

BERNHARD KOHL, GERHARD MARKART, MANFRED PITTRACHER, LEOPOLD STEPANEK, JOHANNES
KAMMERLANDER, GEBHARD WALTER, WOLFGANG STRAKA, THOMAS STRAUHAL, CHRISTIAN ZANGERL

PSINOT - Abflussbeiwertkarte Nordtirol

PSINOT - Surface runoff coefficient map Northern Tyrol

Zusammenfassung

Für die Bemessung von Wildbacheinzugsgebieten hat sich die Niederschlag/Abfluss-Modellierung zur Gefahren- und Maßnahmenplanung etabliert. Erforderliche Modellparameter sind jedoch meist unzureichend vorhanden. Mit dem Projekt PSINOT wurde im Auftrag des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Sektion Tirol, eine standardisierte, einheitliche und verbesserte Datengrundlage (Oberflächenabflussbeiwerte, Oberflächenrauheitsklassen) flächendeckend für ganz Nordtirol geschaffen. Durch Verschneidung mit Daten der „Großskaligen hydrogeologischen Charakterisierung von Fließsystemen in Wildbacheinzugsgebieten“ (HYGENOT) wurde die Datengrundlage zu Oberflächen- und Zwischenabfluss deutlich verbessert. Die Daten sind kompatibel mit dem QGIS Tool „Aufbereitung_ZEMOKOST“ und werden in den Wildbach- und Lawinenkataster (WLK) der WLV eingepflegt.

Abstract

For the design of torrent catchments, precipitation/runoff modelling has become established for hazard and action planning. However, required model parameters are mostly insufficiently available. With the PSINOT project, a standardized, uniform and significantly improved data basis (surface runoff coefficients, surface roughness classes) was created on behalf of the Forest Engineering Service in Torrent and Avalanche Control (WLV), Tyrol Section, covering the whole of Northern Tyrol. By intersection with data of the "Large-scale hydrogeological characterization of flow systems in torrent catchments (HYGENOT) the data basis on surface and interflow was significantly improved. The data are compatible with the QGIS tool "Aufbereitung_ZEMOKOST" and will be held available in the torrent and avalanche register (WLK) of the WLV.

Stichwörter

Abflussbeiwert, Oberflächenrauheit, Wildbachhydrologie, Niederschlag-Abfluss-Modellierung, ZEMOKOST
Runoff coefficient, surface roughness, torrent hydrology, precipitation runoff modelling, ZEMOKOST

Einleitung

Für Niederschlag/Abfluss-Modellierungen werden besonders in unbeobachteten Einzugsgebieten hinreichend genaue Eingangsparameter benötigt. Viele Ansätze, darunter auch das N/A-Modell ZEMOKOST (Kohl & Stepanek, 2005; Kohl, 2011; Kammerlander et al., 2017), verwenden für die Berechnung von Abflussbildung und -konzentration als maßgebliche Parameter den Oberflächen-Abflussbeiwert (Verlustkonzept), die Oberflächenrauheit sowie für den Abfluss im Untergrund einen Zwischenabflussanteil und einen Faktor für dessen Geschwindigkeit.

Aus diesen Informationen und den Angaben zum geologischen Untergrund lassen sich differenzierte und genauere Angaben zu wildbachrelevanten Abflussprozessen (Oberflächenabfluss und rascher Zwischenabfluss) ableiten. Solche Flächeninformationen, z.B. Karten von Abflussprozesstypen oder bodenhydrologischen Kennwerten, sind derzeit in Österreich nur für wenige größere Gebiete vorhanden. Um diesem Mangel entgegenzutreten, wurde seitens des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) 2017 für Osttirol im Projekt PSIOT eine flächendeckende Bearbeitung dieser hydro(geo)logischen Parameter initiiert. PSIOT stützte sich auf zwei wesentliche Vorarbeiten. Zum einen baute das Projekt auf die Arbeiten von Kohl & Sotier (2016) auf, die im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung (Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie) in regionalem Maßstab einen bodenhydrologischen Datensatz für ein Wasserhaushaltsmodell im Einzugsgebiet der Drau erarbeiteten; zum anderen auf die Arbeiten von Herbert PirkI (2012, 2015, 2016), der für Osttirol flächendeckend untergrundabhängige Abflussprozesse kartierte und quantifizierte.

Diese Informationen zum geologischen Untergrund und zum Boden stellen ideale Datengrundlagen dar, aus denen durch Verschneidung mit anderen Oberflächen- und Untergrundinformationen aufwand- und kostengünstig Oberflächen-Abflussbeiwertkarten und Oberflächen-Rauheitskarten sowie optimierte Karten für den Zwischenabfluss (Zwischenabflussanteile und Faktor für die Zwischenabfluss-Geschwindigkeit) für Osttirol abgeleitet werden konnten. Solche Parameter erlauben es nun, die N/A-Modellierung in Wildbacheinzugsgebieten von rein konvektiven Starkregen auch auf kritische Langzeitregen auszudehnen, bzw. machen erst die Berechnung von Zwischenabfluss möglich. Der Datenkomplex wurde im Projekt PSIOT an sechs unterschiedlichen Wildbacheinzugsgebieten erfolgreich validiert.

Mit geringerem Adaptierungsaufwand ließ sich dieser methodische Ansatz der Integration raumrelevanter Daten, (v.a. eBOD – landwirtschaftliche Bodenkarte, Daten der Waldtypisierung Tirol) und der Zusammenführung der Datensätze für Oberflächenabfluss mit Daten untergrundabhängiger Prozesse im gegenständlichen Projekt PSINOT flächendeckend auf Nordtirol ausdehnen.

Als Ziele des Projektes PSINOT wurden definiert:

- 1.) Die Erstellung einer für die Einpflege in den WLK der WLV angepassten „Erweiterten Abflussbeiwertkarte“ flächendeckend für ganz Nordtirol als Grundlage für die N/A-Modellierung mit dem Modell ZEMOKOST.
- 2.) Die Erhöhung der Nachvollziehbarkeit von N/A-Modellierungen in Wildbacheinzugsgebieten durch standardisierte, einheitliche und verbesserte Datengrundlagen (Abflussbeiwerte, Rauigkeit).
- 3.) Die Verbesserung der Datengrundlagen durch Verschneidung mit Daten der hydrogeologischen Abflusstypenkarte für Nordtirol (HYGENOT; Straka et al. in diesem Heft) und
- 4.) Die Kompatibilität dieser Daten mit dem QGIS Tool „Aufbereitung_ZEMOKOST“.

Datengrundlagen

Für die flächendeckende Zuordnung von Abflussbeiwerten (Oberflächen-Abflussklasse AKL) und Oberflächenrauheit (Rauheitsklasse RKL) wurden mehrere Datensätze miteinander verschnitten. Die unterste Ebene bildet die Realraumanalyse Österreichs nach SEGER (2001). Für diesen Datensatz wurden am Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Klagenfurt mittels eines Typen-Schlüssels (Realraumtypen) Nutzungs- und Oberflächentypen anhand von Satellitenbildern, topographischen und thematischen Datengrundlagen sowie zusätzlichen räumlichen Informationen erfasst. Der daraus resultierende thematische Landnutzungsdatensatz und die entsprechende Landnutzungskarte beinhalten für Nordtirol 81 verschiedene Nutzungsklassen.

Als weitere Datengrundlage zur Differenzierung der Realraumtypen (SEGER-Daten) wurde der Datensatz „HYGENOT Erweiterte Abflussbeiwertkarte für Nordtirol – Hydrogeologie“ herangezogen (Straka & Zangerl, 2021). Die darin ausgewiesenen 15 (hydrogeologischen) Abflusstypen wurden mit den Realraumtypen verschnitten. Letztlich beinhaltet der resultierende PSINOT Layer 682 Kategorien aus dieser Verschneidung mit einem Landesflächenanteil von 45 % (vgl. Tab.1).

Tab. 1: Anzahl der Klassen, Einheiten und Flächenanteile der verwendeten PSINOT Datengrundlagen.

Tab. 1: Number of classes, units, and the proportional areal coverage of PSINOT base data.

OBJEKT	Typen	Entitäten	Fläche [km ²]	Fläche
SEGER / HYGENOT	682	723.502	4.754	45 %
HYGENOT Gletscher	1	914	235	2 %
Bodenkarte eBOD	924	76.306	821	8 %
Waldtypenkatalog	166	368.118	4.462	42 %
Infrastruktur	21	403.862	371	3 %
Summe	1.794	1.572.702	10.643	100 %

Als nächste Verschneidungsebene wurden die Gletscherflächen aus HYGENOT (Abflusstyp 70) überlagert. Sie repräsentieren gegenüber den Landnutzungsdaten den deutlich aktuelleren Stand. Die aus der Verschneidung verbliebenen, ehemaligen Eisflächen des SEGER-Datensatzes wurden mittels Nachbarschaftsbeziehung dem Felsgelände oder Geröllhalden zugeordnet.

Eine weitere Ebene der PSINOT Verschneidungshierarchie bildet die digitale Bodenkarte Österreichs (eBOD; BFW, 2020). Die digitale Bodenkarte Österreichs nimmt mit einer Fläche von 821 km² 8 % der Gesamtfläche Nordtirols ein. Aus der eBOD wurden 924 unterschiedliche Bodenformen mit insgesamt 76.306 Entitäten bewertet.

Der Datensatz der Waldtypisierung Tirol (ATLR – Amt der Tiroler Landesregierung, 2020) deckt für PSINOT in Nordtirol eine Fläche von 4.462 km² ab, was 42 % der Gesamtfläche ausmacht. Ein Waldtyp ist dabei durch die Kombination der Standortmerkmale Lage, Klima, Boden und potenzielle natürliche Vegetation bestimmt. Insgesamt wurden für Nordtirol 166 Waldtypen unterschieden, wobei die Kategorie „Latschen, Grünerlen, Laubholz-Buschwälder, Verbuschende Flächen“ nach dem geologischen Substrat (Kalk, Silikat) und den HYGENOT - Abflusstypen weiter differenziert wurde. Auf diese Weise konnten hydrologisch stark unterschiedlich reagierende Einheiten wie „Latsche über lockerem Kalkschutt“ von „Grünerle auf silikatischen Feuchtflächen“ getrennt werden.

Die Infrastrukturdaten wurden aus der digitalen Katastralmappe (DKM; BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2020), der OpenStreetMap® (OSM, 2020) und zusätzlichen Datensätzen des Tiroler Rauminformationssystems (TIRIS, 2020) entnommen und bewertet.

Die beschriebenen Datengrundlagen wurden in der angeführten Reihenfolge verschnitten: 1.) Realraumtypen/Abflusstypen; 2.) HYGNOT Gletscher; 3.) Bodenformen eBOD; 4.) Waldtypisierung Tirol und 5.) Infrastrukturdaten. Die resultierende PSINOT Kategorienkarte wurde einer Geometrieprüfung unterzogen, Lücken gefüllt und Überlappungen bereinigt. Die minimale Entitätsgröße wurde mit 2 m² definiert, kleinere Flächen im Zuge des Postprozessings den Nachbarn mit der längsten gemeinsamen Grenze zugeschlagen. Insgesamt ergeben sich daraus 1.794 unterschiedliche hydrologische Kategorien untergliedert in über 1,5 Millionen Einzelflächen. Die größte zusammenhängende Entität ist eine Gletscherfläche mit 23,8 km² Ausdehnung. Die durchschnittliche Entitätsfläche beträgt 0,7 Hektar.

Bewertung

Jeder Bodenform der digitalen Bodenkarte Österreichs (eBOD; BFW, 2020) ist eine Profilstelle zugewiesen. Die Profilbeschreibung enthält normative Werte (Horizonttiefe, Zusammensetzung des Feinbodens, Humusgehalt), vor allem aber deskriptive Beschreibungen. Letztere wurden von der beschreibenden Bewertung via Pedotransferfunktionen in numerisch verwertbare Größen überführt. Beispielsweise wurde die Lagerungsdichte aus der Strukturansprache ermittelt (Gefüge, Porosität und Zerdrückbarkeit).

Für die weitere hydropedologische Bewertung wurde das Merkblatt DWA-M 922 „Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung“ herangezogen (Kohl et al. 2016; DWA 2020). Dieses unter Mitwirkung des BFW seitens der DWA Arbeitsgruppe „Bodenhydrologische Kartieranleitung“ entstandene Regelwerk erlaubt eine Bewertung von Abflussprozessen für derartige Profilsprachen.

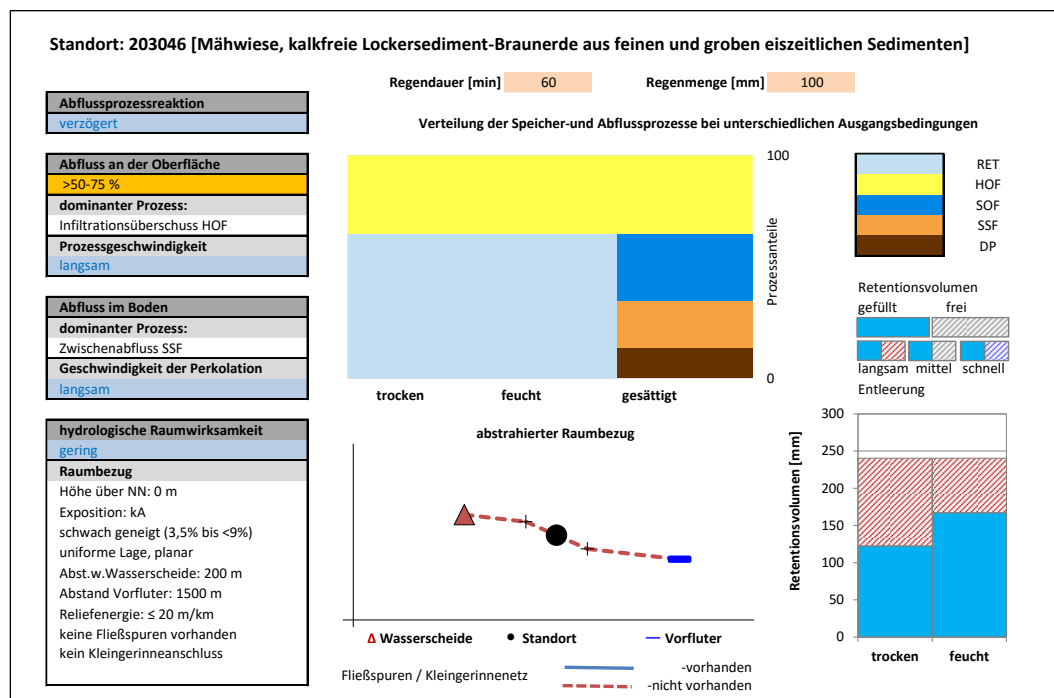


Abb. 1: Beispiel einer hydropedologischen Bewertung nach Merkblatt DWA-M 922.

Fig. 1: Example of hydropedological assessment according to Code of Practice DWA-M 922.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel der hydropedologischen Bewertung nach Merkblatt DWA-M 922 die Auswertung für eine Mähwiese auf einer kalkfreien Lockersediment-Braunerde. Diese Standortseinheit ist jene Bodenform, die in Nordtirol mit ca. 14 km² die größte Fläche der eBOD-Daten einnimmt. Als Hortonischer Oberflächenabfluss (HOF, gelb) gemeinsam mit gesättigtem Oberflächenabfluss (SOF, dunkelblau) resultiert auf diesem Standort bei einem normierten Starkregen von 100 mm in einer Stunde die Oberflächenabflussklasse 4 (>50-75 %). Die Prozessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses wird als „langsam“ ausgewiesen, was einer Oberflächenrauheitsklasse 3 entspricht (etwas glatt).

Für die Waldtypisierung Tirol werden im zugehörigen Waldtypenhandbuch für jeden Waldtyp die Standortmerkmale Lage, Boden, Nährstoff- und Wasserhaushalt dargestellt. Diesen typischen Bodenprofilen wurden im gegenständlichen Projekt anhand von Literaturdaten (z.B. Leitgeb et al. 2013; Blaser et al. 2005) bodenphysikalische Eigenschaften zugewiesen. Analog wie für die eBOD-Profile wurden daraus die benötigten Kennwerte mittels Pedotransferfunktionen abgeleitet und die entsprechenden hydropedologischen Auswertungen nach DWA vorgenommen.

Jene Landnutzungskategorien, die nicht durch die Waldtypisierung, nicht durch Bodenformen der eBOD und nicht durch Infrastrukturflächen oder Gletscher abgedeckt sind, nehmen 45 % der Landesfläche Nordtirols ein. Was im ersten Moment sehr viel erscheint, zeigt sich bei näherer Betrachtung als eher einheitlich. Nur wenige unterschiedliche Einheiten machen den Großteil der Flächen aus. 16 Prozent hiervon sind Felsgelände, 23 % Geröllhalden, 42 % alpine Rasen und Matten. Aus dem Datenpool des BFW aus unterschiedlichen Projekten in Nordtirol (Starkregensimulationen, Bodenaufnahmen, Bodenlaboranalytik) wurden repräsentative Profile für die hydropedologische Beschreibung dieser Klassen herangezogen. Dabei wurde nach der Verschneidung mit den hydro(geo)logischen Abflussprofiltypen, als Indikator für das bodenbildende Ausgangsmaterial, auch die unterschiedliche Bodenentwicklung in die Bewertung mit einbezogen.

Infrastrukturklassen wurden nach ihrem Versiegelungsgrad gewichtet, Gletscherflächen und stehende Gewässer wurden mit Abflussklasse AKL 6 und Rauheitsklasse 1 belegt (100 % Oberflächenabfluss; „sehr glatt“).

Resultate

Unter Zuhilfenahme qualitativ hochwertiger Eingangsdaten (Waldtypisierung Tirol, digitale Bodenkarte Österreichs, untergrundabhängige Abflussprozessstypen Nordtirols) konnten die angestrebten Projektziele erreicht werden:

- Gegenüber den bisher Tirol-weit verwendeten Grundlagen konnte ein einheitlicher, verbesserter, nachvollziehbarer a priori Datensatz als Grundlage für die N/A-Modellierung mit dem Modell ZEMOKOST für ganz Tirol erarbeitet werden. Abbildung 2 zeigt die resultierende Oberflächenabflussbeiwertkarte Nordtirol (PSINOT).
- Durch diese standardisierten, einheitlichen und verbesserten Eingangsparameter (Oberflächenabflussbeiwerte, Oberflächenrauheitsklassen) kann künftig die Nachvollziehbarkeit von N/A-Modellrechnungen im Wildbachbereich wesentlich besser gewährleistet werden. Diese flächendeckend vorhandenen, standardisierten Datengrundlagen ermöglichen belastbare Ergebnisse und bieten dadurch mehr Sicherheit für Projektanten und Sachbearbeiter.
- Mit der Verschneidung und Interpretation der Daten aus dem Datensatz „HYGENOT - Erweiterte Abflussbeiwertkarte für Nordtirol – Hydrogeologie“ (Straka et al. in diesem Heft) liegt nun ein Datensatz vor, der es erlaubt N/A-Modellrechnungen im Wildbachbereich über den Bereich von kleinen Gebieten mit vorwiegend Oberflächenabfluss und kurze Regendauerstufen hinaus zu parametrisieren. Erst dadurch konnten diese Daten für die N/A-Modellierung von Zwischenabfluss zugänglich gemacht werden.

- Der Ansatz ist kompatibel mit dem QGIS-Tool „Aufbereitung_ZEMOKOST“ (siehe Kammerlander et al., in diesem Heft). Der Anwender benötigt wie bisher eine Karte seines zu untersuchenden Einzugsgebietes mit einer Teilgebietsgliederung und der hierarchischen Knotentopologie. Unter Angabe des Speicherortes der nun allgemein verfügbaren Daten (Geländemodell, Gerinnenetz, AKL, RKL, ZAA und ZAF) kann ein Algorithmus die grundlegend notwendigen Input-Daten für das N/A-Modell ZEMOKOST generieren. Die vier Kartenwerke liegen als Shapefiles, einem als Quasistandard im Desktop-GIS-Umfeld verbreiteten Format, vor.

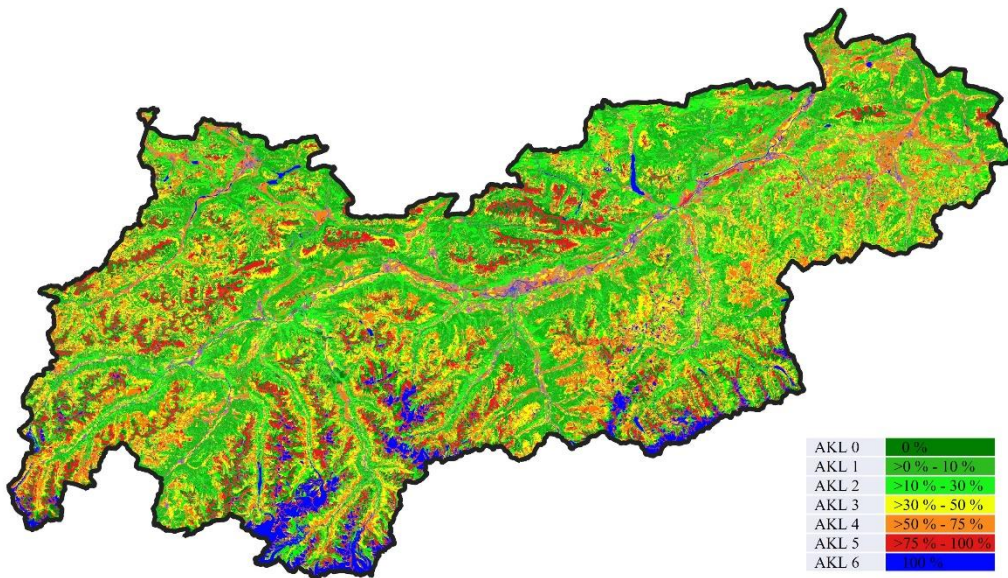


Abb. 2: Oberflächenabflussbeiwertkarte Nordtirol (PSINOT).

Fig. 2: Surface runoff coefficient map North Tyrol (PSINOT).

Validierung

An 721 Punkten, an denen für Nordtirol aus unterschiedlichen Projekten des BFW Bewertungen der Standortseigenschaften hinsichtlich ihres Abflussverhaltens zusammengetragen werden konnten (z.B. Geländeaufnahmen nach Markart et al. (2004), Beregnungsversuche, ...), wurde der neue Datensatz validiert. Hierdurch konnten vereinzelt Standortstypen nachjustiert und korrigiert werden. Die PSINOT Abflussbeiwertkarte zeigt mit einem $R^2 = 0,72$ eine hohe Korrelation zu diesen Validierungsaufnahmen. Dabei ist anzumerken, dass lokale Sonderstandorte ohne Flächenrelevanz das Ergebnis drücken (z.B. Aufnahmen an punktuellen Quellstandorten).

Auf der Ebene von Wildbacheinzugsgebieten wurde der neue Datensatz in Kombination mit den neu festgelegten Parametern Zwischenabflussanteil (ZAA) und Zwischenabflussfaktor (ZAF) aus dem Projekt HYGENOT und dem ebendort generierten Gewässernetz an neun neu zu bearbeitenden Wildbacheinzugsgebieten getestet. Die Größenordnung der Testgebiete lag zwischen 2 km^2 und 81 km^2 über Nordtirol verteilt. Die neuen PSINOT-Karten zeigen mit den Geländeaufnahmen der neun Testgebiete eine gute Übereinstimmung. Im Zuge der N/A-Modellrechnung ergaben sich Verbesserungen bei der Datenübernahme, aber auch neue Probleme hinsichtlich (semiautomatisierter) Teileinzugsgebietsgliederung und der Integration des Haupt- bzw. Feingerinnenetzes (siehe Kammerlander et al., in diesem Heft).

Für sieben weitere Testgebiete (vornehmlich aus dem Projekt HOWATI; Rogger et al., 2011) in der Größenordnung zwischen 7 km² und 64 km² wurden alte N/A-Modellrechnungen mit ZEMOKOST mit Modellrechnungen unter Verwendung der neu generierten PSINOT-Daten verglichen. Bei 300 Teileinzugsgebieten zeigt der Oberflächenabflussbeiwert zwischen den alten Daten und den PSINOT-Daten erwartungsgemäß eine hohe Korrelation (Abbildung 3, links). Die positiven und negativen Abweichungen sind annähernd gleich verteilt und die mittlere Abweichung beträgt 9 %. Bei der Oberflächenrauheitsklasse sind die Abweichungen etwas größer und die Korrelation etwas schwächer (Abbildung 3, rechts). Die PSINOT-Daten führen bei geringen Rauheiten tendenziell zu höheren Werten, aber die mittlere Abweichung beträgt mit 0,7 trotzdem weniger als eine Rauheitsklasse.

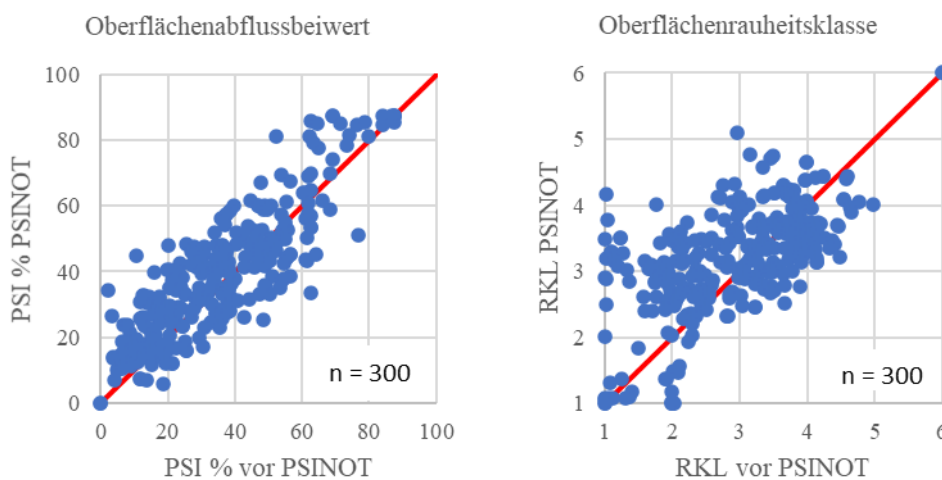


Abb. 3: Korrelation von Oberflächen-Abflusskoeffizienten und Rauheitswerten vor und nach PSINOT.
Fig. 3: Correlation of surface runoff coefficients and surface roughness values before and after PSINOT.

Abflussbeiwert und Oberflächenrauheit beeinflussen, als maßgebliche a priori Parameter für die Abflussbildung und Abflusskonzentration, naturgemäß die Hochwassererwartungswerte der N/A-Modellierungen von Wildbacheinzugsgebieten am meisten. Für die sieben Testgebiete wurde ZEMOKOST aus den alten Projekten mit aktuellen Bemessungsniederschlägen (BMLRT eHYD, 2020) neu aufgesetzt und mit den alten Abflussbeiwerten und Rauheitsklassen den Berechnungen mit den neuen PSINOT-Daten gegenübergestellt. Im Schnitt wirkt sich das für die Bemessungsrechnung der sieben Gebiete mit einer Steigerung des HQ₁₀₀ um 2 % aus. Die Spannweite innerhalb der Testgebiete reicht allerdings von minus 46 % bis plus 50 %. Im konkreten Einzelfall müssen diese Unterschiede einer genaueren, detaillierten Prüfung unterzogen werden.

Fazit

Mit den Projekten PSIOT und PSINOT liegen nun für ganz Tirol (12.640 km²) flächendeckend eine Abflussbeiwertkarte und eine Rauheitskarte für die Modellierung von Oberflächenabfluss vor. Dieser neue Datensatz wurde unter Verwendung der besten aktuell verfügbaren Grundlagendaten (eBOD, Waldtypisierung, Realraumtypen, HYGENOT) und mittels nachvollziehbarer, hydrogeologischer Bewertung (Merkblatt DWA-M 922) generiert. Durch diese standardisierten, einheitlichen und verbesserten Eingangsparameter (Oberflächenabflussbeiwerte, Oberflächenrauheitsklassen) kann künftig die Nachvollziehbarkeit von N/A-Modellrechnungen im Wildbachbereich in Tirol wesentlich besser gewährleistet werden.

Anschrift der Verfasser/Author's adresses

Dr. Bernhard Kohl
Bundesforschungszentrum für Wald
Rennweg 1, Hofburg, 6020 Innsbruck
bernhard.kohl@bfw.gv.at

Dr. Gerhard Markart
Bundesforschungszentrum für Wald
Rennweg 1, Hofburg, 6020 Innsbruck
gerhard.markart@bfw.gv.at

DI Manfred Pittracher (i.R.)
Wildbach- und Lawinenverbauung, Forsttechnischer Dienst, Sektion Tirol
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
manfred.pittracher@aon.at

DI Leopold Stepanek
Wildbach- und Lawinenverbauung, Forsttechnischer Dienst, Sektion Tirol
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
Leopold.Stepanek@die-wildbach.at

Dr. Johannes Kammerlander
Wildbach- und Lawinenverbauung, Forsttechnischer Dienst, Sektion Tirol
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
Johannes.Kammerlander@die-wildbach.at

DI Gebhard Walter
Wildbach- und Lawinenverbauung, Forsttechnischer Dienst, Sektion Tirol
Wilhelm-Greil-Straße 9, 6020 Innsbruck
Gebhard.Walter@die-wildbach.at

Dr. Wolfgang Straka
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Geologie
Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien
wolfgang.straka@boku.ac.at

Dr. Thomas Strauhal
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Geologie
Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien
thomas.strauhal@boku.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Christian Zangerl
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Geologie
Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien
Christian.j.zangerl@boku.ac.at

Literatur/References

- ATLR - Amt der Tiroler Landesregierung (2020). Waldtypisierung Tirol – Waldtypenhandbuch <https://www.tirol.gv.at/umwelt/wald/schutzwald/waldtypisierung/waldtypenhandbuch/> .
- BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2020). Digitaler Kataster - Grundstücke Tirol. www.bev.gv.at .
- BFW (2020). Digitale Bodenkarte von Österreich - eBOD: <https://bodenkarte.at/> .
- Blaser, P., Zimmermann, S., Luster, J., Walthert, L., Lüscher, P. (2005). Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Eidg. Forschungsanstalt WSL and Hep Verlag, Birmensdorf and Bern, Switzerland.
- BMLRT eHYD (2020): eHyd-Auswertungen - Karte Bemessungsniederschlag; <https://ehyd.gv.at/> .
- DWA (2020). Merkblatt DWA-M 922 Bodenhydrologische Kartierung und Modellierung. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. 194 Seiten, ISBN 978-3-88721-912-3.
- Kammerlander, J., Kohl, B., Moser, M. (2020). PRAXISLEITFADEN Niederschlag-Abfluss Modellierung in der Wildbachverbauung, Teil ZEMOKOST. BMLRT, Abt. III/4 Wildbach- und Lawinenverbauung und Schutzwaldpolitik, Wien.
- Kohl B., Klebinder, K., Sotier, B., Markart, G., Meissl, G. (2016). Profilsprache, Kartierung, Regensimulation Erkennen, Abbilden und Validieren der räumlichen Heterogenität von Abflussprozesse. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Hennef, (36.16): 9-20.
- Kohl, B., Sotier, B. (2016). Erarbeitung eines bodenhydrologischen Datensatzes - Bodendaten für ein Wasserhaushaltsmodell für das Einzugsgebiet der Drau einschließlich Isel. BFW-Projektbericht im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung Abteilung Wasserwirtschaft Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie. 24 S.
- Kohl, B., Stepanek, L. (2005). ZEMOKOST – neues Programm für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen. BFW-Praxisinformation, 8, 21–22.
- Kohl, B. (2011). Das Niederschlags-/Abflussmodell ZEMOKOST. Dissertation, Universität Innsbruck, 264 S.
- Leitgeb, E., Reiter, R., Englisch, M., Lüscher, P., Feger, K. H. (Eds.). (2013). Waldböden: ein Bildatlas der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz. John Wiley & Sons.
- Markart, G., Kohl, B., Sotier, B., Schauer, T., Bunza, G., Stern, R. (2004). Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). Bundesamt und Forschungszentrum für Wald.
- OSM - OpenStreetMap® (2020): <https://www.openstreetmap.org/copyright> .
- Pirkl, H. (2012). Untergrundabhängige Abflussprozesse. Kartierung und Quantifizierung für das Bundesland Tirol Flächendeckende Aufnahme Osttirols. Endbericht, im Auftrag von: Amt der Tiroler Landesregierung, Hydrographie und Hydrologie, Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol, GeoÖko Techn. Büro für Geologie, Wien.
- Pirkl, H. (2016). Multidisziplinäres Verständnis alpiner Wildbacheinzugsgebiete. Berichte der Geologischen Bundesanstalt, 114, Wien.
- Pirkl, H., Sausgruber, T. (Hrsg.) (2015). Handbuch zur qualitativen und quantitativen Erfassung untergrundabhängiger Abflüsse in Wildbacheinzugsgebieten. Wildbach- und Lawinenverbauung, Stabstelle Geologie, Innsbruck.
- Rogger, M., Kohl, B., Pirkl, H., Hofer, M., Kirnbauer, R., Merz, R., ..., Blöschl, G. (2011). HOWATI–HochWasser Tirol – Ein Beitrag zur Harmonisierung von Bemessungshochwässern in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 63(7), 153-161.
- Seger, M. (2001). Rauminformationssystem Österreich – ein digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 2, 101-110.
- Straka, W., Zangerl, C. (2021). HYGNOT Erweiterte Abflussbeiwertkarte für Nordtirol – Hydrogeologie. Endbericht, im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol; Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Wien.
- TIRIS - Tiroler Rauminformationssystem (2020): <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/> .