext: „Im Raum Zell am See kam es während Gewittern mit Starkniederschlägen zu Überschwemmungen. In Saalbach und Hinterglemm trat die Saalach über die Ufer, aus Maishofen und Zell am See wurden Überflutungen gemeldet.“



**Abb. B- 6:** SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 22.06.2006

**Tab. B- 6:** Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und - maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 22.06.2006.

VIOLA-Incident-IDs:	10004479					
Ereignis-Niederschlag SPARTACUS		Mittel		Median		Maximum
	Zell am See	25.63		25.50		28.30
	Maishofen	25.58		25.20		29.20
	Saalbach	30.42		30.20		37.60
	Hinterglemm	34.57		34.30		44.60
Ereignisniederschlag INCA	Zell am See	23.10		23.27		26.14
	Maishofen	26.57		26.37		31.19
	Saalbach	30.42		30.20		37.60
	Hinterglemm	33.66		33.37		40.38
Spartacus-Vorbefeuchtung		14d	10d	7d	5d	3d
	Zell am See	52.52	52.42	52.42	51.06	10.88
	Maishofen	48.02	47.92	47.92	46.88	11.18
	Saalbach	51.29	51.28	51.28	49.45	14.53
	Hinterglemm	44.82	44.82	44.82	40.73	14.02

Der Niederschlag des 22.06.2006 fällt intensiv aus und bewegt sich in allen erwähnten Gemeinden um das 95%-Perzentil der Klimatologie des Tagesniederschlags, jedoch weit entfernt vom Tagesmaximum des Zeitraums 1961-2017 von etwa 80 mm/d. In der VIOLA-Datenbank ist ein Zeitraum von 24h als Ereigniszeitraum vermerkt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Niederschlag in kürzerer Zeit gefallen ist. In diesem Fall könnte die Analyse von Subtagesdaten (Stationsbeobachtungen und INCA-Analysen) weitere Erkenntnisse bringen. Auch innerhalb der vorangegangenen Tage war es in den beiden Gebieten Saalbach-Hinterglemm bzw. Zell am See/Maishofen immer wieder zu Niederschlägen gekommen, die das rasche Auftreten der im Text erwähnten Überflutungen erklären können.

### B-3.3 Beispiel 27.06.2006 – Saalbach-Hinterglemm

VIOLA-Infotext: „In Saalbach-Hinterglemm traten mehrere Bäche über die Ufer und verursachten kleinere Murenabgänge.“

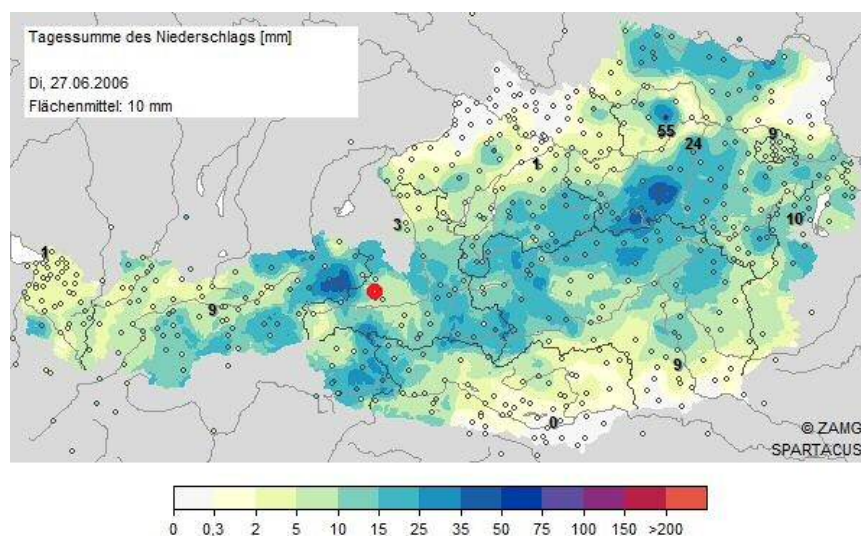


Abb. B- 7: SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 27.06.2006

Tab. B- 7: Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und - maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 27.06.2006.

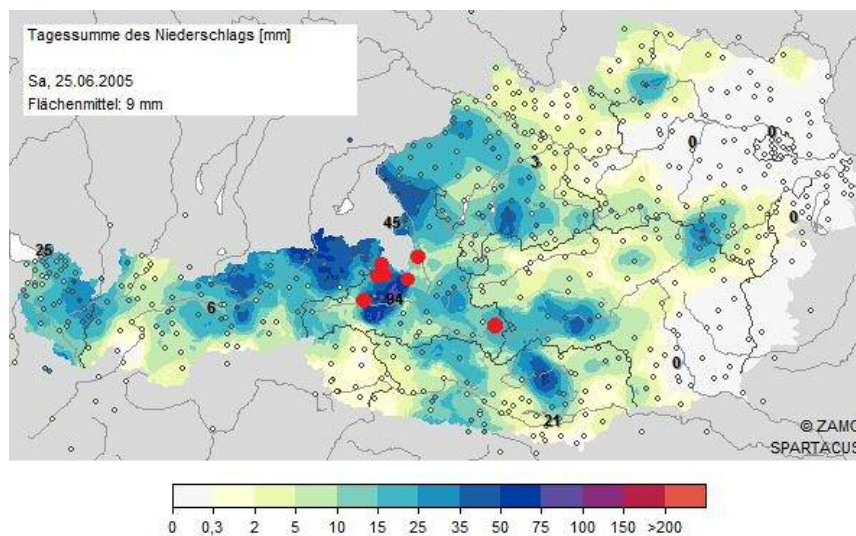
VIOLA-Incident-IDs:	10004655					
Ereignis-Niederschlag SPARTACUS		Mittel	Median	Maximum		
	Saalbach	11.12	10.80	15.40		
	Hinterglemm	12.10	25.80	37.20		
Ereignisniederschlag INCA	Saalbach	20.41	20.18	23.24		
	Hinterglemm	20.38	20.40	21.84		
Spartacus-Vorbefeuchtung		14d	10d	7d	5d	3d
	Saalbach	82.23	80.4	35.6	30.95	0.17
	Hinterglemm	80.12	76.03	40.15	35.30	0.13

Nur wenige Tage nach dem in B-3.2 erwähnten Ereignis kam es im Gemeindegebiet von Saalbach-Hinterglemm wiederum zu Schäden. Die Niederschlagssummen sind geringer als beim vorhergehenden Ereignis, allerdings ist in diesem Fall eine Dauer des

Ereignisses von nur einer Stunde vermerkt, was die beschriebene Schadenswirkung erklären kann. Die Vorbefeuchtung zumindest der drei vorangegangenen Tage kann als gering eingestuft werden. Jedoch müsste geklärt werden, inwiefern der Niederschlag der letzten 14 Tage in diesem Gebiet Einfluss auf die Überflutungen haben könnte. Auch für diesen Fall wäre das Hinzuziehen von Subtagesdaten sinnvoll.

**B-3.4 Beispiel 25.06.2005 - Maria Alm, Wals-Siezenheim, Ramingstein, Niedernsill, Maishofen, Piesendorf, Zell am See**

VIOLA-Infotext: „Gewitter haben in weiten Teilen Salzburgs am Samstagabend zu erheblichen Schäden geführt. Straßen wurden wegen Vermurungen gesperrt, Keller geflutet und Blitze lösten Brände aus. Am meisten Regen fiel im Großraum Zell am See: 71mm in 30 Minuten. Die meisten Straßen wurden bis Sonntagnachmittag von Schutt und Geröll befreit, jedoch dauerten die Aufräumarbeiten bis Montag. Der Gesamtschaden beträgt mehrere hunderttausend Euro.“



**Abb. B- 8:** SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 25.06.2005

**Tab. B- 8:** Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und - maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 25.05.2005.

VIOLA-Incident-IDs:	10005125			
Ereignis-Niederschlag SPARTACUS		Mittel	Median	Maximum
	Zell am See	53.65	54.90	60.20
	Niedernsill	32.86	34.7	48.6
	Piesendorf	51.5	51.0	58.5
	Siezenheim	35.37	35.1	37.1
	Wals	34.35	34.30	35.5
	Maishofen	52.54	52.0	64.4
	Ramingstein	14.91	14.9	21.5
	Maria-Alm	66.19	61.65	87.9
Ereignisniederschlag INCA	Zell am See	20.37	19.55	26.12
	Niedernsill	16.03	16.54	18.02

	Piesendorf	19.15	19.03	21.69		
	Siezenheim	66.94	65.81	91.65		
	Wals	62.84	58.08	91.65		
	Maishofen	35.32	28.83	77.90		
	Ramingstein	14.31	10.64	42.92		
	Maria-Alm	70.84	71.67	91.36		
Spartacus- Vorbefeuchtung		14d	10d	7d	5d	3d
	Zell am See	12.96	6.83	1.41	0.23	0.23
	Niedernsill	18.04	11.18	2.54	0.06	0.06
	Piesendorf	14.69	8.04	1.67	0.12	0.12
	Siezenheim	14.53	7.13	1.13	0.0	0.0
	Wals	11.74	6.57	1.61	0.0	0.0
	Maishofen	11.15	5.06	1.00	0.14	0.14
	Ramingstein	19.53	5.94	0.34	0.34	0.34
	Maria-Alm	9.98	3.58	0.66	0.26	0.26

Auch im Beispiel vom 25.06.2005 ist das Auftreten von Schäden aufgrund der gefallenen Niederschlagsmengen plausibel, wobei die Vorbefeuchtung aufgrund des Niederschlags der vorangegangenen Tage gering ist. Interessant ist in diesem Fall wie sehr die Niederschlagshöhen in den einzelnen Datenquellen voneinander abweichen. In Zell am See, Niedernsill und Piesendorf fallen die Tagesniederschläge aus SPARTACUS im Vergleich zu INCA mehr als doppelt so hoch aus. Dennoch bleiben beide Datenquellen unter dem in den Medienberichten propagierten 70mm in Zell am See Für die Gemeinden Wals-Siezenheim, Maishofen und Ramingstein sieht es verhält es sich umgekehrt. Hier fällt der INCA-Niederschlag deutlich höher aus als jener aus SPARTACUS. Auch dieses Beispiel zeigt, wie wichtig die Kombination mehrerer Niederschlagsdatenquellen für die realistische Darstellung des Ereignisniederschlags ist.

## B-4 Weiterführende Forschungsvorhaben

Eines der Ziele der Projektes StartClim2017,B – SEVERE war es die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projektes als Basis für die Beantragung weiterführender Forschungsprojekte zu verwenden. Im Laufe des Projekts ergaben sich zwei Anwendungsgebiete, in denen eine Weiterentwicklung besonders sinnvoll wäre: Zum einen sind diese eine anwendungsorientierte Verbesserung von Niederschlagswarnungen, zum anderen die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen zur Intensität und Häufigkeit von niederschlagsbedingten Naturgefahren. Beide bauen auf der gleichen Basis auf, nämlich einem vertieften Verständnis für die Auswirkungen kleinräumiger Starkniederschläge. Beide benötigen auch eine verbesserte Erfassung der auslösenden Niederschläge durch eine sinnvolle Kombination verfügbarer Beobachtungsdatensätze und eine fachlich fundierte Definition sinnvoll verwendbarer Prädiktoren für die verschiedenen Kategorien von Naturgefahren. Im Folgenden sind die Konzepte für die beiden geplanten Anwendungsgebiete kurz beschrieben.

### B-4.1 Anwendungsorientierte Verbesserung von Niederschlagswarnungen

Niederschlagswarnungen seitens des ZAMG-Prognosedienstes werden für Gemeinden, nach 31 Klimaregionen kategorisiert, für unterschiedliche Niederschlagsdauerstufen (6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 120h) veröffentlicht. Durch die räumliche Differenzierung mittels Klimaregionen entspricht z.B. die Spanne für das rote Warnlevel (höchste Warnstufe, „Gefahr“) für 24-stündige Niederschlagswerte in den unterschiedlichen Regionen 65mm/24h bis 110mm/24h. Dabei sind die höchsten Werte in Regionen mit hoher Stauniederschlagsneigung zu finden, gefolgt von inneralpinen Lagen. Die niedrigsten Schwellwerte sind Regionen im östlichen und südöstlichen Flachland zugeordnet. Die Berechnung der Warnstufen, die seit einigen Jahren in Verwendung sind, basiert auf Jährlichkeiten der Niederschlagssummen, die die Häufigkeit und Intensität von Niederschlägen wiedergeben. Die derzeitige Warnpraxis ist unabhängig von den potentiellen Auswirkungen des Niederschlags. Daher gibt es Bestrebungen an der ZAMG die Warnungen anwendungsorientierter zu gestalten, einerseits spezifisch für bestimmte Gruppen von Anwendern, andererseits in Hinblick auf das die Auslösung niederschlagsbedingter Naturgefahren.

Zielsetzung: Ziel des geplanten Forschungsvorhabens ist es, dem derzeitigen Warnsystem eine Plattform beizustellen, die einen aktuellen Überblick über Risikofaktoren für Muren und Überflutungen mit ausreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung bereitstellt, und dadurch dem prognostizierten Niederschlag ein Gefahrenpotential zuordnen kann.

Vorwissen: Die geplanten Arbeiten bauen einerseits auf früheren und aktuellen an der ZAMG durchgeführten Projekten auf, die sich mit Murenfrühwarnung und Extremniederschlägen beschäftigen (siehe B-1.3.2 und B-2.2.5), andererseits auf der Expertise der geplanten Partnerinstitutionen (siehe B-2.2).

Methodik: Ein zentraler Punkt des Projekts ist wie auch in StartClim2017.B – SEVERE die Verknüpfung von Naturgefahrenrisiko und Niederschlagsbedingungen. Die im vorliegenden Projektbericht erwähnten Erkenntnisse sollen hierfür die Basis bilden und mit Hilfe der fachlichen Expertise der Projektpartner verfeinert und umgesetzt werden. Auf dieser Grundlage sollen für den Niederschlag und die witterungsabhängigen Vorbedingungen ein räumlich und zeitlich variabler Schwellwertbereich bestimmt werden, die eine Einordnung der aktuellen Niederschlagsprognose in die Bereiche „kein Risiko für Naturgefahren“ bzw. „Risiko Naturgefahren“ zulässt. Diese Zuordnung soll mit archivierten Niederschlagsprognosen kalibriert und getestet werden.

Datenbasis:

1. Verknüpfte Ereignisdaten aus den Datenbanken VIOLA (ZAMG), der GBA und der Abteilung Wildbach und Lawinenverbauung des BMNT (Grundlage: Masterarbeit Enigl).
2. Beobachtungsdaten für den Niederschlag: Hierfür ist eine Kombination mehrerer hochaufgelöster Niederschlagsdaten, teils auf Tagesbasis, teils auf Subtagesbasis wünschenswert. Während die Tagesdaten die hohe räumliche Auflösung der Niederschlagsinformationen sicherstellen, können die Subtagesdaten zu Einschätzung des Niederschlagsverlaufs und der Niederschlagsdauer herangezogen werden.
  - a. Tagesdaten: SPARTACUS (1km x 1km, 1961-aktuell), INCA-Analysen (1km x 1km, 2003-aktuell), Klimastationen der ZAMG, Niederschlagsdaten der österreichischen hydrographischen Dienste
  - b. Subtagesdaten: INCA-Analysen (15-minütig), CAESAR-Hindcast-Daten für Österreich (9km x 9km, stündlich, seit 1981-aktuell, siehe Anders et al., 2017), TAWES-Stationsdaten der ZAMG (10-minütig)
3. Datensätze zur Abschätzung der Bodenfeuchte/Vorbefeuchtung:
  - a. Akkumulierte Niederschlagsdaten aus den in 2. genannten Datensätzen
  - b. WINFORE-Datensatz der potentiellen Verdunstung in Österreich ( 1km x 1km-Gitter, Tagesdaten, 1961-aktuell)
  - c. Eventuell historische Bodenfeuchtemessungen zum Vergleich mit 3.a und 3.b
4. Räumlich zugeordnete Prediktoren, die das Risiko von Murenauslösungen und kleinräumigen Überflutungen zusätzlich zum Niederschlag mitbestimmen, darunter Hangneigung, Beschaffenheit des Untergrunds (Landnutzung, geologische und hydrologische Eigenschaften), Wasserwege, etc.
5. Archivierte Niederschlagsprognosen für die Kalibrierung und Evaluierung der Risikoinformationen

Mögliche Partnerinstitutionen (noch nicht angefragt):

- BOKU-Institut für Naturgefahren
- Abteilung Wildbach und Lawinenverbauung des BMNT

#### **B-4.2 Zukünftige Entwicklung von Naturgefahren infolge von kleinräumigen Starkniederschlägen**

In diesem Vorhaben soll die in StartClim2017.B – SEVERE erwähnte, jedoch aufgrund des Aufwandes nicht weiter bearbeitete Thematik der Verbindung von kleinräumigen Starkniederschlägen und ihren Auswirkungen und der Großwetterlage neu aufgegriffen werden. Die Kenntnis der Bedeutung der Großwetterlage und ihren lokalen Auswirkungen auf das Naturgefahrenrisiko hat zwei Vorteile. Zum einen kann durch Vorhersagen die Vorlaufzeit für kurzfristige Schutzmaßnahmen verlängert werden, wenn der Einfluss der grobskaligen atmosphärischen Bedingungen bekannt ist, da diese schon frühzeitiger (bis zu einigen Tagen) mit höherer Sicherheit prognostiziert werden können als kleinräumige Niederschläge. Zum anderen können Klimaprojektionen nach Großwetterlagen und ihren Verläufen gescreent werden, wodurch ein Blick in die zukünftige Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Niederschlägen mit Naturgefahrenpotential möglich wird.

Zielsetzung: Voraussetzung ist in beiden genannten Anwendungen, dass 1.) die Auswirkungen lokaler Niederschläge auf die Auslösung von Naturgefahren bekannt sein muss (in diesem Punkt gleichen sich die Anforderungen in den Vorhaben von B-4.1 und B-

4.2), 2.) der statistische Zusammenhang zwischen Lokalbedingungen und synoptischer Skala belastbar sein muss und, dass 3.) die verwendeten Klimaprojektionen die Häufigkeit und Abläufe von Wetterlagen gut abbilden können. Zentrales Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es diese Voraussetzungen so zu erfüllen, dass die zukünftige Entwicklung des niederschlagsgebundenen Naturgefahrenpotentials auf mittlerer und langer Sicht ermöglicht wird.

Vorwissen: Wie in B-4.1, sind die Basis für die geplanten Arbeitsschritte ZAMG-interne und externe Expertisen zur Auswirkung von lokalen Niederschlägen auf Naturgefahren. Wissen über die Verbindung von lokalen Niederschlägen zu Großwetterlage kann weiters aus ersten Erkenntnissen des derzeit laufenden Projekts WETRAX+ gewonnen werden mit dem eine enge Verbindung geplant ist. Im Unterschied zu WETRAX+ soll der Schwerpunkt im geplanten Projekt auf sehr kleinräumigen Ereignissen im unteren Bereich der beobachtbaren Skalen liegen.

Methodik: Bezüglich der Verschneidung von Schäden im Zuge von Naturgefahrenereignissen und dem Niederschlagseinfluss ist die Vorgangsweise ähnlich wie in B-4.1. Hinzu kommt im Vorhaben B-4.2 die Verknüpfung von Niederschlagseinflüssen, die nach Möglichkeit mittels spezieller Indices quantifiziert werden sollen, mit den grobskaligen atmosphärischen Einflüssen. Dazu müssen Parameter aus gegitterten Modelldaten aus der Vergangenheit, etwa Reanalysen, identifiziert werden, die einen guten statistischen Zusammenhang mit kleinräumigen, intensiven Niederschlägen bieten. Auch das Einbeziehen von Stabilitätsparametern wird notwendig sein, da diese Auskunft über die Intensität der zu erwartenden Niederschlagsereignisse geben können. Ein weiterer Aspekt der einfließen soll, ist die Stationarität der sich entwickelnden Gewitter- und Starkregenzellen. Zusätzlich zur Mächtigkeit der Zellen hat diese großen Einfluss auf das Schadensausmaß, das die Niederschläge zur Folge haben können, da bei stationären Zellen der gesamte Niederschlag der Zelle in einem räumlich sehr eingegrenzten Gebiet fallen kann.

Datenbasis: Zusätzlich zur den Datensätzen, die in B-4.1, Punkt 1.-4. beschrieben sind, werden Daten aus Klimaprojektionen benötigt, für die ausgewählte atmosphärische Parameter verfügbar sind und eine ausreichende vertikale Auflösung, um die atmosphärische Stabilität abschätzen zu können. Die horizontale Auflösung ist dabei zweitrangig, jedoch ist eine möglichst hohe Auflösung wünschenswert. Als möglicher Datensatz für die Klimaprojektionen werden etwa die EURO-CORDEX-Läufe (Jacob et al., 2014) angesehen. Für eine Auswahl dieser Läufe wurde etwa im ACRP-Projekt StarImpact (Mendlik et al., 2017) untersucht, welche Wetterlagen gut oder weniger gut simuliert werden.

Mögliche Partnerinstitutionen (noch nicht angefragt):

- BOKU-Institut für Naturgefahren
- Abteilung Wildbach und Lawinenverbauung des BMNT
- TU-Wien – Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
- Weitere Partnerinstitutionen, die am Projekt WETRAX+ beteiligt sind

## B-5 Schlussfolgerung

Im vorliegenden Bericht wurden viele Möglichkeiten erörtert, was die Erforschung wetterbedingter Extremereignisse betrifft. Zugleich wurden jedoch auch viele Schwierigkeiten erörtert, die vor allem mit der Kleinräumigkeit vieler Ereignisse in Verbindung stehen, und damit mit der teils eingeschränkten Datenverfügbarkeit und –qualität. Vermutlich haben diese Einschränkungen damit zu tun, dass extrem kleinräumige Extremereignisse bislang ein Nischenthema der Klimaforschung waren. Das öffentliche Interesse, dass extremen Wetterereignissen zunehmend gewidmet wird, zeigt jedoch, dass die Auseinandersetzung mit der Thematik zunehmend wichtig ist. Was jedoch kann die klassische Klimaforschung dazu beitragen? Es wird doch immer wieder betont, dass gerade kleinräumige Ereignisse und ihre Folgen nicht punktgenau vorhersagbar sind. Gleichzeitig ist der Umstand, dass gerade diese Ereignisse im Zuge des Klimawandels an Häufigkeit und Intensität zunehmen können, inzwischen jedem und jeder Interessierten geläufig.

Aus Sicht des Projektes StartClim2017.B – SEVERE muss die im Bericht behandelte Thematik der kleinräumigen Extremereignisse durch eine verbesserte Vernetzung hinsichtlich Datenverfügbarkeit und durch eine intensive, fächerübergreifende Zusammenarbeit angegangen werden. So kann wissenschaftliches Neuland betreten werden und die klassischen Methoden der Klimaforschung werden nicht als obsolet angesehen. Auch kann auf diese Weise besser auf konkrete Fragestellungen seitens der Öffentlichkeit eingegangen werden. Gleichzeitig muss jedoch die die Auseinandersetzung mit der Komplexität der Materie (d.h., dass es keine einfachen statistischen Zusammenhänge gibt, sondern viele Faktoren eine Rolle spielen, wie eben im Fall von witterungsbedingten Naturgefahren) in geeigneter Weise mit vermittelt und transportiert werden.

Die Einbeziehung von „Citizen Science“ zeigt in vielen Bereichen der Klimaforschung große Vorteile. So kam auch die Frage auf, wie weit etwa extreme Regenmengen unter Mitwirkung der Gemeinden oder der Bevölkerung etwa mit einfachen Apparaturen besser erfasst werden könnten, da doch die derzeit in Österreich verfügbaren Messnetze der hydrologischen und meteorologischen Dienste offensichtlich nicht engmaschig genug sind, um alle Ereignisse aufzuzeichnen.

Die Messung mit zu einfachen Apparaturen ist dabei kritisch zu betrachten, denn von Wert sind nicht nur die bloßen Niederschlagsmengen, sondern auch eine Aufzeichnung über den genauen Zeitraum des gefallenen Niederschlags. Damit müsste die Apparatur jedoch zumindest über eine automatische Aufzeichnung mit hoher zeitlicher Auflösung verfügen. Zusätzlich müssten die Daten regelmäßig ausgelesen und zeitgerecht übermittelt werden, was einige technische Kenntnis erfordert, oder die Apparatur müsste über eine Auslesemöglichkeit per Funk verfügen, was die Kosten in die Höhe treibt. Auf Gemeindeebene finanzierte, betriebene und gewartete Stationen wären sicher ein Lösungsansatz, der weiter verfolgt werden kann, bedenkt man doch, dass die Stationen zumindest über einen Zeitraum von mehreren Jahren Daten liefern sollten. Die Koordination der Datenaufzeichnung, -übertragung und -prüfung sollte jedoch zentral erfolgen, um die Daten wirklich nutzbar zu machen. Auch Fragen des Stationsstandortes sollten mit Fachexperten geklärt werden, um die Repräsentativität der Daten zu erhöhen. Beispielhaft für ein sehr hochaufgelöstes Messnetz, das seit mehr als 10 Jahren hochaufgelöste Niederschlagsdaten liefert und in der Klimaforschung Anwendung findet, ist mit Sicherheit das WegenerNet (siehe <https://wegenernet.org/portal/> bzw. <https://wegcenter.uni-graz.at/de/wegenernet/wegenernet-home/>) des Wegener Centers der Universität Graz. Die dort betriebenen 150 Wetter- und Klimastationen werden zentral gewartet, allerdings mit Hilfe von Stationspaten und –patinnen finanziert. Alles in allem ist ein solches Vorhaben jedoch mit einem sehr großen Organisationsaufwand und damit auch finanziellem Aufwand verbunden, der das Gelingen von vornherein in



Frage stellt und vermutlich den Rahmen von Citizen Science sprengt, da eine längere Bindung und ein hoher Aufwand seitens der Gemeindepartner unverzichtbar für das Vorhaben ist.

Dennoch kann Citizen Science einen wichtigen Beitrag im Bereich Extremwetteraufzeichnungen liefern, etwa dadurch, dass Einzelpersonen Wetterereignisse in ihrem Umfeld qualitativ dokumentieren, etwa mittels Fotomaterial und Beschreibung. Mittels moderner Mobilgeräte können die genaue Uhrzeit, Verortung und auch die Himmelsrichtung in der das Ereignis vom Standpunkt des Betrachters aus verfolgt wird gespeichert und übermittelt werden. Das Ziel Wetterdokumentation einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen verfolgt etwa der Verein SKYWARN Austria, der für Interessierte auch Schulungen zur besseren Einschätzung der aktuellen Wettersituation anbietet. Auch die sog. „Retter-Wetter“-App (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/produkte-und-services/retter-wetter>) der ZAMG, die Mitgliedern von Feuerwehren Wetterinformationen für Einsätze zur Verfügung stellt, und über die Bilder des Wetters am Einsatzort hochgeladen werden können, geht in diese Richtung. Während die Verwendung von Informationen aus der Bevölkerung im Bereich von Kurzfristprognosen schon gang und gäbe ist, muss die Klimaforschung erst Methode entwickeln, um Informationen wie diese sinnvoll mit anderen verfügbaren Datenquellen zu verknüpfen. Das große Aufmerksamkeitsinteresse, das das Thema Extremwetter und Naturgefahren in großen Teilen der Bevölkerung zunehmend genießt, und die Notwendigkeit Antworten auf noch nicht lösbare Fragen zu finden, wird jedoch ein Ansporn sein, die Beobachtungen und Erfahrungen vieler einzelner für in die Forschung zu integrieren.

## Literaturverzeichnis

- Anders, I., Haslinger, K., Lexer, A., Salzmann, M., Resch, G., Knauder, W., Wolf, M. (2017): Monatsaktuelle regionale Klimasimulation der Vergangenheit optimiert für den Alpenraum mit COSMO-CLM. Vortrag am 7. Österreichischen MeteorologInnen-tag, 9.-10.11.2017, Graz. [http://wegcwww.uni-graz.at/meteotag2017/data/public/files/meteotag2017\\_Ivonne\\_Anders\\_presentation\\_126.pdf](http://wegcwww.uni-graz.at/meteotag2017/data/public/files/meteotag2017_Ivonne_Anders_presentation_126.pdf)
- Baker, D.B., Richards, R.P., Loftus, T.T., Kramer, J.W., 2004. A NEW FLASHINESS INDEX: CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS TO MIDWESTERN RIVERS AND STREAMS. *Journal of the American Water Resources Association* 40, 503–522. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2004.tb01046.x>
- Blöschl G., Nester T., Komma J., Parajka J., Perdigo RAP. 2013. The June 2013 flood in the Upper Danube basin, and comparisons with the 2002, 1954 and 1899 floods. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 5197-5212, doi:10.5194/hess-17-5197-2013.
- BLU (Bayerisches Landesamt für Umwelt). 2006. August – Hochwasser 2005 in Südbayern (August 2005 flood in Southern Bavaria), Endbericht vom 12. April 2006, Bayerisches Landesamt für Umwelt, München, 49 pp., 2006.
- BLfW - Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.). 2003. Hochwasser Mai 1999, Gewässerkundliche Beschreibung. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München, 2003. (URL [http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw\\_ereignisse/aktuell/doc/bericht\\_pfungsten99.pdf](http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ereignisse/aktuell/doc/bericht_pfungsten99.pdf), 03-2017-18).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2017): Kronberger-Kießwetter, B., Balas, M., Prutsch, A.: Die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel: Teil 1 - Kontext. Wien. 155 pp. Download unter: [https://www.bmnt.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik\\_national/anpassungsstrategie/strategie-kontext.html](https://www.bmnt.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/strategie-kontext.html) (04.06.2018)
- Borga, M., Anagnostou, E.N., Blöschl, G., Creutin, J.-D., 2011. Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science & Policy* 14, 834–844. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.017>
- Borga, M., Anagnostou, E.N., Blöschl, G., Creutin, J.-D., 2010. Flash floods: Observations and analysis of hydro-meteorological controls. *Journal of Hydrology* 394, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.048>
- Braun, M., Kaitna, R. (2018) A comparative analysis of meteorological trigger conditions for torrential processes on a daily and sub-daily time scale for Austria, In: European Geosciences Union (Ed.), *Geophysical Research Abstracts* Vol. 20, EGU2018-16169; ISBN: 1607-7962
- Enigl, K., Matulla, C., Schmid, F., Schellander-Gorgas, T. (2018): Creation of an Austria-wide event database and evaluation of correlations between local scaled weather developments and extreme events. In: European Geosciences Union (Ed.), *Geophysical Research Abstracts* Vol. 20, EGU2018-16907.
- Frei, C., Schär, C., 1998. A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *International Journal of Climatology* 18, 873–900. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980630\)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9)
- Gaal, L., Szolgay, J., Kohnova, S., Parajka, J., Merz, R., Viglione, A., Blöschl, G. (2012): Flood timescales: Understanding the interplay of climate and catchment process-

es through comparative hydrology. *Water Resources Research* 48, W04511, doi:10.1029/2011WR011509.

- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology* 367, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
- Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., Komma, J., Tsanis, I.K., Wagner, W., Blöschl, G., 2016. Initial soil moisture effects on flash flood generation – A comparison between basins of contrasting hydro-climatic conditions. *Journal of Hydrology* 541, 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.007>
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics* 98, 239–267. <https://doi.org/10.1007/s00703-007-0262-7>
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., 2008. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides* 5, 3–17. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>
- Haiden T, Kann A, Wittmann C, Pistotnik G, Bica B, Gruber C. (2011). The Integrated Now-casting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region. *Weather and Forecasting*, 26/2, 166-183, doi: 10.1175/2010WAF2222451.1
- Haslinger, K., Bartsch, A., 2016. Creating long-term gridded fields of reference evapotranspiration in Alpine terrain based on a recalibrated Hargreaves method. *Hydrology and Earth System Sciences* 20, 1211–1223. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1211-2016>
- Hiebl, J., Frei, C., 2018. Daily precipitation grids for Austria since 1961—development and evaluation of a spatial dataset for hydroclimatic monitoring and modelling. *Theoretical and Applied Climatology* 132, 327–345. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2093-x>
- Hiebl, J., Frei, C., 2016. Daily temperature grids for Austria since 1961—concept, creation and applicability. *Theoretical and Applied Climatology* 124, 161–178. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1411-4>
- Hofstätter, M, Jacobeit, J., Homann, M, Lexer, A, Chimani, B., Philipp, A., Beck, C., Ganekind (2015): WETRAX - WEather Patterns, CycloneTRACKs and related precipitation Extremes, 240 pp., Augsburg, ISBN 3-923273-96-6
- Hofstätter, M., Chimani, B., Lexer, A., Blöschl, G., 2016. A new classification scheme of European cyclone tracks with relevance to precipitation: EUROPEAN CYCLONE TRACK TYPES AND PRECIPITATION. *Water Resources Research* 52, 7086–7104. <https://doi.org/10.1002/2016WR019146>
- Hofstätter, M., Lexer, A., Homann, M., Blöschl, G., 2018. Large-scale heavy precipitation over central Europe and the role of atmospheric cyclone track types: HEAVY PRECIPITATION AND CYCLONE TRACKS. *International Journal of Climatology* 38, e497–e517. <https://doi.org/10.1002/joc.5386>
- Holko, L., Parajka, J., Kostka, Z., Škoda, P., Blöschl, G., 2011. Flashiness of mountain streams in Slovakia and Austria. *Journal of Hydrology* 405, 392–401. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.038>
- Huber, A., Fromm, R., Schellander, H., Stuke, S. (2014): Projektbericht MUWA – (Weiter-)Entwicklung eines meteorologischen Frühwarnsystems für Muren. Endbericht einer Kooperation zwischen ZAMG, Regionalstelle Tirol und Vorarlberg und BFW.

- Humer G., Reithofer, A., Klar, R., Achleitner, S., 2015. Erweiterung eines 2D-Strömungsmodelles zur Berechnung von Sturzfluten. Erweiterung eines 2D-Strömungsmodelles zur Berechnung von Sturzfluten 164–171. <https://doi.org/10.3243/kwe2015.03.002>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Kaitna, R., Prenner, D., Braun, M., Mostbauer, K., Maraun, D., Switanek, M., Stoffel, M., Hrachowitz, M. (2017): Determination of past and future trigger conditions of torrential processes at different temporal and spatial scales – the Deucalion II project., In: Climate Change Centre Austria (Hrsg.), 18. Klimatag, Tagungsband, Aktuelle Klimaforschung in Österreich
- Kaitna, R.; Ballesteros, J; Braun, M; Hrachowitz, M; Maraun, D; Mostbauer, K; Prenner, D; Stoffel, M; Switanek, M. (2018): Hydro-meteorological trigger conditions of torrential hazards in the Austrian Alps, In: Climate Change Centre Austria (Hrsg.), 19. Klimatag, Tagungsband, Aktuelle Klimaforschung in Österreich
- Köberl, J., Köberl, J., Pretenthaler, F., Schubert, C. (2018): DAMAGE.at – Machbarkeitsanalyse des Aufbaus einer österreichweiten Schadendatenbank zu wetter- und klimabedingten Infrastrukturschäden, Endbericht im Auftrag des Klima- und Energiefonds, Graz, 22 pp.
- Luzian, R. (2002): Die österreichische Schadenslawinen-Datenbank. Forschungsanliegen – Aufbau –erste Ergebnisse (mit Kartenbeilage „gemeindeweise Lawinendichte“), Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien (FBVA), Nr. 175/2002, 51 S.,Wien
- Luzian, R., Eller, M. (2005): Schadlawinen-Datenbank für Österreich. BFW Praxisinformation, Nr. 8/2005, ISSN: 1815-3895, p. 11-12. [http://bfw.ac.at/040/pdf/1818\\_pi8.pdf](http://bfw.ac.at/040/pdf/1818_pi8.pdf)
- Marra, F., Destro, E., Nikolopoulos, E.I., Zoccatelli, D., Creutin, J.D., Guzzetti, F., Borga, M., 2017. Impact of rainfall spatial aggregation on the identification of debris flow occurrence thresholds. *Hydrology and Earth System Sciences* 21, 4525–4532. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4525-2017>
- Matulla, C., Hollósi, B., Balas, M. (2015): SNORRE – Screening von Witterungsverhältnissen. Endbericht von StartClim2014.A in StartClim2014: Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWFW, ÖBF, Land Oberösterreich
- Mendlik, T., Maraun, D., Truhetz, H. (2017): STARC-Impact: Prozessbasierte Evaluierung der ÖKS15 Klimaszenarien: Climate Change Centre Austria (Hrsg.), 18. Klimatag, Tagungsband, Aktuelle Klimaforschung in Österreich, S. 90-91.
- Merz, R., Blöschl, G., Parajka, J. (2006): Spatio-temporal variability of event runoff coefficients in Austria, *Journal of Hydrology*, 331, 591 - 604. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.06.008

- Mostbauer, K., Kaitna, R., Prenner, D., Hrachowitz, M. (2018): The temporally varying roles of rainfall, snowmelt and soil moisture for debris flow initiation in an alpine region. In: European Geosciences Union (Ed.), Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-4999; ISBN: 1607-7962
- Mostbauer, K., Kaitna, R., Prenner, D., Hrachowitz, M. (2017): The temporally varying roles of rainfall, snowmelt and soil moisture for debris flow initiation in a snow dominated system: the compound trigger concept. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 1–33. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-626>
- Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., Glade, T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. Natural Hazards 58, 645–680. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9632-4>
- Peruccacci, S., Brunetti, M.T., Gariano, S.L., Melillo, M., Rossi, M., Guzzetti, F., 2017. Rainfall thresholds for possible landslide occurrence in Italy. Geomorphology 290, 39–57. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.03.031>
- Piciullo, L., Gariano, S.L., Melillo, M., Brunetti, M.T., Peruccacci, S., Guzzetti, F., Calvello, M., 2017. Definition and performance of a threshold-based regional early warning model for rainfall-induced landslides. Landslides 14, 995–1008. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0750-2>
- Prenner, D., Kaitna, R., Mostbauer, K., Hrachowitz, M. (2018): What can hydro-meteorological variables tell us about debris flow occurrence? In: European Geosciences Union (Ed.), Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-8269; ISBN: 1607-7962
- Reisenhofer, S. (2015): Der Weg zum digitalen intelligenten Unwetterarchiv. ZAMG Newsletter 01/2015. 7. [https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/topmenu/Newsletter\\_2015\\_01.pdf](https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/topmenu/Newsletter_2015_01.pdf)
- Reisenhofer, S., (2016): VIOLA-Violent Observed Local Assessment: Die neue Unwetterdatenbank der ZAMG. Interner Vortrag an der ZAMG, Wien, 23.05.2016.
- Reithofer, A., Humer, G., 2016. Flash Flood Risk Map Upper Austria – Evaluierung des Schadensrisikos durch Starkregenereignisse anhand eines erweiterten 2D-Strömungsmodells. Wichmann Verlag, Germany.
- Schabenberger, O., Gotway, C.A., 2005. Statistical methods for spatial data analysis, Texts in statistical science. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.
- Schröer, K., Tye, M. R. (2018): Identifying Patterns in Extreme Precipitation Risk and the Related Impacts, Vortrag am AMS 98<sup>th</sup> Annual Meeting, 18.01.2018, Austin, Texas. Abstract: <https://ams.confex.com/ams/98Annual/webprogram/Paper336822.html>
- Seger, M. 2001: Rauminformationssystem Österreich – ein digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes. In: Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 2, S. 101-110.
- Shepard, D.S., 1984. Computer Mapping: The SYMAP Interpolation Algorithm, in: Gaile, G.L., Willmott, C.J. (Eds.), Spatial Statistics and Models. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 133–145. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3048-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3048-8_7)
- Tilch, N. (2017): Fachliche Impulse für die Masterarbeiten. Vortrag im Rahmen einer Fortbildung für Masterstudenten der Meteorologie im Bereich gravitative Massenbewegungen, 20.12.2017, ZAMG, Wien.
- VVO (2015): Unwetterbilanz 2015: Ein Jahr geprägt von hohen Temperaturen. <https://www.vvo.at/vvo/vvo.nsf/sysPages/1EDED07CC461A84DC1257F0900445309#> (07.05.2018)

Vessia, G., Parise, M., Brunetti, M.T., Peruccacci, S., Rossi, M., Vennari, C., Guzzetti, F., 2014. Automated reconstruction of rainfall events responsible for shallow landslides. *Natural Hazards and Earth System Science* 14, 2399–2408. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2399-2014>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abb. B- 1: Struktur des Projektes StartClim2017.B – SEVERE. Die in blau gehaltenen Felder sind im Projekt integriert, die orangen Felder weisen auf die Aspekte hin, die in der Thematik eine wichtige Rolle spielen, aus dem engeren Fokus des Projekts jedoch ausgeblendet werden. ....	12
Abb. B- 2: Übersicht über das Netzwerk aus ExpertInnen (B-2.2) und Projektinitiativen (B-1.3.2), mit denen StartClim2017.B – SEVERE in Kontakt steht. ....	13
Abb. B- 3: Überblick über die Ereigniskategorien in der VIOLA-Datenbank und die Art der dokumentierten Informationen. Quelle: Reisenhofer (2016).....	16
Abb. B- 4: Kumulative Verteilung der Perzentilwerte (d.h. der Ereignisniederschläge im Vergleich zur Klimatologie).....	30
Abb. B- 5: SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 08.06.2003. Der rote Punkt markiert das Gebiet von Kleinarl/Wagrain auf der Karte.....	32
Abb. B- 6: SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 22.06.2006 .....	33
Abb. B- 7: SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 27.06.2006 .....	34
Abb. B- 8: SPARTACUS-Niederschlagskarte vom 25.06.2005 .....	35

### Tabellen

Tab. B- 1: Beispiele für Ereignisdatenbanken für Naturgefahren in Österreich .....	7
Tab. B- 2: VerfasserInnen der Masterarbeiten und die Titel der Arbeiten .....	14
Tab. B- 3: Auflistung der fachlichen Expertisen, die in die Recherche eingeflossen sind. ....	19
Tab. B- 4: Maße zur Bewertung des Ereignisniederschlags aus Spartacus auf Gemeindeebene.....	30
Tab. B- 5: Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und – maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 08.06.2003.....	32
Tab. B- 6: Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und – maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 22.06.2006.....	33
Tab. B- 7: Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und – maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 27.06.2006.....	34
Tab. B- 8: Tagesniederschlag [mm/d] auf Gemeindeebene (Gemeindemittel, - median und – maximum) aus SPARTACUS und INCA, sowie das Gemeindemittel der Vorbefeuchtung [mm] aus SPARTACUS für verschiedene Zeiträume vor dem Ereignistag für das Ereignis am 25.05.2005.....	35