

Entwicklung eines Modells zur Berechnung von jahreszeitlich verfügbaren Wasserkraftpotenzialen unter Berücksichtigung von Verdunstung und Wasserrückhalt am Beispiel des Landes Salzburg

Eva HASLAUER und Markus BIBERACHER

Zusammenfassung

Die Bereitstellung eines Modells zur Berechnung von jahreszeitlich und räumlich variierendem Wasserkraftpotenzial war in dieser Arbeit die Aufgabenstellung. Es sollte ein Modell entwickelt werden, das das Potenzial unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren Topographie, Verdunstung, Wasserrückhalt im Boden und Wasserrückhalt in Form von Schnee ermittelt. Dieses Modell sollte für das Einzugsgebiet des Landes Salzburg und Umgebung seinen ersten Einsatz finden. Der Schwerpunkt lag bei dieser Arbeit in der Abschätzung des saisonalen Shiftes, der den Wasserrückhalt im Schnee und den daraus resultierenden verzögerten Abfluss quantifizieren sollte.

1 Einflussgrößen

Einfluss auf das Wasserkraftpotenzial nehmen größtenteils die Komponenten der Wasserbilanz: Niederschlagsmenge, Verdunstungshöhe sowie Zu- und Abfluss.

55 Mrd. m³ Wasser fließen in österreichischen Oberflächengewässern ab, wobei die Abflusshöhe von sowohl klimatischen als auch orographischen (Gebirge) Gegebenheiten stark abhängig ist. Die Abflussmengen variieren zwischen 1.470 mm (Rheingebiet) und 120 mm (Nord-Osten Österreichs) (BMLFUW 2009). Die theoretische, für eine Nutzung verfügbare Wassermenge, zusammengesetzt aus dem Zufluss vom Ausland und dem Niederschlag im Jahr, beläuft sich auf 120 Mrd. m³. Abzüglich der Verdunstungsmenge verbleiben 84 Mrd. m³ für den Wasserbedarf. Der Verbrauch, als Gegenüberstellung, liegt derzeit in Österreich bei 2,6 Mrd. m³ im Jahr, wovon rund 2 Drittel die Landwirtschaft und Industrie verbrauchen (BMLFUW 2009).

1.1 Niederschlag

Generell fallen in Gebirgsregionen größere Niederschlagsmengen als im umliegenden Flachland. Die Jahressummen des Niederschlags in alpinen Regionen können bis zu 3.000 mm betragen. Für die direkte Nutzung des Oberflächenabflusses kann aber nicht der gesamte Niederschlag herangezogen werden, da ein Teil des Niederschlagswassers verdunstet oder versickert.

Betrachtet man einen kurzfristigen Zeitraum (Stunden, Tage, Woche), so ist für die Abschätzung des Schmelzwassers bedeutsam ob und wo Niederschlag als Schnee oder Regen

fällt, ob sich eine Schneedecke bildet oder ob sie schmilzt und ob Gletscherflächen aper geworden sind oder nicht. Für Mittelfristige Zeiträume (Wochen, Monate) sind die Stärke und die Verbreitung der Schneedecke sowie das vorherrschende Wetter von Bedeutung und bei der Betrachtung langfristiger Zeiträume (Jahre, Jahrzehnte) haben Klimatrends starken Einfluss auf die Niederschlags- und Temperaturregimes sowie die Änderung des Vergletscherungsgrades (BRAUN & WEBER 2001).

1.2 Verdunstung

Als Evaporation wird generell die Verdunstung von leblosen Oberflächen bezeichnet, etwa von einem Hausdach, einer Seeoberfläche oder unbewachsenem Boden (HÄCKEL 2005). Unter Transpiration versteht man die Wasserdampfabgabe von Pflanzen. Sie findet zum Großteil aus den Spaltöffnungen der Blätter, den Stomatas, statt. Die Evapotranspiration (wenn hier im Folgenden von „Verdunstung“ gesprochen wird, ist damit Evapotranspiration gemeint) beschreibt die gesamte Wasserdampfmenge, die von einer pflanzenbedeckten Oberfläche verdunstet. Sie variiert jahreszeitlich, wobei während der pflanzlichen Ruhephase die Evaporation überwiegt (MANIAK 1997). Die Verdunstung wird u. A. von der Bodenbeschaffenheit, dem Bodenbewuchs, der Tages- und Jahreszeit sowie der Höhenlage beeinflusst und ist daher ein komplexer Prozess, der aufgrund der vielen Abhängigkeiten starken Schwankungen unterliegt. Sie nimmt generell mit zunehmender Höhe ab und korreliert mit dem Temperaturniveau sowie dem Wasserdampfgehalt der Umgebung. Sie beläuft sich im Voralpenland auf rund 600 mm, in höher gelegenen Einzugsgebieten kann sie auf 300 mm zurückgehen. Auch die weniger werdende Vegetation beeinflusst die Verdunstung mit zunehmender Höhenlage, über Eis und Schnee liegt sie nur noch bei rund 100 mm (BRAUN & WEBER 2001).

1.3 Bodenwassergehalt

Für die hydrologischen Abläufe in einem Einzugsgebiet sind Bodeneigenschaften, wie etwa die Korngrößenzusammensetzung, der Anteil an organischem Material, Porosität und Bodenstruktur von Bedeutung. Diese Eigenschaften bestimmen den Feuchtehaushalt des Bodens, die Infiltrationskapazität und die Anfälligkeit des Bodens für Erosion. Die Infiltrationsfähigkeit beeinflusst in hohem Maße den Oberflächenabfluss, denn je geringer sie ist, desto höher ist der oberirdische Abfluss (RUTH 2003/04). In der ungesättigten Bodenzone werden Niederschläge gespeichert, befinden sich Reservoirs für die Verdunstung und sie ist minimierender Faktor für den Oberflächenabfluss (NACHTNEBEL 2003/04).

2 Aufgabenstellung und Methodik

Ausgangspunkt war ein Modell, das das potenzielle Wasserkraftpotenzial mit den Inputdatensätzen eines DHM und Niederschlagswerten berechnet. Dieses Modell galt es zu verfeinern indem die Komponenten Verdunstung und Wasserrückhalt im Winter, sowie der Bodenwassergehalt als Rückhaltefaktor berücksichtigt werden. Um diese Punkte einzuarbeiten, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche betrieben, um verschiedene Ansätze zur Berechnung von Verdunstung und Abfluss zu erhalten. Nach mehreren Durchsichten, Vergleichen und auch Rücksprachen, stellten sich die Formel von Wendling (DIETRICH &

SCHÖNIGER 2008) zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration und das Snowmelt-Runoff-Modell (MARTINEC & RANGO 1975) zur Erfassung des Wasserrückhalts als am Besten geeignet heraus. Diese beiden Ansätze werden hier vorgestellt:

$$ETp_w = (R_G * (1,1 - a) + 93 * f_k) * \frac{T + 22}{150 * (T + 123)} \quad (1)$$

ETp_w = potenzielle Evapotranspiration nach Wendling [mm/d]
 R_G = globale Solarstrahlung in [J/cm²]
 a = Albedo
 f_k = Küstenfaktor
 T = täglicher Temperaturwert [°C]

$$Q_{n+1} = Q_n * k_{n+1} + \sum [c_{s,n} * a_n * (T_n + \Delta T_n) * S_n + C_{r,n} * P_n] * (1 - k_{n+1}) * A \quad (2)$$

Q_n = Abfluss am Tag n [cm/km²*d]
 k = Rezessionskoeffizient (beschreibt die Abnahme des Abflusses in einer Zeitspanne ohne Schneeschmelze bzw. Niederschlag)
 a = Gradtagfaktor (wandelt Temperatur in Schmelzmenge) [cm/°C*d]
 $C_{s,r}$ = Abflusskoeffizienten für Schnee bzw. Regen
 T = Temperaturwert in [°C]
 ΔT = Temperaturgradient
 S = mit Schnee bedeckte Fläche in [%]
 P = Niederschlagsmenge in [cm]
 A = betrachtete Fläche in [km²]

3 Bearbeitung in GIS

Diese beiden Ansätze wurden leicht verändert, um den gestellten Anforderungen gerecht zu werden. So wurde in der Formel von Wendling der Küstenfaktor vernachlässigt.

Der Snowmelt-Runoff-Ansatz wurde an die Aufgabenstellung in dieser Arbeit in der Art angepasst, dass neben dem Abfluss durch Umformung sowohl die kumulierte Schneemenge als auch der Rückhalt im Winter quantifiziert werden.

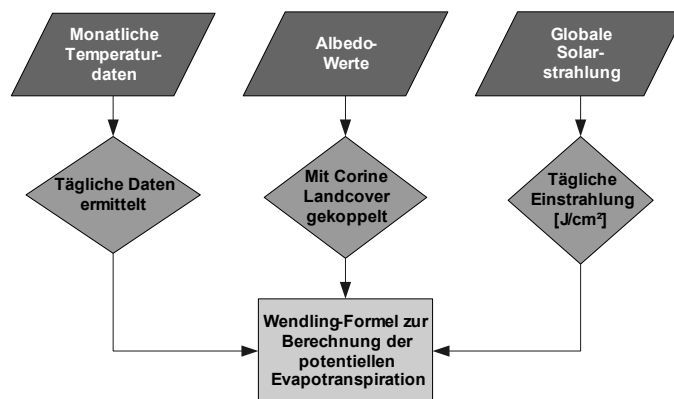


Abb. 1: Etp-Modell

Die Bearbeitung der Bodenparameter und Rückhaltefähigkeit erfolgte als letzter Schritt und minimiert in der Modellierung gleich zu Beginn die Niederschlagsmenge. Das Modell in ArcGIS zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration über die Formel von Wendling ist nachfolgend abgebildet.

Der Wasserrückhalt wird im adaptierten Snwomelt-Runoff-Modell als Differenz zwischen gefallenem Niederschlag und Abfluss angesehen. Der kumulierte Schnee ist jene Niederschlagsmenge, die unterhalb einer kritischen Temperatur fällt und die abschmelzende Schneemenge wird über den Gradtag-Ansatz berechnet, der sich wie folgt darstellt:

$$SM = Cs * a * Gt \quad (3)$$

SM = Schmelzmenge in [cm/d]
 Cs = Abflussfaktor Schnee
 a = Gradtagfaktor ($\text{cm}/^\circ\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$)
 Gt = positive Gradtage ($T\cdot\text{d}$)

Nachfolgend findet sich eine Prinzipskizze, die die Ermittlung des Abflusses, der kumulierten Schneemenge und die Schmelzmenge vereinfacht darstellt.

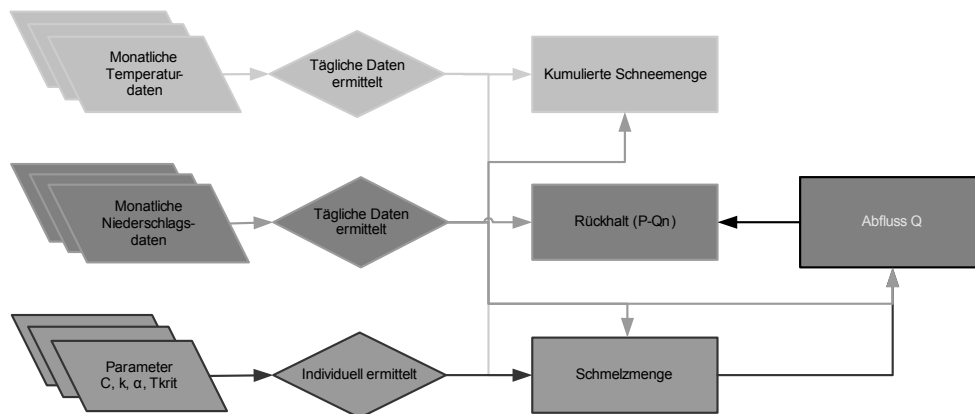


Abb. 2: Snowmelt-Runoff-Modell: Prinzipskizze

Der Wasserrückhalt im Boden wird über die Hangneigung und die Bodenart ermittelt. Jede Bodenart hat eine andere Wasserrückhaltekapazität. Über diesen Zusammenhang wird berechnet, welcher Anteil des Niederschlags als effektiver Niederschlag zum Oberflächenabfluss beiträgt und welcher Teil des Niederschlags im Boden versickert und zur Grundwasserbildung beiträgt bzw. erst verzögert zum unterirdischen Abfluss kommt. Minimiert man den fallenden Niederschlag um die Verdunstungsrate, den Bodenwasserrückhalt und den Rückhalt durch Schnee und Eis, so bleibt nur ein Bruchteil des anfänglich gefallenen Niederschlags für den Oberflächenabfluss und damit zur Nutzung in der Wasserkraft übrig, was in die weitere Berechnung des Wasserkraftpotenzials eingeht:

$$\psi = m * b * h \quad (4)$$

ψ = Wasserpotenzial
 m = Masse des Wassers
 b = Erdbeschleunigung
 h = Höhe des Bezugsniveaus (SCHACHTSCHABEL et al., 1998)

Zu beachten ist bei Wasserrückhalt durch Schnee, dass die im Winter zurückgehaltene Wassermenge im Frühling zum Abfluss kommt und damit die Schneemenge keinen Wasserverlust, sondern einen Shift bedingt. Die jährliche Wasserbilanz ist damit ausgeglichen.

4 Ergebnis und Diskussion

Das Ergebnis der Verdunstungsmodellierung lieferte etwas zu hohe Werte. Gründe dafür könnten zum einen die Einstellungen bei der Berechnung der globalen Solarstrahlung, zum anderen die eigenständig ermittelten Albedo-Werte und die nicht gemessenen, sondern errechneten täglichen Temperatur-Werte sein. Die Berechnung der Abflussmengen über den SRM-Ansatz lieferte ebenfalls etwas zu hohe Werte, verglichen mit Pegelstandsmessungen in Salzburg, die sich auf ein Einzugsgebiet von über 4.425 km² beziehen. Im Vergleich dazu ist die Fläche des in dieser Arbeit berechneten Einzugsgebietes etwas über 7.000 km². Dieser Größenunterschied ist ein Grund für die höheren Abflusswerte, weiterhin sind die nicht exakt gemessenen, sondern aus Punktmessung ermittelten Temperatur- und Niederschlagsdaten zu nennen, ebenso wie die selbst durchgeführte Abschätzung der Parameter und Variablen in der Formel, die durch in situ Messungen verfeinert werden könnten. Auch die Ermittlung der Bodenrückhaltefähigkeit kann über weitere Referenzwerte und exaktere Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Hangneigung und Versickerung verfeinert werden.

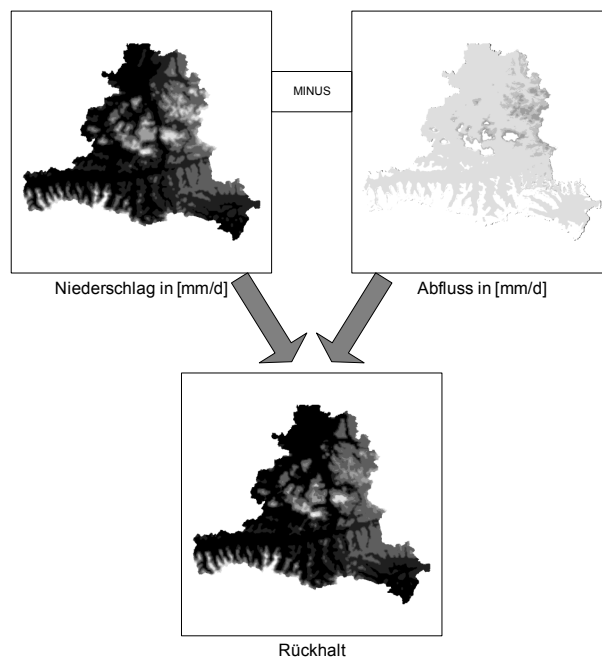


Abb. 3: Karten der Niederschlagsverteilung, des Abflusses und des daraus resultierenden Rückhalts vom 01. Jänner 2005

Abschließend lässt sich festhalten, dass über die Einführung der drei zusätzlichen Komponenten Verdunstung, Wasserrückhalt im Winter und Bodenwasserrückhalt, das Wasserkraftpotenzial genauer berechnet werden kann und damit eine weitere Annäherung an tat-

sächliche Abflussmengen zur Wasserkraftnutzung gegeben ist. Weitere Schritte zur exakteren Darstellung, genaueren Ermittlung von Parametern und Variablen, sowie das Einbinden von gemessenen Niederschlags- und Temperaturwerten sind künftig sinnvoll.

Literatur

- BRAUN, L. & WEBER, M. (2001): Wasserspende aus Hochalpinen Gebieten. – Fachtagung vom 26. – 28. 11. 2001 in Bad Reichenhall: „Die Alpen – ein kostbares Wasserschloss“. <http://www.lrz-muenchen.de/~a2901ad/webserver/webdata/download/wasserspende.pdf> (28.04.2009)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2008/2009): <http://wasser.lebensministerium.at> (21.04.2009)
- DIETRICH, J. & SCHÖNIGER, M. (2008): HydroSkript. http://www.hydroskript.de/html/_index.html?page=/html/ae0201.html (26.01.2009)
- HÄCKEL, H. (2005): Meteorologie. Stuttgart, Ulmer.
- HYDROLOGISCHER ATLAS ÖSTERREICHS (2007): <http://www.boku.ac.at/iwhw/hao/> (15.04.2009).
- MANIAK, U. (1997): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure. Springer, Berlin, Heidelberg.
- MARTINEC, J. (1975): Snowmelt-Runoff Model for stream flow forecasts. User Manual. <http://hydrolab.arsusda.gov/cgi-bin/srmhome> (28.01.2009).
- NACHTNEBEL, H.-P. (2003/2004): Studienblätter Hydrologie. <http://www.boku.ac.at/iwhw/hydssem1/hydrologie/HydrologieWS03-04.pdf> (21.04.2009).
- RUTH, L. (2003/2004), Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten – Mittelseminar: „Management in Fluss-Küste Systemen“. http://www.ikzm-d.de/seminare/pdf/ruth_wasserhaushalt.pdf (07.04.2009)
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME H.-P., BRÜMMER G., HARTGE K.-H. & SCHWERTMANN, U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart, Enke.