



HORA – Richtige Naturgefahrenkommunikation schafft Risikobewusstsein

Günter Blöschl · Heinz Stiefelmeyer · Thomas Hlatky · Jürgen Waser

Angenommen: 20. Dezember 2021 / Online publiziert: 25. Januar 2022

© The Author(s), under exclusive licence to Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) and Springer-Verlag GmbH Austria, ein Teil von Springer Nature 2022

Zusammenfassung Wie sehr Eigentum und sogar Menschenleben Naturgefahren ausgesetzt sind, wurde uns in den letzten Jahren wiederholt deutlich vor Augen geführt. Deshalb ist der Schutz vor Naturgefahren ein zentraler Aufgabenbereich des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT). Aber auch die Versicherungswirtschaft hat ein vitales Interesse an der Bereitstellung von Daten verschiedener Naturgefahren. Die Wissenschaft liefert dafür fundierte Analysen und Grundlagen.

Durch eine Häufung von großen Hochwasserereignissen in den letzten beiden Dekaden ist aber auch eine zunehmende Sensibilisierung der Bevölkerung verbunden mit einem steigenden Interesse an öffentlich zugänglicher Information über Naturgefahren und deren Bewältigung erkennbar. Hier

setzt das BMLRT gemeinsam mit einem Team aus Wissenschaft und Forschung sehr erfolgreich auf eine Vielzahl bewusstseinsbildender Maßnahmen, insbesondere auf die seit mehr als fünfzehn Jahren erfolgreiche Naturgefahrenplattform HORA. Neueste Modellierungsansätze verbunden mit stets verbesserten Rechnerleistungen tragen dazu bei, dass mit dem Ausbau und der laufenden Aktualisierung des umfangreichen Kartenwerks stets neue Maßstäbe gesetzt werden.

Schlüsselwörter

Hochwasserrisikomanagement · Hydrodynamische Modellierung · Risikokommunikation

HORA—Targeted natural hazard communication enhances risk awareness

Abstract Over the past years, numerous large events have demonstrated how exposed property and even human life are to natural hazards. Protection against natural hazards is therefore a key responsibility of the Federal Ministry of Agriculture, Regions and Tourism (BMLRT). The insurance industry has also a vital interest in the provision of data on various natural hazards. Science provides rigorous analyses and the related knowledge base. Due to multiple major flood events in the last two decades, there is a trend towards an increasing risk awareness of the population along with an increasing interest in freely accessible information on natural hazards and on ways of coping with them. In this context, the BMLRT, together with a team from science and research, very successfully promotes a large number of awareness-raising measures, in particular on the HORA natural hazards platform, which has been successful for more than fifteen years. The latest modelling approaches combined with improved computer performance contribute to setting new

standards with the expansion and ongoing updating of the extensive map series.

Keywords Flood risk management · Hydrodynamic modelling · Risk communication

1 Einleitung

Zahlreiche „Jahrhundertfluten“ innerhalb weniger Jahre (2002, 2006, 2012, 2013, 2018) lassen die Zunahme extremer Wetterereignisse vermuten. Die Frage ist berechtigt, ob das bereits die Folgen des angekündigten Klimawandels sind (Blöschl et al. 2018). Dazu wurde in einer Studie der Technischen Universität Wien nachgewiesen, dass es bereits in den vergangenen Jahrhunderten immer wieder hochwasserintensive und hochwasserarme Perioden gab (Blöschl et al. 2018, 2020). Inwieweit menschliches Handeln für eine Zunahme der Ereignisse verantwortlich ist, hängt von der klimatischen Situation, dem Ausmaß der Veränderungen im Einzugsgebiet und im Flussnetz sowie von der Größe der Gewässer ab (Blöschl et al. 2015a; Merz et al. 2021).

Klar und unbestritten ist jedenfalls, dass Hochwasser ein natürliches Ereignis und als solches nicht verhinderbar ist. Wenn schon nicht als Naturereignis verhinderbar, so müssen aber zumindest gemeinschaftlich alle Maßnahmen ergriffen werden, um dessen Auswirkungen zu mindern bzw. so gering wie möglich zu halten. Das führte zur Entwicklung eines integralen Hochwasserrisikomanagements, welches auf eine größtmögliche Sicherheit vor Hochwasser durch abgestimmtes Zusammenwirken raumplanerischer, bautechnischer und organisatorischer Maßnahmen auf allen Verwaltungsebenen und unter Einbeziehung der Betroffenen abzielt. Dabei müssen auch Maßnahmen der Vorsorge, der Bewältigung und des Wiederaufbaus ineinandergreifen (Blöschl et al. 2015b).

Univ.-Prof. DI Dr. G. Blöschl
Institut für Wasserbau
und Ingenieurhydrologie,
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich
bloeschl@hydro.tuwien.ac.at

DI Dr. H. Stiefelmeyer (✉)
Abteilung
I/6-Hochwasserrisikomanagement,
Bundesministerium für
Landwirtschaft, Regionen und
Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien,
Österreich
heinz.stiefelmeyer@bmlrt.gv.at

Dr. T. Hlatky
Grazer Wechselseitige Versicherung,
Herrengasse 18–20, 8010 Graz,
Österreich
thomas.hlatky@grawe.at

DI Dr. J. Waser
Head of Integrated Simulations Group,
VRVis Zentrum für Virtual Reality und
Visualisierung Forschungs-GmbH,
Donau-City-Straße 11, 1220 Wien,
Österreich
waser@vrvis.at

Bedeutung der Fließgeschwindigkeit bei Hochwasserereignissen

Fließendes Wasser besitzt eine enorme Kraft, die im Fall eines Hochwassers Gefahren birgt. Die Fließgeschwindigkeit wird dabei von Betroffenen oftmals unterschätzt und Personen setzen sich einer Gefahr für Leib und Leben aus. Speziell an Örtlichkeiten mit hoher Wassertiefe sind Menschen und Objekte wie Fahrzeuge der Kraft des Wassers ausgeliefert. Meiden Sie solche Bereiche im Falle eines Ereignisses unbedingt!



Selbst bei geringen Wassertiefen besteht bei **hohen Fließgeschwindigkeiten (>2 m/s)** Gefahr für Leib und Leben. Von Strömungen und vom Wasser mitgeführten Gegenständen geht eine besondere Gefahr aus. Strukturelle Schäden an Gebäuden können beträchtlich sein und bis zum Einsturz führen.



Auch wenn die Wasseroberfläche bei **mittleren Fließgeschwindigkeiten (0,6 - 2 m/s)** zwar nur leicht bewegt erscheint kann es schon bei einer geringen Wassertiefe zum Aufschwimmen, Kippen und Versatz von PKWs kommen. Personen sollten im Ereignisfall diese Bereiche sofort verlassen.



Trotz **geringer Fließgeschwindigkeiten (<0,6 m/s)** ist in diesen Bereichen Vorsicht geboten, da unterhalb der Wasseroberfläche – beispielsweise ausgehend vom Kanalnetz oder anderen Öffnungen – Sogwirkungen entstehen können.

Abb. 1 Erklärung der Fließgeschwindigkeit

2 Risikokommunikation als Teil des Hochwasserrisikomanagements

Eine bedeutende Aufgabe des BMLRT im Rahmen der Wasserwirtschaft ist die Finanzierung von Hochwasserschutzmaßnahmen. Allein in den letzten zehn Jahren wurde seitens des Bundes dafür mehr als eine Milliarde Euro investiert. Damit werden im langjährigen Durchschnitt jährlich mehr als 18.000 Personen bzw. fast viertausend Gebäude besser vor Hochwasser geschützt, fast einhundert Hektar ehemalige Überflutungsflächen wieder für den Hochwasserabfluss reaktiviert und knapp drei Millionen Kubikmeter Rückhaltevolumen neu geschaffen. Wie wichtig technischer Hochwasserschutz ist, zeigen die vielen Anlagen, die sich während der letzten großen und mittleren Hochwasserereignisse bewährt haben. Ohne den Ausbau und die Erhaltung der Schutzbauten wären die Schäden um ein Vielfaches höher. So konnte beispielsweise bei einem einzigen Starkregenereignis in Graz (Bezirk Andritz) im Juli 2020 bei Gesamtinvestitionen in Schutzmaßnahmen von etwas mehr als zehn Millionen Euro ein Schaden von nahezu zwanzig Millionen Euro verhindert werden. Damit leistet das BMLRT

gemeinsam mit den Ländern und Gemeinden einen entscheidenden Beitrag zur Sicherung und Erhaltung des Lebens- und Wirtschaftsraums. Trotzdem sind und bleiben unter Berücksichtigung der Restrisikobetrachtung etwa zehn Prozent des Gebäudebestands bzw. etwa zwanzig Prozent der Bevölkerung in Österreich (durch Hochwasser von Flüssen und Bächen) hochwassergefährdet. Um die Konsequenzen von Naturgefahren entscheidend zu mindern, ist neben der Errichtung von Schutzbauten ein Bündel von Maßnahmen erforderlich. Neben der effektivsten Maßnahme, nämlich der Freihaltung überflutunggefährdeter Bereiche von Bebauung, und einem umfassenden Katastrophenmanagement mit der Bereitstellung von Hochwasserprognosen und Alarmplänen, zählt die Förderung der Gefahrenkenntnis und eines Gefahrenbewusstseins zu den zentralen Punkten. Gerade in Zeiten steigenden Sicherheitsbedürfnisses ist eine Schärfung des Bewusstseins der Bevölkerung für Naturgefahren notwendig. Hier sind insbesondere Broschüren (u. a. „Bin ich hochwassergefährdet?“, BMLRT 2020; „Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss“, BMLRT 2019), modern aufbereitete Internetportale (u. a. www.wasseraktiv.at

und auf Zielgruppen abgestimmte lokale und regionale Veranstaltungen (u. a. Flussdialoge) zu erwähnen. Besonderer Wert wird bei allen Materialien auf Verständlichkeit gelegt (Beispiel, s. Abb. 1), wobei bewegte Bilder eine immer größere Bedeutung bekommen (u. a. „Hochwasserrisikomanagement – Vorausschauende Maßnahmen für unsere Sicherheit!“, BMLRT 2021).

Die Ausweisung und Darstellung überflutunggefährdeter Flächen ist ebenfalls eine bedeutende bewusstmachende Maßnahme. Neben der Erstellung der verhältnismäßig aufwendigen und parzellenscharfen Gefahrenzonenpläne ist mit dem Internetportal www.hora.gv.at (HORA) in den letzten Jahren eine umfassende Plattform für Naturgefahren erstellt und ausgebaut worden. Im Jahr 2006 als Public-Private-Partnership-Projekt (PPP) von BMLRT und Versicherungsverband Österreich (VVO) lediglich mit der Naturgefahr „Hochwasser“ gestartet und zwischenzeitlich zum international anerkannten Vorzeigeprojekt in der Darstellung von Naturgefahren weiterentwickelt und auch mehrfach ausgezeichnet, stellte sich schon bald heraus, dass der Bedarf der Bevölkerung nach umfassender Information zu allen Naturgefahren gegeben ist. Kontinuierlich wurde die Plattform um zahlreiche Naturgefahren erweitert. Sie enthält heute neben statischen Informationen zu Hochwasser, Erdbeben, Sturm, Blitz, Hagel und Schnee auch laufend aktualisierte und aktuelle Informationen zu Hochwasser (Pegelstände von mehr als 250 Pegelstationen), aktuellen Erdbebenereignissen und Sturm (tagesaktuelle Windspitzenkarten für ganz Österreich). Vervollständigt wird die Plattform noch, dank einer guten Kooperation, durch die Einbettung der Unwetterwarnungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Zusätzlich steht auch eine HORA-App (derzeit nur für Hochwasser) für alle gängigen Smartphones unter derselben Adresse zur Verfügung. Damit ist sehr einfach vor Ort feststellbar, ob man von Hochwasser oder anderen Naturgefahren betroffen sein kann. Insgesamt wurde bei der Gestaltung besonderer Wert auf die selbsterklärende Bedienung und einfache Handhabung des umfangreichen Datenmaterials gelegt.

Zuletzt wurde der sogenannte HORA-Pass (Ausschnitt Abb. 2) implementiert. Damit erhält man über eine

Hier steht eine Anzeige.



Hier steht eine Anzeige.



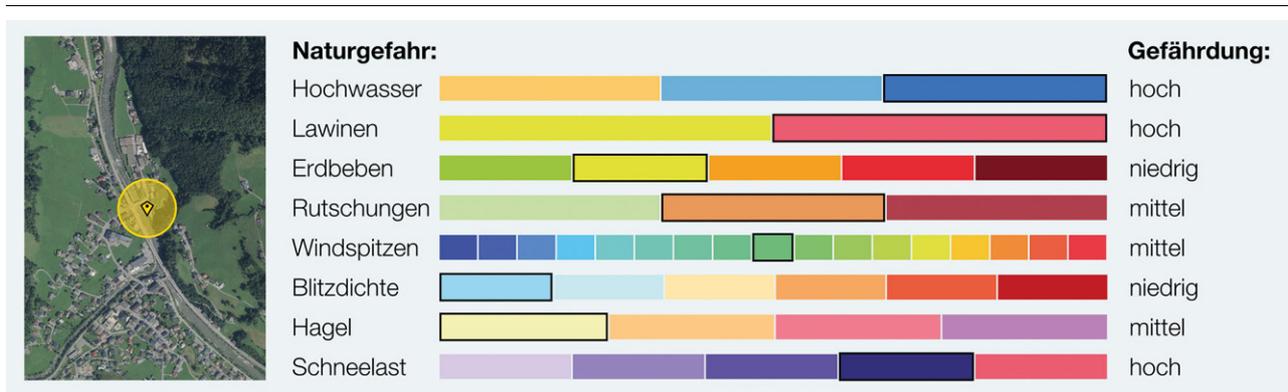


Abb. 2 HORA-Pass (Ausschnitt)

Adresseneingabe eine Auswertung über die Gefährdung eines Grundstücks für insgesamt acht Naturgefahren und zusätzlich via verschiedener Links (über den Info-Button) zu den einzelnen Naturgefahren noch entsprechendes und weiterführendes Informationsmaterial sowie Hilfestellung für die Eigenvorsorge. Die Entwicklung des HORA-Passes stellt einen weiteren Meilenstein in der Risikokommunikation dar, ersetzt aber im Einzelfall nicht eine Begutachtung durch eine Fachkraft.

Mit HORA erfolgt somit eine rasche und einfache Erstabschätzung möglicher Auswirkungen unterschiedlicher Naturgefahren. Durch das Sichtbarmachen verschiedener Naturgefahren werden die Risikowahrnehmung und das Bewusstsein für Eigenvorsorge geschärft und schließlich die in vielen Bereichen bereits vorliegenden Gefahrenzonenpläne, die – soweit möglich – bereits eingebunden sind, ergänzt.

3 Erfahrungen der Versicherungswirtschaft nach 15 Jahren HORA

Nach den Hochwasserereignissen 2002 und 2005 stand die österreichische Versicherungswirtschaft vor unglaublichen Herausforderungen in der Bewältigung massiver und bis dahin für unmöglich gehaltener Hochwasserschäden. Beunruhigender war aber die Vorstellung, dass kein geeignetes Instrument zur Bewertung des Risikos Hochwasser und damit für die Einschätzung und die Versicherbarkeit zukünftiger Ereignisse vorhanden war. Die in der Folge ins Leben gerufene PPP mit dem damaligen Landwirtschaftsministerium (heute BMLRT) war der Beginn einer bis heute andauernden beispiellosen Erfolgsgeschichte des Naturkatastrophenrisiko-

managements mit dem Schwerpunkt der Zonierung und kostenfreien Darstellung von Naturgefahrenrisiken im Internet. Seither kann auf der Plattform HORA de facto jede:r Auskunft über die Risikosituation eines beliebigen Punkts in Österreich und damit oft weit mehr als eine bloße Beurteilung eines Grundstücks und dessen Naturgefahrenexposition erhalten.

Mit HORA wurde auch für die Versicherungswirtschaft ein Instrument geschaffen, ohne das ein Underwriting (d.h. das technische Beurteilen von Versicherungsgeschäften) gar nicht mehr möglich wäre. In der Erstversicherung haben damit sowohl Kunden als auch deren Versicherer dasselbe Beurteilungsinstrument zur Verfügung, was das gemeinsame Finden einer optimalen Versicherungslösung immens erleichtert. Insbesondere im Bereich der gewerblichen und industriellen Sachversicherung ist ein Abschluss einschlägiger Versicherungen ohne eine Risikobeurteilung in HORA unmöglich. Der Fachspezialist in einer Versicherung hat für seine Tagesarbeit praktisch permanent Zugriff auf dieses Tool.

Die Verwendung von HORA in der Versicherungswirtschaft geht heute weit über eine individuelle Risikoeinschätzung hinaus. So stellen die in HORA erzeugten Datenlayer für die einzelnen Naturgefahren wie Hochwasser, Windsturm, Schneedruck oder Hagel eine Basis für die Kalkulation risikogerechter Prämien oder Selbstbehalte dar und ermöglichen damit dem Versicherungskunden einen optimierten Einkauf ebenso wie dem Versicherer eine korrekte Beurteilung des zu versichernden Risikos. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Verwendung der HORA-Daten in der probabilistischen Naturgefahrenmodellierung. Ohne diese ist eine

Beurteilung des gesamten von einer Versicherung übernommenen Risikos z.B. aus der Naturgefahr Hochwasser nicht mehr möglich. Neu eingeführte aufsichtsrechtliche Vorschriften und Berichtspflichten verlangen heute die Beurteilung eines zweihundertjährigen Schadens, und diese Berechnung ist erst durch die aus HORA generierten Daten möglich. Reine Schadenserfahrungen der Versicherungswirtschaft – selbst wenn diese z.B. im Bereich der Sturmversicherung oft mehr als 50 Jahre zurückreichen – sind naturgemäß nicht mehr für eine korrekte Beurteilung künftiger Schadenserwartungen ausreichend. Die Ergebnisse der Modellierung andererseits bilden die Basis für den Einkauf von Rückversicherungskapazitäten (der Versicherung einer Versicherung). Der internationale Rückversicherungsmarkt verwendet in hochspeziellen Schadensmodellen ebenfalls die HORA-Daten, damit werden genauso wie beim Versicherungskunden optimierte und objektivierbare Modellrechnungen für den erforderlichen (Rück-)Versicherungseinkauf erzeugt. HORA ermöglicht hier dem gesamten österreichischen Versicherungsmarkt eine einheitliche originäre Basisinformation für die Schadensmodellierung zukünftiger Großschäden. Ohne eine solche Grundlage könnte es zu völlig falschen Annahmen und damit auch zu massiven Wettbewerbsbeeinträchtigungen kommen, obwohl die naturwissenschaftliche Grundlage (z.B. der maximale errechnete Pegelstand) objektivierbar ist. Sowohl die Europäische Versicherungsaufsicht als auch das für den Versicherungsmarkt geltende Solvency-Regime (Solvency II, vereinfacht: Wie belastbar ist das Kapital einer Versicherung durch ein mehrhundertjähriges Schadenereignis?) verlangen heute

präzise Darstellungen der Risikosituation zu versicherten Naturgefahren.

Weit darüber hinaus geht die Bedeutung von HORA auch im Bereich des Schadenmanagements. Zum Beispiel sind in HORA bzw. mit Zugriff auf die HORA-Daten innerhalb kürzester Zeit Erstschadenabschätzungen von Hagelschäden nach einem Ereignis möglich, wenn das Gebiet eines Hagelzugs bekannt ist. Die anonymisierten Gebäudedaten (Geokoordinaten) des betroffenen Gebiets werden mit den Koordinaten der versicherten Gebäude eines Versicherers „verschnitten“ bzw. abgeglichen. Man erhält damit die größtmögliche Anzahl der von einem Hagelereignis betroffenen Gebäude und kann diese Gebäudeanzahl vereinfacht mit durchschnittlichen historischen Schadensdaten pro Gebäude aus vergleichbaren Ereignissen zu einem möglichen Gesamtschadensbild für den Versicherer hochrechnen. So erhält man eine konkrete erste finanzielle Schadeneinschätzung des betroffenen Gebiets. Es können sofort Ressourcen wie z.B. technische Sachverständige oder fachlich qualifizierte Schadensmanager von Versicherungen aktiviert und rasch lokale Vertriebspartner informiert werden, um proaktiv mit Schadenserhebungen und Schadenszahlungen zu beginnen. Hier erfüllt die Versicherungswirtschaft ihre Kernfunktion des Risikotragens unmittelbar und für Betroffene schnell und sehr unbürokratisch. Dass dies bei zunehmend stärker werdenden bzw. häufiger auftretenden Katastropheneignissen als Folge des Klimawandels immer wichtiger wird, liegt in der Natur der Sache.

Die Naturkatastrophenversicherung wird deshalb immer größere Bedeutung als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel bekommen. Wenn der Klimawandel und dessen Auswirkungen nicht erfolgreich verhindert oder vermieden werden können, bleibt nur die Anpassung an den Klimawandel. Das Schaffen eines größeren Risikobewusstseins für unseren Umgang mit Naturgefahren, das Aufzeigen von Gefahrenpotenzialen in Risikozonen, die Aufklärung über sinnvolle und vertretbare Präventionsmaßnahmen bis hin zu ressourcenschonendem und resilientem Bauen und Wohnen in Gebäuden sind wesentliche Elemente, die in den letzten fünfzehn Jahren massiv in HORA eingeflossen sind. HORA ist heute weit mehr als eine interaktive digitale Karte und steht auf einer hochmoder-

nen technischen Plattform. Auf dieser Basis wird es in allernächster Zukunft auch weitere Entwicklungen in HORA geben, die, wie schon oft in den letzten fünfzehn Jahren, erneut Benchmark im Bereich der nationalen und internationalen Risikokommunikation sein werden.

Die Österreichische Versicherungswirtschaft ist froh darüber, neben dem führenden Partner BMLRT und vielen weiteren Systempartnern ein wesentliches gestaltendes Element in HORA sein zu dürfen. Die Zusammenarbeit der Versicherungswirtschaft vertreten durch den VVÖ, den Verband der Versicherungen Österreichs, mit der öffentlichen Hand in einem derart komplexen technischen und zugleich inhaltlich herausfordernden Umfeld hat wegen der hoher Professionalität der Akteure und wohl auch wegen des Ausräumens aller Vorurteile (sei es „gegen die Wirtschaft“, sei es „gegen die Verwaltung“) 15 Jahre lang außerordentlich gut funktioniert und ist es bisher zu keiner Überschreitung der geplanten Kosten gekommen – wohl ein einzigartiges Phänomen im Umfeld digitaler Projektarbeiten. Mögen die nächsten zahlreichen Vorhaben ebenso gelingen!

4 HORA 3: Neue Wege bei der Modellierung der Hochwassergefahren

Wie erwähnt, war die HORA-Plattform im Jahr 2006 mit der Naturgefahr „Hochwasser“ gestartet (Merz et al. 2008). Die Gefahrenkarten wurden jüngst in den durch die Technische Universität Wien geleiteten Projekten HORA 3.0 Hydrologie und HORA 3.0 Hydraulik überarbeitet, um die aktuellsten Daten und die modernsten Rechenmethoden heranzuziehen, und damit eine weitere, wesentliche Steigerung der Genauigkeit und des Detaillierungsgrads zu erreichen. Das Ziel war es, Hochwasserüberflutungsgebiete für Abflüsse mit einer Jährlichkeit von 30, 100 und 300 Jahren zu berechnen, sowie für eine hypothetische Situation mit einer Abflussjährlichkeit von 300 Jahren, bei der die Hochwasserschutzanlagen überströmt werden bzw. versagen. Die letztere Situation kann als Indikator für das Restrisiko angesehen werden.

Methodisch beschritten diese Projekte neue Wege, um die Herausforderungen zu meistern, die sich aus der Erfassung lokaler Besonderheiten des hydrologischen und hydrodynamischen Systems für das gesamte Bundesgebiet Österreichs ergeben. Denn eine hohe räumliche Auflösung bewirkt nicht unbedingt eine hohe Genauigkeit, es sei denn, die für die Hochwassergefahr relevanten lokalen Informationen werden berücksichtigt. Zu diesen zählen der lokale Niederschlag, die heterogenen Infiltrationseigenschaften der Böden, die Bodenfeuchtigkeit und die Schneeschmelze und die Zusammenwirken der Wahrscheinlichkeiten dieser Einflussgrößen in Hinblick auf das Hochwasser. In ähnlicher Weise können sich lokale bauliche Elemente (z.B. Mauern, Durchlässe, Wasserbauten) ganz wesentlich auf die Überflutungsflächen auswirken. Es wurde deshalb ein Ansatz gewählt, der einerseits die verschiedensten Informationsquellen integriert (z.B. Abflussdaten, Aufzeichnungen historischer Hochwasser, Niederschlagsdaten, gemessene Profile der Vorfluter) und andererseits automatische Methoden und Experteneinschätzung kombiniert (z.B. automatische geostatistische Regionalisierung von Abflüssen mit einer Einschätzung der Abflussbildungsprozesse durch die Projektmitarbeiter:innen und die Mitarbeiter:innen der Hydrographischen Dienste). Auf Basis dieses grundlegenden Ansatzes wurden die Arbeiten in vier Teilschritten ausgeführt (Abb. 3):

a. Der erste Schritt bestand aus einer Unterteilung des gesamten Bundesgebiets in Teileinzugsgebiete, die durch ein Gewässernetz in konsistenter Weise verbunden sind. Als Basis dafür dienten das vom BMLRT zur Verfügung gestellte Gewässernetz sowie die Basiseinzugsgebiete (Version 12), die allerdings erst durch automatische und manuelle Methoden überarbeitet werden mussten, um eindeutige Abflussbeziehungen zu erstellen. Dazu zählte eine Generalisierung von z.B. Ausleitungen, Kanälen und Wehranlagen. Auch mussten gelegentlich Überschneidungen des Gewässernetzes entflochten bzw. zugeordnet werden (Abb. 3a). Das Ergebnis dieses Schritts war ein vollständig konsistenter Vektordatensatz, der jedem Punkt in Österreich ein eindeutiges Einzugsgebiet, einen eindeutigen Vorfluter und einen eindeutigen Unterlieger zuordnet, die für die Hochwassersituation von Relevanz sind. Das Gewässernetz von insgesamt 38.000 km besteht aus 21.700 Knoten

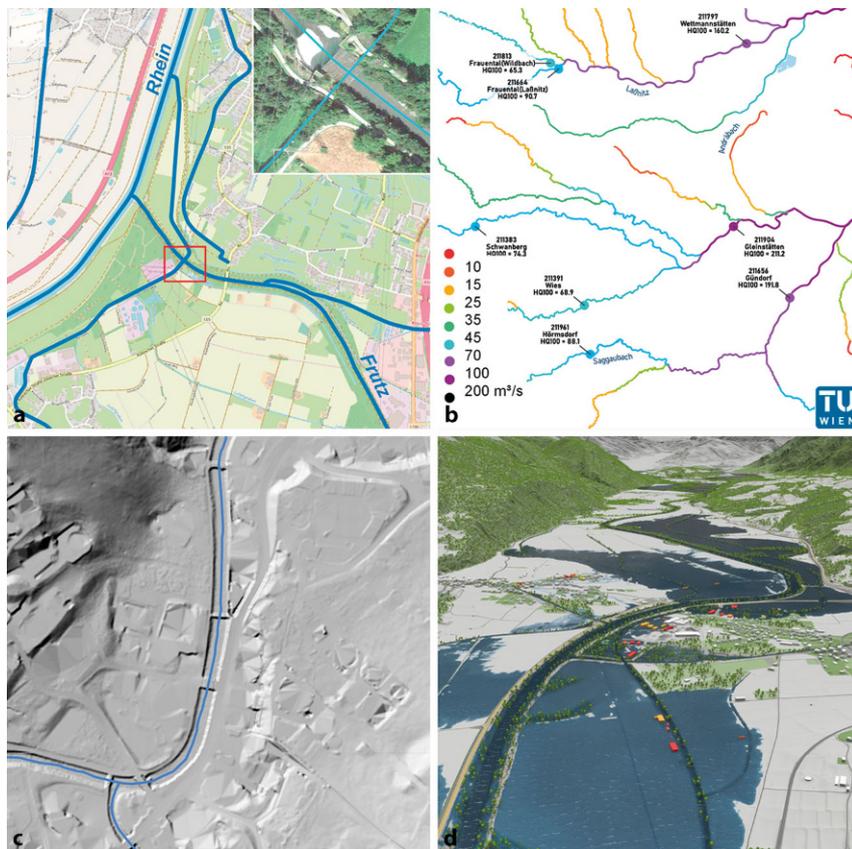


Abb. 3 Vier Schritte bei der Ermittlung der Überflutungsflächen mit gegebener Jährlichkeit in HORA: **a** Erstellung eines konsistenten Gewässernetzes, **b** Ermittlung der Hochwasserabflüsse gegebener Jährlichkeit, **c** geometrische Darstellung der Landoberfläche, **d** instationäre, zweidimensionale hydrodynamische Simulation. (Aus Blöschl et al. 2022 und Wimmer et al. 2021)

und ist mit 41.000 Einzugsgebieten verknüpft.

- b. Der zweite Schritt bestand aus der Berechnung der Hochwasserabflüsse und der Form der Hochwasserwellen für das gesamte Gewässernetz. Dafür wurde die Methode der „Extremwerthydrologie“ gewählt (Blöschl und Merz 2008), bei der lange Reihen von Abflussmessungen (in diesem Projekt an 781 Pegeln) ausgewertet werden, und diese in zeitlicher, räumlicher und kausaler Hinsicht erweitert werden. Die zeitliche Informationserweiterung erfolgte durch Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse und Vergleich mit längeren Abflussreihen von Nachbargebieten; die räumliche Informationserweiterung durch Einschätzung der räumlichen Situation mittels Karten, Hochwasserspendendiagrammen und Längenschnitten; und die kausale Informationserweiterung durch einen Vergleich mit z. B.

Niederschlag, Abflussbeiwerten, und der Lage von Rückhaltebecken und Seen im Gebiet. Mithilfe der geostatistischen Methode Top-kriging wurden dann die Hochwasserabflüsse einer bestimmten Jährlichkeit auf das gesamte Gewässernetz übertragen. Abb. 3b zeigt einen Ausschnitt des Gewässernetzes, das HQ₁₀₀ ist farblich dargestellt. Die Punkte sind die Pegel.

- c. Beim dritten Schritt ging es um eine geometrische Darstellung der Landoberfläche in Form von digitalen Geländemodellen (DGMs) und Landschaftsdeskriptoren. Dafür war es notwendig, vorerst die verwendeten DGMs auf Basis von Laserscanning mit einer räumlichen Auflösung von weniger als einem Meter einer Qualitätsprüfung und Harmonisierung zu unterziehen. Die DGMs wurden auch herangezogen, um eine Lagekorrektur der Flussachsen aus Schritt (b) durchzuführen.

Schließlich wurden Hindernisse (z. B. Brücken, und Durchlässe) erkannt und beseitigt, wenn sie für den Hochwasserabfluss nicht relevant waren (Abb. 3c). Zudem wurden die Flus-sufer aus dem DGM und anderen Informationen identifiziert, und damit (sowie mittels gemessener Flussprofile und Näherungsansätze) das Gewässerbett in das DGM eingebrennt. Schließlich wurden als Grundlage für das vierte Szenario (HQ₃₀₀ ohne Dämme) Hochwasserschutzdämme identifiziert und entfernt.

- d. Im vierten Schritt wurden instationäre, zweidimensionale hydrodynamische Berechnungen mit einer räumlichen Auflösung von 2 m durchgeführt (Abb. 3d), um damit Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten zu berechnen. Die maximalen Wassertiefen im Bereich der Scheitel der Abflusswellen wurden als maßgebend für die Überflutungskarten angesehen. Als Grundlage für die Simulationen wurden die Gewässer- und Geländeinformationen aus Schritt (a) und (c) und die Hochwasserabflussganglinien aus Schritt (b) verwendet. Sämtliche Wasserbauten, soweit digital verfügbar, wurden hydraulisch korrekt berücksichtigt, und die Rauigkeiten wurden mit einem speziellen Algorithmus kalibriert. Um die simulierten Überflutungsflächen für die verschiedenen Szenarien zu validieren, wurden sie mit den Überflutungsflächen des Gefahrenzonenplans (GZP) (wo vorhanden) sowie mit den Wasserständen der gegebenen Jährlichkeit an den Pegeln verglichen. Beides ergab i. A. eine gute Übereinstimmung. Für die Pegel entlang des Inns betragen die Unterschiede beispielsweise wenige Zentimeter. Gewisse Abweichungen zu den GZP ergaben sich aus der Wahl der Jährlichkeit, denn im HORA-Projekt wurde wegen der regionalen Betrachtungsweise an allen Gewässern die gleiche Jährlichkeit angesetzt (z. B. ein HQ₁₀₀), während im GZP meist ein HQ₁₀₀ am Hauptfluss angesetzt wird und für die Zubringer eine kleinere Jährlichkeit (z. B. HQ₁₀).

5 HORA 3D

Die, wie beschrieben, simulierten Überflutungsflächen mit Jährlichkeiten von 30, 100 und 300 Jahren sowie die Situation des Restrisikos (HQ₃₀₀ ohne Dämme) sind in HORA als Karten-

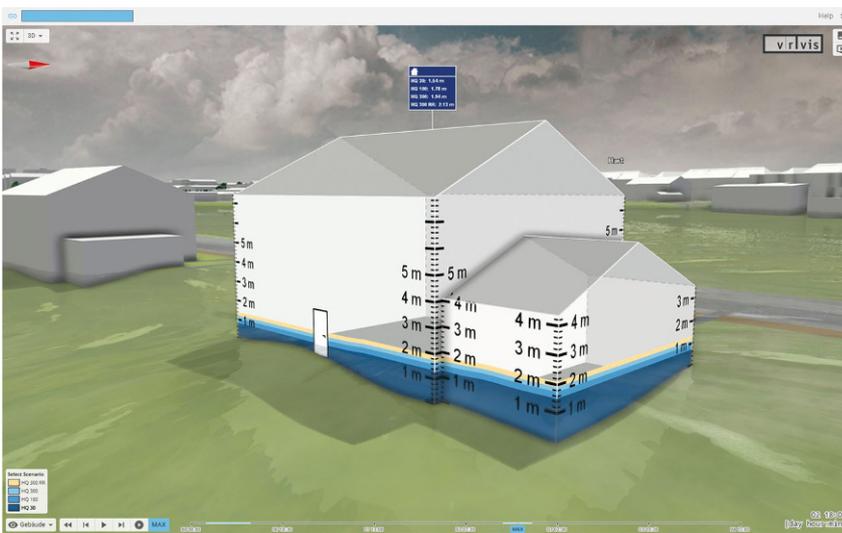


Abb. 4 Objektbezogene Risikovisualisierung mit den Anschlaglinien für vier Überflutungsszenarien entlang der Gebäudefassade (*heller werdende Blautöne* = HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀; *gelb* = HQ₃₀₀ Restrisiko)

darstellungen verfügbar. Um darüber hinausgehende, objektbezogene 3D-Visualisierungen zur Verfügung zu stellen, wurde ein webbasiertes System entwickelt, das in das öffentlich zugängliche HORA-Internetportal eingebunden wird. Die Ergebnisdaten der hydrodynamischen Simulation sind räumlich und zeitlich hochaufgelöste Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten, die für eine Fokusregion zeitabhängig animiert und visualisiert werden können, um zusätzliche relevante Informationen wie erwartbare Schäden an Gebäuden oder Fließwege des Wassers anschaulich zu vermitteln. Dafür sollten Anwenderinnen und Anwender kein Verständnis der zugrundeliegenden Daten oder gängiger GIS-Praktiken benötigen. Die Visualisierung wird mit möglichst einfachen Bedienelementen gesteuert, bei denen die für die Visualisierung nötigen komplexen Arbeitsschritte verborgen bleiben. Der angestrebte Ablauf einer Visualisierung beginnt dabei mit der Eingabe einer Adresse oder der Auswahl eines Fokuspunkts auf einer eingebetteten Landkarte durch die Anwenderin oder den Anwender, womit ein Grundstück und ein darauf befindliches Gebäude identifiziert werden. In einer daraufhin erzeugten, sitzungsbasierten Recheninstanz des Webdiensts werden alle räumlichen Daten geladen, die nötig sind, um das Fokusgebäude und die unmittelbare Nachbarschaft in höchstem Detailgrad anzuzeigen. Am Fokusgebäude werden dann das objektbezogene Überflutungsrisiko sowie

weitere relevante Informationen wie die am stärksten betroffenen Gebäudeteile interaktiv dargestellt, wie in Abb. 4 veranschaulicht.

Für diesen funktionalen Ablauf sind drei Arbeitsschritte essenziell: (1) In einer Vorbereitungsphase werden aus den verfügbaren Eingangsdaten für die Visualisierung relevante Informationen wie Gebäudemodelle und Vegetation abgeleitet. Diese und alle sonstigen Daten mit räumlichem Bezug werden dann in Kacheln zerlegt, um zur Laufzeit durch das Ansprechen kleinerer Datensätze für die gewählte Fokusregion kürzere Ausführungszeiten zu erreichen. (2) Die zur Laufzeit geladenen Daten werden in einer um das Fokusgebäude zentrierten 3D-Echtzeitvisualisierung kombiniert und Überflutungsrisiken anschaulich dargestellt. (3) Die Bilddaten der Visualisierung werden in eine Weboberfläche integriert, über deren Bedienelemente die Visualisierung gesteuert und angepasst werden kann.

5.1 Datenaufbereitung

Eine ästhetische und wirklichkeitsnahe Darstellung der dreidimensionalen Umgebung hilft sowohl bei der Akzeptanz als auch bei der Interpretation der entwickelten Visualisierung. Dafür werden das digitale Geländemodell (DGM), detaillierte Gebäudegeometrien, Vegetation, Verkehrswege und sonstige Landnutzung verwendet.

Die unmittelbare Umgebung des Fokusgebäudes zeigt das DGM in einer räumlichen Auflösung von 2 m, die außerhalb des Fokusbereichs stufenweise bis auf 50 m ansteigt. Diese Auflösung erlaubt eine dreidimensionale Darstellung des Höhenmodells für das gesamte Land zur besseren Orientierung. Ebenso wichtig für die Orientierung sind Gebäude und bauliche Wahrzeichen, die als 3D-Modelle nur für Wien und Linz frei verfügbar sind. Für alle sonstigen Gebäude werden diese Modelle aus den Grundrissepolygonen aus der Katastralmappe sowie der Differenz des digitalen Oberflächenmodells (DOM) und des DGM, aus der sich die Gebäudehöhe ableiten lässt, generiert. Anhand des räumlichen Zusammenhangs und der Oberflächenorientierung können die innerhalb des Grundrissepolygons liegenden Abtastpunkte des DOM in verschiedene Dachflächen gruppiert werden. Für jede dieser Dachflächen kann dann eine optimale Ausgleichsebene berechnet werden, die mit benachbarten Ebenen zu einer geschlossenen Fläche verbunden wird. Mithilfe der errechneten Gebäudehöhe wird daraus ein komplettes Gebäudemodell erstellt. Die erhaltenen Gebäudemodelle werden mit existierenden Modellen wichtiger Infrastruktur wie Brücken und Wasserkraftwerken kombiniert.

Vegetation hat einen großen Einfluss auf den Wiedererkennungswert einer dargestellten Region. Deshalb werden 3D-Modelle verschiedener Baumarten in der Visualisierung platziert unter Verwendung von Standorten, Baumhöhen und Baumarten des Baumkatasters sowie zusätzlicher Bäume auf bewaldeten Flächen aus den Landnutzungs- und Häufigkeitsrastern verschiedener Baumarten. Die Höhen dieser Bäume werden wieder aus der Differenz zwischen DOM und DGM berechnet.

In Summe ergibt sich aus den verfügbaren Eingangsdaten, den HORA-3-Ergebnisdaten und den erzeugten Geometrien eine Datenmenge von über 6 TB, die nicht gleichzeitig verwendet werden kann. Durch den Fokus auf eine sehr kleine Region ist das aber auch nicht nötig, weshalb die Daten in mehrere unabhängig voneinander verwendbare Teile zerlegt werden. Alle verfügbaren Datensätze werden in je über 5600 Datenkacheln zerlegt, wobei eine Datenkachel all jenen Daten mit räumlichem Bezug entspricht, die sich innerhalb eines bestimmten Bereichs



Abb. 5 3D-Visualisierung des simulierten Wassers mit Einfärbung, Wellen und Schaum. Die Gebäudedächer werden entsprechend der maximalen Wassertiefen eingefärbt

einer regulären Flächenaufteilung befinden. Zur Laufzeit müssen dann nur die Datenkacheln geladen werden, die die gewählte Fokusregion umgeben.

5.2 3D-Visualisierung

Die aufbereiteten Daten werden in einer dreidimensionalen Szene dargestellt, um die Wahrnehmung von Höhenunterschieden und Wassertiefen zu erleichtern. Im Zentrum der Visualisierung steht das objektbezogene Überflutungsrisiko für ein gewähltes Fokusgebäude. Daneben wird aber auch der räumliche Kontext angezeigt, um die Orientierung in der Szene zu gewährleisten. Für eine möglichst hohe Interpretierbarkeit der Visualisierung wird deren Detailgrad stufenlos angepasst, wobei Detailinformationen nur im Nahbereich gezeigt und überblicksartige Informationen aus größerer Entfernung eingeblendet werden.

Die Basis der Visualisierung bildet das digitale Geländemodell, auf dem Landnutzungsinformationen über mehrfarbige Texturierung etwa für Grünflächen, Hofflächen und Straßen aufgebracht sind. Straßen, öffentliche Plätze und Ortschaften werden zusätzlich durch Schriftzüge gekennzeichnet. Auf dem Geländemodell werden dann die Gebäudemodelle platziert. In einer Überblicksansicht werden die Dachflächen der Gebäude entsprechend der zu erwartenden Wassertiefe eingefärbt, die aus den HORA-3-Ergebnisdaten berechnet wird. Im Nahbereich werden alle Kontextgebäude nur dezent darge-

stellt und falls nötig ausgeblendet, um eine Verdeckung des Fokusgebäudes zu verhindern. Das Fokusgebäude selbst erhält dann eine spezielle Darstellung, bei der die Fassade als zusätzliche Visualisierungsfläche verwendet wird. Hier werden die Anschlaglinien der berechneten Überflutungsszenarien sowie die dem Wasser ausgesetzten Flächen farblich markiert, wobei eingeblendete Messlaten an den Außenkanten des Fokusgebäudes ein Ablesen der zu erwartenden Wassertiefen erleichtern. Die Anwendung unterstützt auch die Visualisierung objektbezogener Risiken für unbebaute Grundstücke. In diesem Fall wird in Baugebieten die Geometrie eines fiktiven Fokusgebäudes für diese Darstellung verwendet, außerhalb von Baugebieten eine Pegelmesslatte. Damit ist eine flächendeckende Untersuchung des Überflutungsrisikos in ganz Österreich unabhängig von der Bebauung möglich.

Die Anwenderin oder der Anwender erhält die Möglichkeit, die berechneten Überflutungsszenarien in der Benutzeroberfläche der Anwendung individuell auszuwählen und die Wassertiefen zu jedem Zeitschritt zu untersuchen. Dafür wird auf dem Geländemodell zusätzlich eine Wasseroberfläche angezeigt, die über die Zeit animiert wird. In einer Überblicksansicht wird die Wasseroberfläche an jedem Punkt entsprechend der zu erwartenden Wassertiefe in Blautönen eingefärbt. Im Nahbereich wird die Wasseroberfläche stark transparent dargestellt, um die Fassade des Fokusgebäudes nicht zu verdecken.

Auf der Wasseroberfläche wird zudem das Geschwindigkeitsfeld mithilfe animierter Wellen und Schaum nach einer durch Fachexperten und Allgemeinbevölkerung evaluierten Methode (Cornel et al. 2019) angedeutet (siehe Abb. 5).

5.3 Webintegration

Die Anwendung basiert auf der Cloud-Software Visdom (<https://www.vrvis.at/produkte-loesungen/visdom>) und ist damit vollständig in die Plattform www.hora.gv.at integrierbar und über den Webbrowser bedienbar. Für die objektbezogene Risikovisualisierung muss zunächst ein Fokusgebäude oder eine Fokusregion auf einer interaktiven Landkarte ausgewählt werden. Für jede Anfrage wird daraufhin auf einem Server des Webdienstes eine sitzungsbasierte Recheninstanz erzeugt, die die für die Visualisierung benötigten Datenkacheln lädt. Durch die serverseitige 3D-Visualisierung der Daten werden keine speziellen Anforderungen an das Endgerät der Anwenderin oder des Anwenders gestellt, selbst mobile Geräte werden unterstützt. Lediglich die Ergebnisse der Visualisierung werden als Bilddateien an das Endgerät übertragen und in die Benutzeroberfläche eingebettet. Um die Wartezeit zwischen Auswahl der Fokusregion und der Anzeige der Visualisierung zu minimieren und möglichst rasch ein erstes sichtbares Ergebnis zu bekommen, wird die virtuelle Szene progressiv aufgebaut und der Fortschritt in mehreren Bildern an das Endgerät übertragen. Mittels Mausinteraktion kann die Perspektive in der 3D-Visualisierung verändert werden, etwa um zwischen Nahbereich und Überblicksansicht zu wechseln oder zur Rotation um das Fokusgebäude. Über Bedienelemente der Benutzeroberfläche hat die Anwenderin oder der Anwender die Möglichkeit, zwischen Simulationsergebnissen der verschiedenen in HORA 3 berücksichtigten Jährlichkeiten zu wechseln. Innerhalb eines Datensatzes kann das berechnete Ereignis über einen Zeitstrahl im Detail zeitabhängig navigiert oder als Animation abgespielt werden. Zur leichten Identifizierung der erwartbaren Schäden steht aber auch die Option zur Verfügung, die berechneten maximalen Wassertiefen über die gesamte Ereignisdauer anzuzeigen. Diese Option ist in der Voreinstellung beim Start einer neuen Abfrage bereits aktiviert, sodass die Anwenderin oder der Anwender

unmittelbar die wichtigsten Informationen über das Überflutungsrisiko in der Fokusregion aus der Visualisierung ablesen kann.

6 Conclusio

Abgelaufene Hochwasserereignisse dienen stets dazu, vorhandene Strategien zu überprüfen. Die im Vergleich ähnlich gelagerten Ereignisse 2002 und 2013 haben für das Ereignis 2013 österreichweit deutlich geringere Schäden als 2002 verursacht, was eindrucksvoll zeigt, dass der richtige Weg eingeschlagen wurde.

Daher gilt es, jetzt mit den bereitgestellten Mitteln die vielfach bereits vorliegenden Planungen umzusetzen, die Gefahrenzonenplanung unter Einbeziehung der Darstellung des Restrisikos zu vervollständigen, die Vorhersagesysteme weiter zu verbessern und die „Risikokommunikation“ mit den Be-

troffenen im Bereich Information und Beratung kontinuierlich auszubauen. Mit HORA setzt das BMLRT in Kooperation mit dem VVO mithilfe modernster Technologien auf die Risikokommunikation und bietet die geeignete Plattform, um die Öffentlichkeit für das Thema Naturkatastrophen zu sensibilisieren sowie das Gefahren- und Risikobewusstsein der Bevölkerung zu schärfen. Neuste wissenschaftliche Methoden und Erkenntnisse liefern dafür die fachlichen Grundlagen und gewährleisten so eine stetige Verbesserung. Mit dem Vorstoß in die Dritte Dimension (HORA 3D) setzt die Plattform neuerlich einen Maßstab.

Denn jeder und jede potenziell von Hochwasser Betroffene muss in der Lage sein, Eigenverantwortung wahrzunehmen und verstehen, wie das eigene Haus oder die eigene Betriebsstätte am besten vor Naturgefahren geschützt werden kann. BMLRT und VVO führen

daher seit vielen Jahren einen aktiven Dialog mit möglichen Betroffenen, um sie für Naturgefahren zu sensibilisieren und möglichst verständliche Informationen anzubieten, die für eine Risikoabwägung nötig sind. Von dem uneingeschränkten Zugang zu Risikoinformationen profitieren letztendlich alle (Betroffene – Staat – Wirtschaft) mit dem gemeinsamen Ziel der Minderung der Schäden auch im Ereignisfall. Im Umgang mit Naturgefahren können schon allein organisatorische Maßnahmen wie Frühwarnsysteme und Notfallpläne Schäden um rund vierzig Prozent reduzieren; bei einem umfassenden Paket von Präventionsmaßnahmen verhindert jeder investierte Euro sogar Schäden zwischen fünf und zehn Euro, wie verschiedene Kosten-Nutzen-Analysen und Auswertungen zeigen. Denn nur wer die Gefahr kennt, kann im Ernstfall rasch und richtig reagieren. ■

Literatur

- Blöschl, G. et al. (2022):** Hyper-resolution flood hazard mapping at the national scale. In Vorbereitung
- Blöschl, G., Blaschke, A. P., Haslinger, K. et al. (2018):** Auswirkungen der Klimaänderung auf Österreichs Wasserwirtschaft – ein aktualisierter Statusbericht. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 70, pp. 462–473
- Blöschl, G., Gaál, L., Hall, J. et al. (2015a):** Increasing river floods: fiction or reality? Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. <https://doi.org/10.1002/wat2.1079>
- Blöschl, G., Horváth, Z., Kiss, A. et al. (2015b):** Neue Methoden für das Hochwasserrisikomanagement. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ), 160, 15–27
- Blöschl, G., Kiss, A., Viglione, A. et al. (2020):** Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years. Nature, 583, pp. 560–566. doi.org/10.1038/s41586-020-2478-3
- Blöschl, G., Merz, R. (2008):** Bestimmung von Bemessungshochwässern gegebener Jährlich-

keit – Aspekte einer zeitgemäßen Strategie. Wasserwirtschaft, 98 (11) 12–18.

BMLRT (2019): Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss – Ein Leitfaden für Planung, Neubau und Anpassung <https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/Eigenvorsorge-bei-Oberflaechenabfluss---Ein-Leitfaden-fuer-Planung-Neubau-und-Anpassung.html>. Zugegriffen: 18. Dez. 2021

BMLRT (2020): Bin ich hochwassergefährdet? <https://info.bmlrt.gv.at/service/publikationen/wasser/Bin-ich-hochwassergefaehrdet--Hochwassergefahren--und--risikoarten-geben-dazu-Auskunft-.html>. Zugegriffen: 18. Dez. 2021

BMLRT (2021): Hochwasserrisikomanagement – Vorausschauende Maßnahmen für unsere Sicherheit! <https://youtu.be/rhxsN3TX5g>. Zugegriffen: 18. Dez. 2021

Cornel, D., Buttlinger-Kreuzhuber, A., Konev, A., Horváth, Z., Wimmer, M., Heidrich, R., Waser, J. (2019): Interactive Visualization of Flood and Heavy Rain Simulations, In Computer Graphics

Forum (Proceedings EuroVis 2019), 38(3), pages 25–39, 2019 <https://www.youtube.com/watch?v=GBP97uc7eTk&t=156s>

Merz R., Blöschl, G., Humer, G. (2008): Hochwasserabflüsse in Österreich – das HORA Projekt. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 60, (9–10) 129–138.

Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S. et al. (2021): Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. Nature Reviews Earth & Environment, 2, 592–609.

Wimmer, M. H., Hollaus, M., Blöschl, G. et al. (2021): Processing of nationwide topographic data for ensuring consistent river network representation. Journal of Hydrology X, 13, 100106.

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.