

GIS-gestützte Ausweisung potenzieller Trockenzonen in Südtirol

Identificazione di potenziali zone secche in Alto Adige tramite GIS

Abschlussbericht - Relazione finale



© U. Schirpke, 2010

Bearbeitung - Elaborazione:

Uta Schirpke

Europäische Akademie Bozen / Accademia Europea di Bolzano
Institut für Alpine Umwelt / Istituto per l'Ambiente Alpino
Drususallee / Viale Druso 1
39100 Bozen / Bolzano

EURAC
research

Auftraggeber - Committente:

Autonome Provinz Bozen / Provincia Autonoma di Bolzano
Amt für Gewässerschutz / Ufficio Tutela Acque
Landhaus / Palazzo 9,
Ambo Alagi-Str. / via Ambo Alagi 35
39100 Bozen / Bolzano

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL
Landesagentur für Umwelt



PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTOADIGE
Agenzia provinciale per l'ambiente

Bozen / Bolzano, 30.09.2011

Inhalt

Contenuto

Einleitung

Introduzione

1

Methodik

Metodologia

2

Wassereinzugsgebiete

Bacini idrografici

3

Niederschlag

Precipitazioni

4

Verdunstung

Evapotraspirazione

6

Wasserbilanz

Bilancio idrico

8

Ergebnis

Risultato

10

Literatur

Bibliografia

14

Einleitung

Südtirol liegt auf der Alpensüdseite und gehört zur gemäßigten Klimazone. Hohe Gebirgsketten beeinflussen maßgeblich das Klima und die Niederschläge. Im Norden des Landes bilden die Ötztaler, Stubai und Zillertaler Alpen sowie die Hohen Tauern eine Barriere, wodurch der nördliche Kaltluft Einfluss abgeschwächt wird. Während es an den nördlichen Staulagen zu Niederschlag kommt, sind die südlichen Leeseiten meist mild und trocken. Dolomiten und Ortler-Cevedale-Massiv blocken hingegen teilweise die Feuchtluftmassen vom Mittelmeerraum ab und verringern die Niederschläge. Zusätzlich sind das Eisacktal, das Sarntal und das Passeiertal als Quertäler transversal zur Hauptrichtung der Gebirgskämme ausgerichtet. Diese abgeschirmte Lage führt dazu, dass die Niederschlagsmengen spürbar geringer sind im Vergleich zu denen umliegender Gebiete und die jährliche Niederschlagsmenge nur selten die 1000 mm übersteigt. Vor allem der Vinschgau mit 400 bis 600 mm Niederschlag pro Jahr zählt zu den trockensten Tälern des gesamten Alpenraums.

Aufgrund des Niederschlagsmangels in Trockengebieten ist aus landwirtschaftlicher Sicht die Bewässerung unverzichtbar. Stauseen dienen zur Vorratshaltung, damit die wasserintensive Landwirtschaft auch in den wasserarmen Monaten genug Vorräte hat und das verfügbare Wasser entsprechend verteilt wird. In den Alpen sind Berieselungsanlagen vorwiegend in den inneralpinen Trockentälern wie im Vinschgau anzutreffen.

Die Landwirtschaft steht im Konflikt mit den Interessen der Hydroelektrik, Industrie, technischen Beschneiung, Trinkwasserversorgung und dem Umweltschutz. Um diese gegensätzlichen Interessen auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, überarbeitet die Landesregierung der autonomen Provinz Bozen in Anlehnung an die EU-Richtlinie 2000/60/EG den Wassernutzungsplan von 1986. Im neuen

Introduzione

L'Alto Adige si trova sul versante meridionale delle Alpi ed è una zona a clima temperato. Le alte catene montuose circostanti ne influenzano il clima e le precipitazioni in modo determinante. A nord della regione le Alpi Venoste, dello Stubai e dello Zillertal, assieme agli Alti Tauri formano una barriera che indebolisce le correnti fredde da nord. Infatti nelle zone di Stau del versante nord si verificano precipitazioni, mentre i versanti esposti a sud sono caratterizzati da un clima più temperato e secco. Le Dolomiti e il gruppo dell'Ortles-Cevedale bloccano parzialmente le masse d'aria umida provenienti dall'area mediterranea creando così una diminuzione delle precipitazioni. Inoltre la Valle Isarco, la Val Sarentino e la Val Passiria, in quanto valli laterali, sono disposte trasversalmente rispetto alle creste delle catene montuose. Le precipitazioni sono decisamente ridotte rispetto alle aree circostanti e la quantità di pioggia raramente supera i 1000 mm annuali. In particolare la Val Venosta, che registra precipitazioni tra 400 e 600 mm annui, è una delle valli più secche dell'intero arco alpino.

A causa delle ridotte precipitazioni nelle zone secche, l'irrigazione è, dal punto di vista agricolo, irrinunciabile. I laghi artificiali fungono in questo contesto da serbatoi che permettono a tipologie agricole particolarmente bisognose d'acqua di avere scorte sufficienti anche durante i mesi di siccità. Nelle Alpi infatti gli impianti di irrigazione si trovano principalmente nelle valli interne più aride, come la Val Venosta.

L'agricoltura è in competizione con le richieste dei settori idroelettrico, industriale, con la produzione di neve artificiale, l'approvvigionamento idrico e la protezione ambientale. Per trovare un denominatore comune a tutti questi interessi spesso in contrasto tra loro la Provincia Autonoma di Bolzano rielabora il piano generale per l'utilizzazione delle acque pubbliche del 1986 alla luce della direttiva europea EU 2000/60/EG. Il nuovo piano intende assicurare l'approvvi-

Wassernutzungsplan soll die Sicherung des Trinkwassers festgelegt werden, gefolgt vom Restwasser, dem Wasser für die Beregnung landwirtschaftlicher Gründe, für die Fischerei, für die Stromerzeugung und für die Beschneiung.

gionamento di acqua potabile, seguito dallo smaltimento delle acque reflue, dall'acqua per l'irrigazione di terreni agricoli, per la pesca, per le centrali idroelettriche e per la neve artificiale.

Methodik

Metodologia

Die Abgrenzung der potentiellen Trockenonen basiert auf der Erstellung einer Wasserbilanz mit den Eingangsgrößen Niederschlag und Verdunstung. Die Berechnung erfolgt auf Rasterflächen mit einer räumlichen Auflösung von 20 m für die gesamte Fläche Südtirols. Während der Niederschlag aus Messdaten stammt, wird die Verdunstung in Abhängigkeit der Landbedeckung sowie der Topographie berechnet. Um die Wasserbilanz für Wassereinzugsgebiete zu erstellen, werden die einzelnen Rasterflächen zu einem Wert pro Wassereinzugsgebiet zusammengefasst.

La delimitazione delle potenziali zone secche si basa sull'elaborazione di un bilancio idrico che riporti i valori delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione. La superficie totale dell'Alto Adige viene suddivisa in raster con una risoluzione spaziale di 20 m. Mentre i dati sulle precipitazioni sono stati raccolti tramite delle misurazioni, quelli sull'evapotraspirazione vengono calcolati in base alla copertura del suolo e alla topografia. Per elaborare un bilancio idrico dei bacini idrografici, viene calcolato un valore medio per bacino.

Tab. 1: Datengrundlage / Dati di base.

Daten / Dati	Datenquelle / Fonte dei dati
• Niederschlagsdaten Dati sulle precipitazioni	Hydrographisches Amt der autonomen Provinz Bozen / Ufficio idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano
• Abflussdaten Dati sui deflussi	
• Digitales Geländemodell Modello digitale del terreno	Amt für Landesplanung der autonomen Provinz Bozen / Ufficio Pianificazione territoriale della Provincia Autonoma di Bolzano
• Realnutzungskarte Carta dell'uso del suolo	
• Gewässernetz Dati sulla rete idrografica	Amt für Gewässerschutz der autonomen Provinz Bozen / Ufficio Tutela Acque della Provincia Autonoma di Bolzano

Wassereinzugsgebiete

Die Abgrenzung der Wassereinzugsgebiete erfolgt im GIS. Auf Grundlage des Gewässernetzes wurde an jedem Zusammenfluss ein Auslasspunkt für die Einzugsgebiete definiert. Somit bezieht sich das Einzugsgebiet eines kleinen Fließgewässers auf den Punkt, an dem das Gewässer in ein Gewässer höherer Ordnung mündet.

Bacini idrografici

La delimitazione dei bacini idrografici viene definita con l'ausilio del GIS. Basandosi sui dati relativi alla rete idrografica è stata definita per ogni punto di confluenza una sezione di chiusura. In tal modo il bacino idrografico di un piccolo corso d'acqua fa riferimento al punto in cui le acque di tale corso d'acqua confluiscono nelle acque di un corso d'acqua maggiore.



Fig. 1: Abgrenzung der Einzugsgebiete / Delimitazione dei bacini idrografici.

Da der oberirdische Abfluss von den topographischen Verhältnissen bestimmt wird, wurde zuerst ein depressionsloses DGM erzeugt und außerdem das digitale Gewässernetz „eingebrannt“ (Hellweger, 1997), so dass die Fließrichtung des DGMs mit dem vorhandenen Gewässernetz übereinstimmt. Unterirdische Abflüsse können dabei nicht berücksichtigt werden, da diese von der Geologie abhängen und auch in ein anderes Tal gelangen und damit dem Grundwasser eines anderen Einzugsgebietes zuströmen. Anschließend kann die

Poiché lo scorrimento delle acque superficiali è determinato dalle condizioni topografiche è stato creato un DTM privo di depressioni locali e la rete idrologica esistente è stata impressa abbassando i valori del DTM (Hellweger, 1997) per creare le direzioni di deflusso corrispondenti a quelle esistenti. In questo modo tuttavia non si può tenere conto delle acque sotterranee poiché il loro scorrimento dipende dalle condizioni geologiche e possono scorrere in una valle differente, confluendo così quindi nella falda acquifera di un altro bacino idrografico. Si può

Fläche auf Basis des DGMs bzw. der Fließrichtung und dem definierten Gebietsauslass abgegrenzt werden. Dabei wurden nur Gebiete mit einer Fläche > 10 km² berücksichtigt. Zwischen den verschiedenen Einzugsgebieten kleinerer Gewässer und jenen höherer Ordnung können Untereinzugsgebiete entstehen, die eine Fläche < 10 km² haben. Diese wurden in einem anschließenden Schritt vom Amt für Gewässerschutz der autonomen Provinz Bozen teilweise mit anderen Einzugsgebieten zusammengefasst.

infine definire il perimetro della superficie sulla base del DTM o, più precisamente, della direzione di scorrimento e della sezione di chiusura precedentemente identificata. Sono state tenute conto esclusivamente di aree con una superficie > 10 km². Tra i diversi bacini piccoli e quelli di grandezza superiore possono rimanere dei bacini di dimensioni intermedie con superficie < 10 km². Questi ultimi sono stati parzialmente associati dall’Ufficio Tutela Acque della Provincia Autonoma di Bolzano ad altri bacini, in una fase successiva.

Niederschlag

Da es sich bei den gemessenen Niederschlagsdaten um punktuelle Messungen handelt, muss der Punktniederschlag zur Bestimmung des flächenhaften Wasserangebots auf das Gebiet übertragen werden: über einen deterministischen Ansatz (ArcGIS: Spline mit Option TENSION) wird der Gebietsniederschlag aus den Stationsniederschlägen flächenhaft interpoliert, wobei der mittlere Jahresniederschlag von 1981-2010 aus 85 Stationen verwendet wird. Zusätzlich wird die Zunahme der Niederschläge mit der Höhe berücksichtigt (Sevruk, 1997). Bei der Spline-Interpolation wird eine Oberfläche anhand von Punkten mit minimaler Krümmung durch Verwendung zweidimensionaler Polynome zwischen den einzelnen Datenpunkten erstellt. Die resultierende glatte Oberfläche durchläuft exakt die Datenpunkte. Der Algorithmus für das Werkzeug "Spline" verwendet für die Oberflächeninterpolation die folgende Formel:

Precipitazioni

Poiché i valori delle precipitazioni sono raccolti puntualmente da stazioni meteorologiche, è necessario interpolare i dati per stabilire l’entità di precipitazioni in tutta l’area: le precipitazioni nel bacino si ottengono mediante un approccio deterministico di interpolazione spaziale (ArcGIS: Spline con tensione) dai valori delle stazioni meteorologiche utilizzando le precipitazioni medie annue degli anni 1981-2010 di 85 stazioni. Inoltre viene considerato l’aumento delle precipitazioni con l’altitudine (Sevruk, 1997). Grazie all’interpolazione Spline viene elaborata una superficie sulla base di punti dalla curvatura minima tramite l’utilizzo di polinomi bidimensionali posti tra i punti di rilevamento dei dati. Ne risulta una superficie liscia che passa esattamente per i punti dati. L’algoritmo per lo "Spline" si serve della seguente formula per l’interpolazione della superficie:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \beta_j R(r_j) \quad (1)$$

j: 1, 2, ..., N

N: Anzahl der Punkte / numero di punti

β_j : durch die Lösung eines Systems linearer Gleichungen ermittelten Koeffiziente / coefficiente ottenuto dalla soluzione di un sistema di equazioni lineari

r_j : Entfernung des Punktes (x,y) zum j-ten Punkt / distanza del punto (x, y) al punto j

T(x,y), R(r) werden je nach gewählter Option unterschiedlich definiert / assumono un valore diverso in base all’opzione scelta

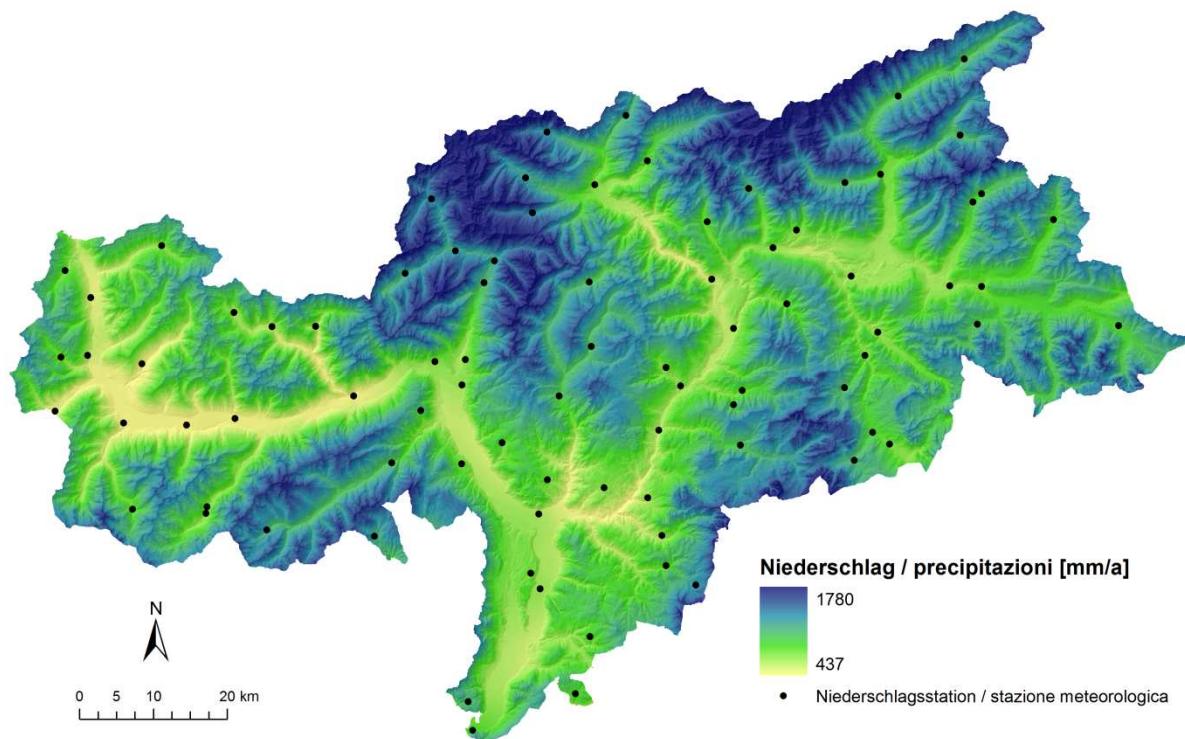


Fig. 2: Niederschlag / Precipitazioni.

Die Option TENSION ändert die Minimierungs-kriterien, sodass Werte der ersten Ableitung in die Minimierungskriterien integriert werden. Der Parameter Gewichtung ϕ (Phi) gibt die Gewichtung an, die die Minimierung regelt. Dabei gilt:

L'opzione TENSION modifica i criteri di minimizzazione in modo che i valori della prima derivata vengano integrati nei criteri di minimizzazione stessi. Il parametro ponderazione ϕ (Phi) regola il processo di minimizzazione. In questo contesto vale:

$$T(x, y) = a_1 \quad (2)$$

a_1 : ein durch die Lösung eines Systems linearer Gleichungen ermittelter Koeffizient / coefficiente dato dalla soluzione di un sistema di derivate lineari

und:

e:

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\varphi^2} \left[\ln\left(\frac{r\varphi}{2}\right) + c + K_0(r\varphi) \right] \quad (3)$$

r : Entfernung zwischen dem Punkt und der Referenz / distanza tra il punto e il referenziale

φ^2 : Gewichtung / ponderazione

K_0 : modifizierte Bessel-Funktion / funzioni di Bessel modificate

c : Konstante / costante: 0,577215

Verdunstung

Evapotraspirazione

Die Verdunstung wird aufgrund der Landbedeckung und dem Einfluss der Topographie berechnet. Dazu wird als Basis die Realnutzungskarte Südtirol verwendet und jeder Klasse eine mittlere Verdunstungsrate zugeordnet (siehe Tab. 2). Da die Realnutzungskarte Wein- und Obstbau nicht unterscheidet, wurde eine neue erweiterte Karte erzeugt, die diese beiden Klassen beinhaltet. Anschließend wurde ein Rasterdatensatz mit einer räumlicher Auflösung von 20 m erstellt.

L'evapotraspirazione viene calcolata in base alla copertura del suolo e all'influenza della topografia. Strumento di base è la carta dell'uso del suolo e ad ogni classe viene subordinato un valore medio di evapotraspirazione (vedi Tab. 2) Dato che la carta dell'uso del suolo non fa distinzione tra vigneti e frutteti è stata sviluppata una carta più dettagliata in cui tale distinzione è evidente. Infine è stato trasformato in un raster a con una risoluzione spaziale di 20 m.

Tab. 2: Mittlere Verdunstungsraten (ET) für verschiedene Landbedeckungen (nach Fecht et al.; Wieser et al.; Wasserbedarf und Fruchtwachstum beim Apfel: Prof. Dr. Peter Braun, Fachhochschule Geisenheim; Wasserbedarf von Wein: Peter Cepuder (BOKU)). / Valori di evapotraspirazione medi (ET) per diversi tipi di superficie (secondo Fecht et al.; Wieser et al.; Wasserbedarf und Fruchtwachstum beim Apfel: Prof. Dr. Peter Braun, Fachhochschule Geisenheim; Wasserbedarf von Wein: Peter Cepuder (BOKU)).

Landbedeckung / Copertura del suolo	ET [mm/d]
Siedlungsflächen / Superfici residenziali	1
Weinbau / Vigneti	4.92
Obstbau / Frutteti	6.40
Sonstige landwirtschaftliche Flächen / Altre superfici agricole	2.60
Krummholz, Hecken und Flurgehölze / Arbusti, siepi e alberature	2.77
Wald / Bosco	2.01
Grünland (Talboden) / Prateria (a valle)	2.60
Grünland (Almen) / Prateria (in malghe)	1.90
Fels, Vegetationsloses Lockermaterial / Roccia, Zone detriche prive di vegetazione	1.71
Gletscher / Ghiacciaio	0.21
Feuchtflächen, Gewässer / Aree umide, corsi e bacini d'acqua	2.58

Da sich die Länge der Vegetationsperiode mit der Höhenlage ändert, lassen sich die Vegetationstage V_d auf Basis des digitalen Geländemodells nach Harflinger & Knees (1999) berechnen:

Poiché la durata della fase vegetativa cambia a seconda dell'altitudine, i giorni di vegetazione V_d possono essere calcolati sulla base del modello digitale del terreno secondo Harflinger & Knees (1999):

$$V_d = -0.00001113 \times x^2 - 0.0409 \times x + 266.6 \quad (4)$$

x: Höhe ü.NN / altitudine slm

Auf Basis des digitalen Geländemodells wird außerdem ein Faktor für die Verdunstung in Abhängigkeit der Exposition berechnet. Dabei wird angenommen, dass ein Hang entsprechend mehr verdunstet je mehr er nach Süden exponiert ist. Bei südexponierten Hängen mit einer Neigung > 5° steigert sich die Verdunstung bis zu 20% und es lässt sich dementsprechend ein gradueller Korrekturfaktor F_a berechnen. Die Exposition und die Hangneigung werden aus dem digitalen Geländemodell abgeleitet. Für eine Hangneigung > 5° gilt:

$$F_a = 120 - \frac{\left| \frac{180-a}{180 \times 20} \right|}{100} \quad (5)$$

a : Exposition / esposizione [°]

Die Verdunstung ergibt sich aus der Verdunstungsrate pro Landnutzungstyp, die mit der Vegetationsdauer multipliziert wird. Da auch außerhalb der Vegetationsperiode Verdunstung stattfindet, wird diesem Zeitraum eine einheitliche Verdunstungsrate zugewiesen, die der Verdunstung einer Schneedecke entspricht. Somit ergibt sich eine Verdunstung pro Rasterfläche ET_m :

Inoltre, sempre basandosi sul modello digitale del terreno, viene calcolato un fattore per l' evapotraspirazione in base all'esposizione. Per fare ciò si parte dal presupposto che un pendio più è esposto a sud, più è soggetto ad evapotraspirazione. Per i pendii esposti a sud con un'inclinazione > 5° l' evapotraspirazione aumenta fino a un 20% e ciò rende possibile il calcolo di un fattore di correzione graduale F_a . L'esposizione e l'inclinazione sono deducibili dal modello digitale del suolo. Per un'inclinazione > 5° vale quanto segue:

L'evapotraspirazione risulta dal tasso di evapotraspirazione delle varie tipologie di uso del suolo moltiplicato per la durata del periodo vegetativo. Poiché l'evaporazione si verifica anche al di fuori del periodo vegetativo, a questo periodo viene assegnato un valore di evaporazione unitario che corrisponde all'evaporazione di un manto nevoso. In tal modo si ottiene per ogni superficie della griglia ET_m la seguente evapotraspirazione:

$$ET_m = (ET_i \times V_d + (365 - V_d \times E_{nveg})) \times F_a \quad (6)$$

ET_i : Evapotranspiration in Abhängigkeit der Landbedeckung i / evapotraspirazione in base alla copertura del suolo i

V_d : Anzahl der Vegetationstage / numero di giorni vegetativi

E_{nveg} : Verdunstung außerhalb der Vegetationsperiode / evaporazione al di fuori del periodo vegetativo

F_a : Faktor für Verdunstung in Abhängigkeit der Exposition für Hänge mit einer Neigung > 5° / fattore che indica l'evapotraspirazione in base all'esposizione del pendio con inclinazione > 5°

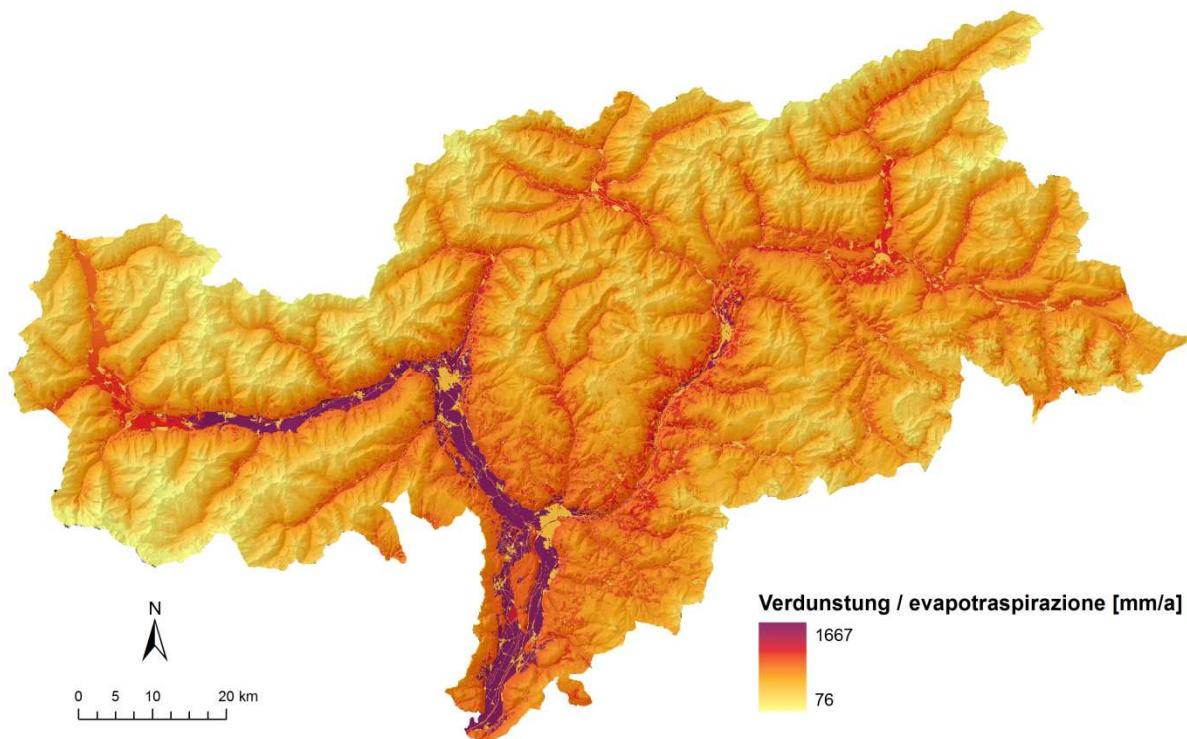


Fig. 3: Verdunstung / Evapotraspirazione.

Wasserbilanz

Da nicht der gesamte Niederschlag der Vegetation zur Verfügung steht aufgrund von Interzeption, Abfluss und Versickerung, muss der Gebietsniederschlag reduziert werden. Die Berechnung des Abflussanteils erfolgt über Messdaten des Pegels Branzoll mit einer Einzugsgebietsfläche von 6,734 km². Für dieses Gebiet ergibt sich ein mittlerer jährlicher Niederschlag von 998 mm für den Zeitraum von 1981-2010. Für denselben Zeitraum wurde ein mittlerer jährlicher Abfluss von 71 m³/s gemessen, der einem Anteil von 33.4% des Gebietsniederschlags entspricht.

Für jede Rasterfläche berechnet sich die Wasserbilanz WB_m aus dem Niederschlag, Abfluss und der Verdunstung:

Bilancio idrico

Poiché le precipitazioni non vengono completamente assorbiti dalla vegetazione a causa di intercettazioni, deflussi e infiltrazioni, le precipitazioni sulla superficie del bacino devono essere ridotte. Il calcolo del deflusso avviene grazie ai dati delle stazioni idrometriche di Bronzolo che misurano dati provenienti da una superficie di 6,734 km². Per quest'area risulta una media annua delle precipitazioni di 998 mm per il periodo da 1981-2010. Per lo stesso periodo è stato registrato una portata media annua di 71 m³/s, che corrisponde al 33.4% delle precipitazioni in questa zona.

Per ogni singola area del raster il bilancio idrico WB_m risulta dalle precipitazioni, i deflussi e dall'evapotraspirazione:

$$WB_m = P_m \times b_R - ET_m \quad (7)$$

P_m : Niederschlag pro Rasterfläche / precipitazioni per ogni area del raster

b_R : Prozentualer Anteil Abfluss / portata in percentuale

ET_m : Verdunstung pro Rasterfläche / evapotraspirazione su ogni area del raster

Die Wasserbilanz pro Einzugsgebiet WB_{EZG} ergibt Il bilancio idrico per ogni bacino idrografico sich aus: WB_{EZG} viene calcolato così:

$$WB_{EZG} = \sum_1^m WB_m \quad (8)$$

m : Rasterfläche / griglia

WB_m : Wasserbilanz pro Rasterfläche / bilancio idrico per ogni area della griglia

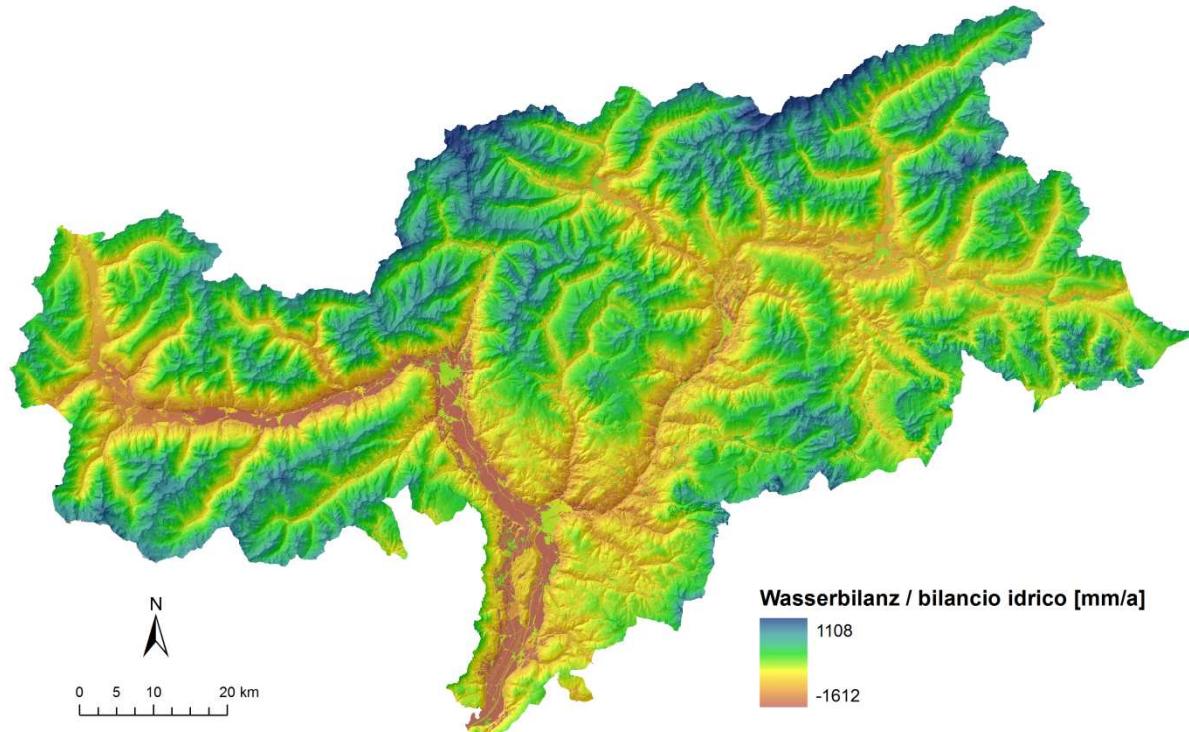


Fig. 4: Wasserbilanz pro Rasterfläche / Bilancio idrico per area della griglia.

Ergebnis

Risultato

Um das Ergebnis zu überprüfen, wird die Verdunstung aus der Wasserhaushaltsgleichung berechnet:

$$P = ET + R + \Delta S$$

(9)

P: Niederschlag / precipitazioni

ET: Evapotranspiration / evapotraspirazione

R: Abfluss / deflusso

ΔS : Speicheränderung (vernachlässigbar) / Cambiamento delle riserve (trascurabile)

Für das Einzugsgebiet des Pegels Branzoll ergibt sich eine mittlere jährliche Verdunstung von 665 mm. Aus dem Modell ergibt sich eine Verdunstung von 454 mm. Das entspricht 68% der berechneten Verdunstung aus der Wasserhaushaltsgleichung. Jedoch muss auch bei den Eingangsdaten mit Fehlern gerechnet werden. So liegen Messfehler der Stationsniederschläge oft bei über 10% (Baumgartner & Liebscher, 1996) und außerdem kommen erhebliche Unsicherheiten in der Modellierung des Gebietsniederschlages hinzu.

Per verificare il risultato viene calcolata l'evapotraspirazione a partire dall'equazione del bilancio idrico:

Per il bacino idrografico delle stazioni idrometriche di Bronzolo risulta un'evapotraspirazione media annuale di 665 mm. Dal modello risulta un' evapotraspirazione di 454 mm. Tale valore corrisponde al 68% dell'evapotraspirazione calcolata partendo dall'equazione del bilancio idrico. Tuttavia bisogna tener conto anche di possibili errori nei dati di base. Misurazioni errate delle precipitazioni corrispondono spesso a più del 10% (Baumgartner & Liebscher, 1996), a ciò si aggiungono imprecisioni notevoli nella modellazione delle precipitazioni per il bacino idrografico.

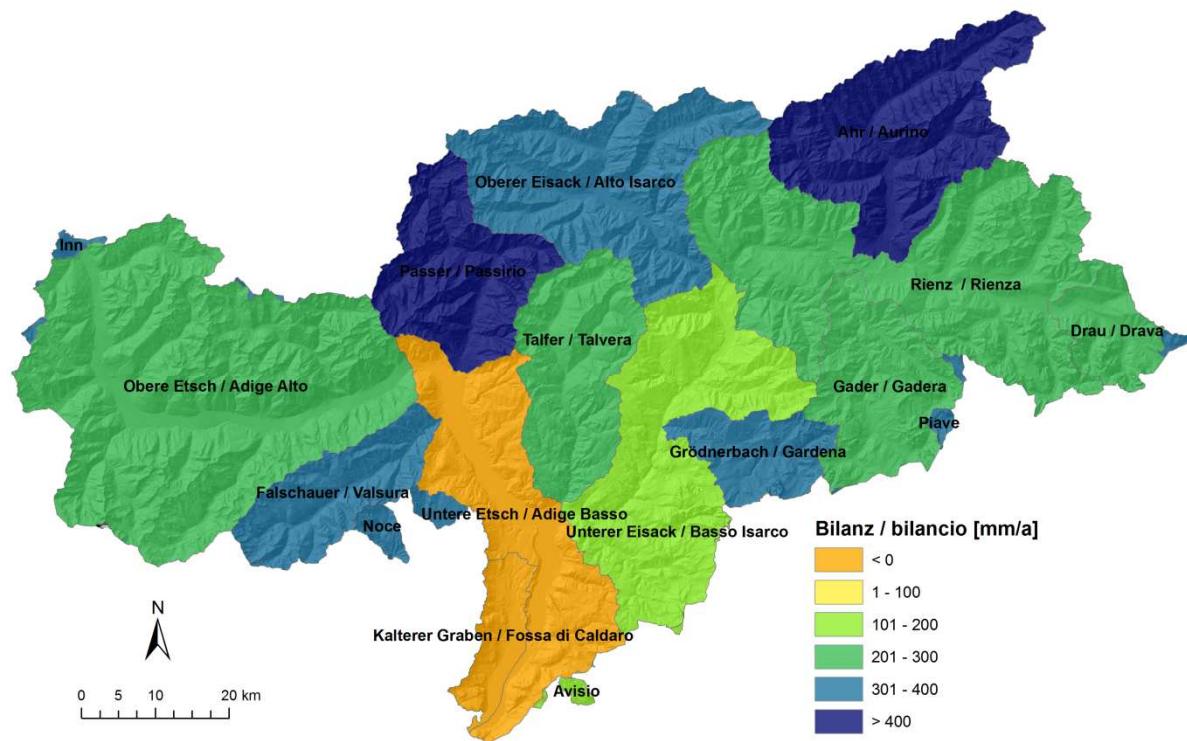


Fig. 5: Wasserbilanz pro Haupteinzugsgebiet. / Bilancio idrico per bacino idrografico principale.

Tab. 3: Wasserbilanz und Fläche für die Haupteinzugsgebiete Südtirols (s. Fig. 5). / Bilancio idrico e area per i bacini idrografici principali dell'Alto Adige (vedi. Fig. 5).

Einzugsgebiet / Bacino idrografico	Fläche / area [km ²]	Bilanz / bilancio [mm/a]
Obere Etsch / Adige Alto	1546	218
Rienz / Rienza	1078	260
Unterer Eisack / Basso Isarco	757	129
Oberer Eisack / Alto Isarco	664	369
Ahr / Aurino	634	417
Untere Etsch / Adige Bass	602	-155
Talfer / Talvera	425	263
Passer / Passirio	413	415
Gader / Gadera	382	261
Falschauer / Valsura	281	384
Grödnerbach / Gardena	197	362
Drau / Drava	160	287
Kalterer Graben / Fossa di Caldaro	129	-308
Noce	60	337
Piave	26	387
Inn	21	327
Avisio	15	161

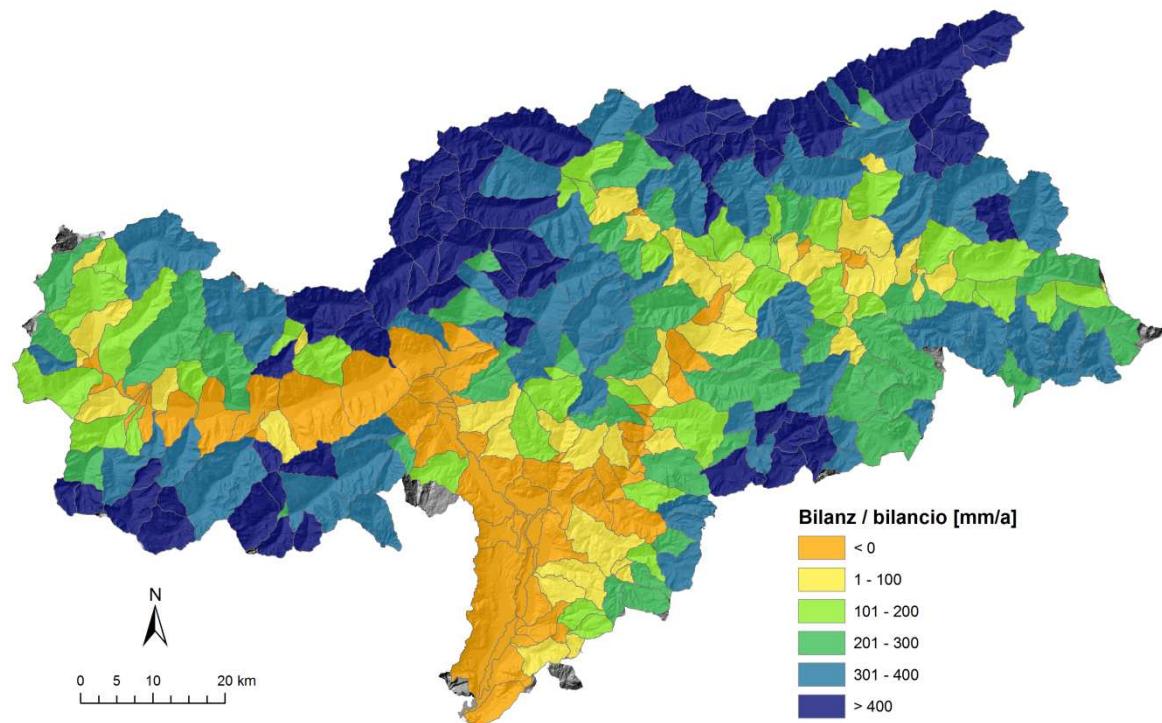


Fig. 6: Wasserbilanz pro Einzugsgebiet (abgeleitet vom DGM). / Bilancio idrico per bacino idrografico (derivato dal DTM).

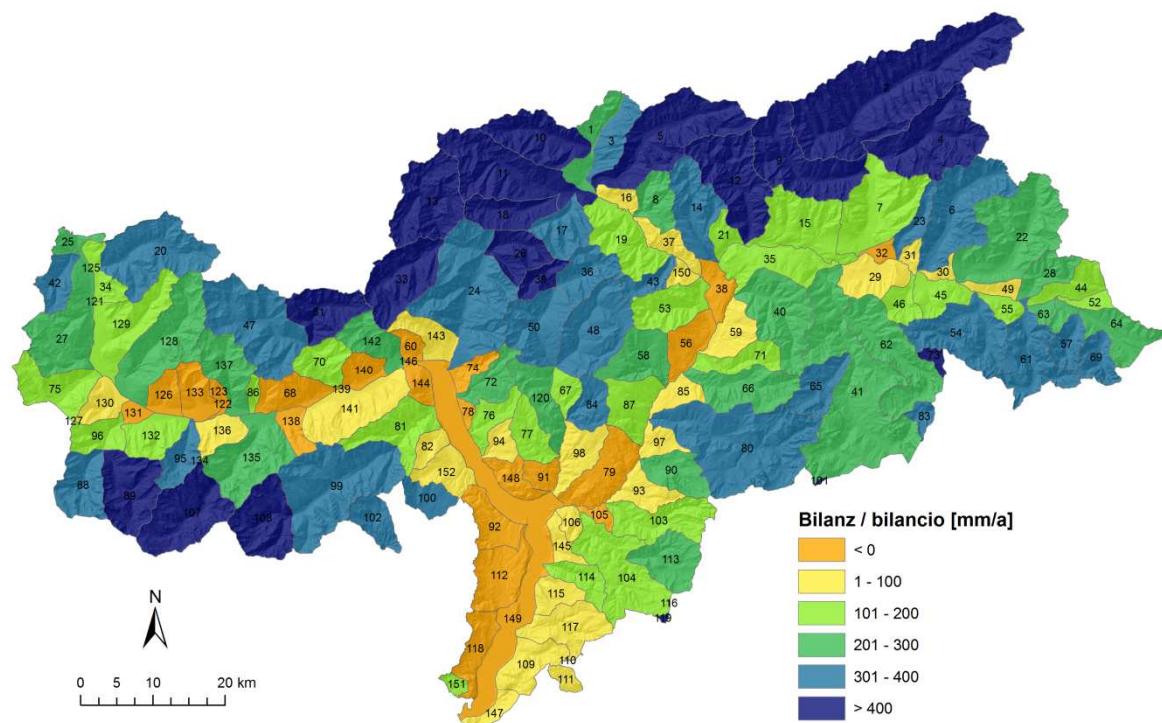


Fig. 7: Wasserbilanz pro Einzugsgebiet (bearbeitet). / Bilancio idrico per bacino idrografico (modificati).

Tab. 4: Wasserbilanz, Fläche und Umfang pro Einzugsgebiet (s. Fig. 7). / Bilancio idrico, area e perimetro di ogni bacino idrografico (vedi Fig. 7).

ID	Fläche / area [km ²]	Umfang / perimetro [km]	Bilanz / bilancio [mm/a]	ID	Fläche / area [km ²]	Umfang / perimetro [km]	Bilanz / bilancio [mm/a]
1	35.5	43.8	254	55	15.2	18.4	188
2	293.7	94.2	455	56	38.4	30.5	-9
3	36.0	33.0	328	57	27.4	24.4	396
4	121.2	55.0	470	58	55.3	35.3	227
5	137.6	65.5	435	59	36.7	28.9	99
6	113.1	59.7	316	60	13.1	16.5	-40
7	103.0	48.3	196	61	79.0	55.2	329
8	34.3	26.9	268	62	101.0	59.0	249
9	111.6	58.7	484	63	8.9	14.2	229
10	75.2	40.1	483	64	58.2	52.8	283
11	119.0	66.3	493	65	44.1	31.7	366
12	102.9	51.5	420	66	69.9	44.6	247
13	95.8	44.3	581	67	18.7	19.6	173
14	67.2	42.3	345	68	40.3	31.8	-34
15	84.3	53.7	137	69	30.2	26.1	391
16	14.0	18.7	13	70	37.6	26.2	155
17	43.7	29.5	371	71	35.3	33.7	196
18	47.4	34.6	500	72	34.9	33.8	282
19	67.8	42.7	183	73	8.1	15.0	427
20	110.2	52.2	356	74	17.7	21.3	-20
21	16.5	21.0	136	75	57.2	39.4	155
22	145.2	61.1	297	76	28.1	29.9	115
23	21.7	28.0	327	77	35.5	28.1	101
24	164.9	65.4	304	78	6.1	11.9	-49
25	13.5	22.1	235	79	60.9	39.0	-93
26	44.1	29.1	492	80	196.7	75.0	363
27	95.6	52.1	248	81	58.7	44.7	162
28	31.8	27.9	290	82	16.5	18.0	63
29	43.4	30.5	60	83	11.4	16.8	347
30	7.7	17.9	30	84	31.6	24.5	309
31	9.2	14.9	64	85	22.6	23.9	49
32	9.0	16.4	-9	86	7.3	13.3	107
33	82.5	40.6	511	87	48.5	32.8	115
34	25.2	29.0	123	88	52.6	32.3	393
35	62.2	47.5	106	89	75.7	37.7	437
36	44.8	31.0	360	90	41.7	29.4	255
37	25.5	30.9	45	91	18.0	19.5	-80
38	25.1	26.8	-194	92	39.1	32.8	-185
39	21.2	22.4	497	93	32.0	32.1	55
40	93.0	48.0	280	94	18.9	20.5	56
41	232.1	111.7	248	95	32.0	27.5	377
42	30.1	26.0	339	96	31.2	26.6	142
43	20.9	25.9	305	97	19.3	23.3	23
44	31.5	30.8	184	98	41.0	34.1	14
45	32.6	27.7	143	99	155.8	60.4	386
46	22.7	23.6	196	100	26.6	25.2	329
47	126.6	55.8	334	101	0.7	4.4	741
48	95.5	41.7	340	102	32.9	28.1	336
49	13.7	22.2	75	103	64.4	47.7	178
50	73.7	37.6	376	104	97.9	60.6	140
51	58.3	35.5	413	105	9.2	17.9	-66
52	11.6	19.8	176	106	12.4	15.1	26
53	54.2	32.9	196	107	94.8	44.7	457
54	93.6	48.7	320	108	73.7	35.6	507

(Fortsetzung Tab. 4 / Continuazione Tab. 4)

ID	Fläche / area [km ²]	Umfang / perimetro [km]	Bilanz / bilancio [mm/a]	ID	Fläche / area [km ²]	Umfang / perimetro [km]	Bilanz / bilancio [mm/a]
109	45.2	33.2	36	131	9.5	12.5	-234
110	0.2	4.6	180	132	41.5	28.0	130
111	11.2	15.0	72	133	34.8	25.5	-148
112	58.9	39.2	-154	134	0.0	0.0	0
113	53.4	32.4	280	135	88.8	45.7	207
114	28.4	27.9	102	136	27.7	23.9	93
115	25.5	22.4	70	137	56.5	38.6	223
116	0.2	2.2	713	138	20.5	21.9	-172
117	57.1	39.4	40	139	0.0	0.1	0
118	36.0	37.5	-29	140	24.5	21.0	-93
119	1.3	5.4	448	141	82.7	42.2	22
120	46.4	39.6	206	142	40.9	31.8	242
121	0.1	1.4	80	143	33.0	29.7	7
122	0.0	0.2	57	144	18.2	18.4	-120
123	7.9	17.5	-103	145	16.7	24.5	57
124	0.0	0.8	0	146	0.0	0.6	-753
125	0.1	17.6	-75	147	16.5	21.7	46
126	23.9	20.8	-47	148	24.9	27.5	-87
127	0.0	0.1	0	149	176.2	143.9	-770
128	113.1	54.8	212	150	10.4	16.3	87
129	81.8	49.5	134	151	7.7	13.0	179
130	27.8	23.2	38	152	35.9	29.3	47

Literatur - Bibliografia

- Baumgartner, A. & Liebscher, H.-J. (Hrsg.) 1996. Allgemeine Hydrologie - Quantitative Hydrologie. - In: Lehrbuch der Hydrologie Bd. 1, 2. Auflage, Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart
- Fecht, M., Höfle, B., Starnberger, R. & Kaser, G. Eine Karte der aktuellen Verdunstung für das Tirol Atlas Gebiet anhand von Landnutzungs- und Vegetationsdaten. Institut für Geographie, Universität Innsbruck.
- Franke, R. 1982. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. *Comp. & Maths. with Appl.* 8(4), 237–281.
- Harflinger, O. & Knees, G. 1999. Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. Klimatographie. 1. Teil. S. 15ff. Universitätsverlag Wagner – Innsbruck. Wien.
- Hellweger, F.L. 1997. AGREE – DEM Surface Reconditioning System.
- Sevruk, B. 1997. Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps. *Climatic Change*, 36(3), 355-369.
- Wieser, G., Hammerle, A., Wohlfahrt, G. 2008. The Water Balance of Grassland Ecosystems in the Austrian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(2), 439–445.

Wasserbilanz (ohne Abfluss)

Berechnung der Wasserbilanz WB aus dem Niederschlag und der Verdunstung ohne Berücksichtigung von Interzeption, Abfluss und Versickerung:

$$WB = P_m - ET_m$$

Bilancio idrico (senza deflusso)

Calcolo del bilancio idrico WB dalle precipitazioni e dall'evapotraspirazione senza considerare intercettazioni, deflussi e infiltrazioni:

Die Wasserbilanz pro Einzugsgebiet WB_{EZG} ergibt sich aus:

Il bilancio idrico per ogni bacino idrografico WB_{EZG} viene calcolato così:

$$WB_{EZG} = \sum_1^m WB$$

(11)

m : Rasterfläche / griglia

WB : Wasserbilanz pro Rasterfläche / bilancio idrico per ogni area della griglia

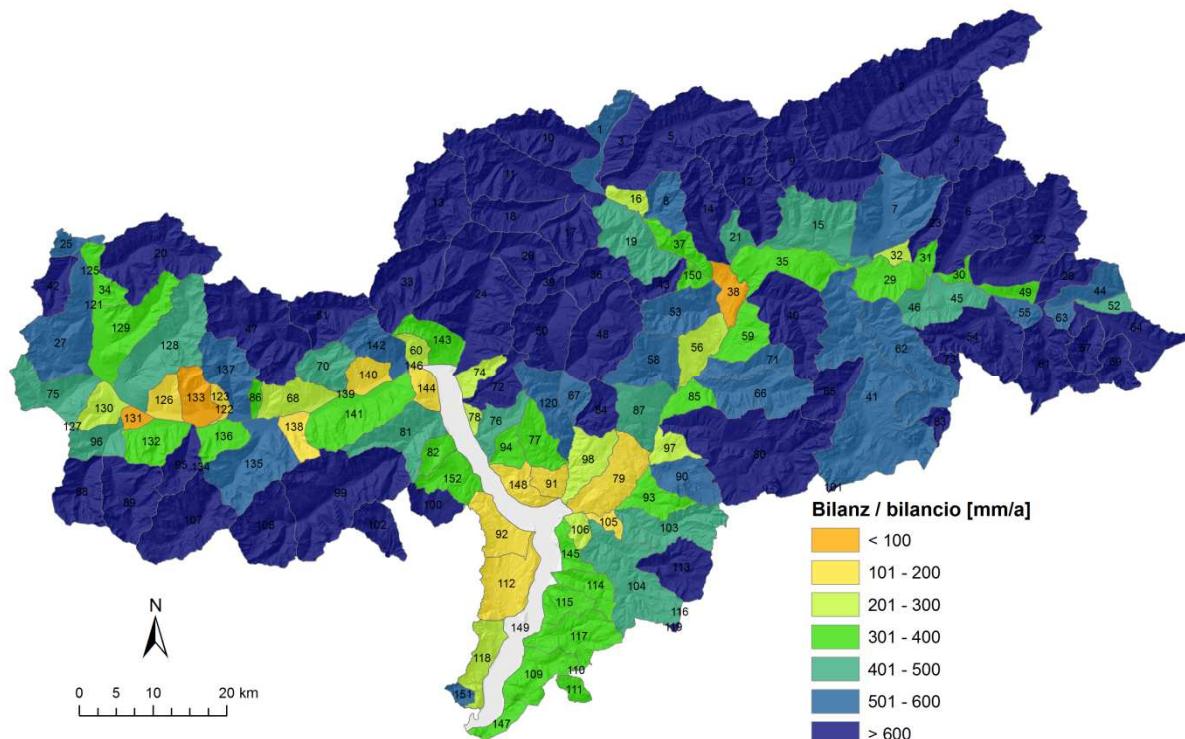


Fig. 8: Wasserbilanz ohne Berücksichtigung von Interzeption, Abfluss und Versickerung pro Einzugsgebiet (bearbeitet). / Bilancio idrico senza considerare intercettazioni, deflussi e infiltrazioni per bacino idrografico (modificati).