



Fernerkundung zur Sicherung der Wiener Wasservorräte

Karl Kraus, Josef Jansa, Lionel Dorffner, Günter Blöschl, Robert Kirnbauer und Gerhard Kuschnig, Wien

Zusammenfassung

Die Initiative zum Projekt „Schneealpe“ kam von den Wiener Wasserwerken. Über Schneeschmelzmodellierung, die durch Wetterbeobachtungen gesteuert wird, soll der Vorgang der Schneeschmelze verfolgt werden und damit jederzeit Auskunft über das noch vorhandene Wasserpotential möglich sein. Das Modell muß über Satellitenaufnahmen kalibriert werden. Dazu wird in SPOT-Bildern die Schneebedeckung festgestellt. ERS Aufnahmen liefern Information über Feuchteveränderungen. Obwohl noch Verbesserungen notwendig sind, ist ein vielversprechender Anfang für den späteren Einsatz in der Praxis gemacht.

Abstract

The project „Schneealpe“ has been initiated by the Vienna Water Management Department. A snow-melt model controlled by weather observations, provides information about the melting process and can deliver information about the current snow water equivalent at any time. The model needs to be calibrated. Therefore, SPOT images were employed for classifying the extent of the snow cover, while ERS images are used for determining the moisture change. Although improvements are still necessary, a promising begin has been made for future utilisation in practice.

1. Einleitung

Als im Jahre 1998 die Wiener Wasserwerke ihr Interesse bekundeten, mittels Schneeschmelzmodellierung laufend über die noch vorhandenen, in Schnee gebundenen Wasserreserven im Gebiet der Quellen der Wiener Hochquellenwasserleitung informiert zu sein, wurde das Projekt „Schneealpe“ geboren. Es wurde zu einem großen Teil vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur gefördert. Die Magistratsabteilung 31 der Gemeinde Wien besorgte die Außendienstleistung und kam für Kosten der Satellitendatenbeschaffung auf.

Drei Jahre der Beobachtung und Auswertung sind beendet. Diente das erste Jahr im wesentlichen dem Aufbau der Modellierung des Schneeschmelzvorganges, der Bereitstellung der Grundlagen und der Aufbereitung der Satellitendaten für die wirkungsvollen Einbindung in die Kalibrierung des Modelles, so war die zweite Kampagne, jene des Jahres 1999, der Etablierung des Systems als praxisnahes Werkzeug gedacht. Die dritte Beobachtungsperiode im Jahre 2000 sollte schließlich als Bestätigung der Brauchbarkeit des Auswerteverfahrens dienen, um einen Plan für die Installierung in der Praxis der Wiener Wasserwerke entwickeln zu können. Die folgenden Ausführungen sollen zeigen, daß man dem Idealziel eines funktionierenden Schneeschmelz-Monitorings deutlich näher gekommen ist.

2. Das Schneeschmelz-Modell

Das Schneeschmelzmodell basiert auf den physikalischen Vorgängen in der Schneedecke und wurde von G. Blöschl [1] am Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft (IHGW) entwickelt. Es benötigt als Eingabedaten kontinuierliche hydrometeorologische Beobachtungen, die von Wetterstationen im Gebiet der Schneealpe automatisch registriert werden. Das Modell simuliert anhand der Wetterdaten und der die topographischen Eigenschaften des Gebietes beschreibenden Daten die Schneeakkumulation bzw. die Schneeschmelze. Theoretisch benötigt das Modell keine weiteren Beobachtungen. Tatsächlich entspricht die Simulation nicht in jeder Beziehung den realen Gegebenheiten, wofür mehrere Gründe verantwortlich sind, u.a.:

- Unzureichende Erfassung oder Berücksichtigung topographischer Parameter
- Vereinfachungen im hydrologischen Modell
- Unzureichende oder mangelhafte Erfassung der meteorologischen Werte

Das Modell bedarf daher einer Kalibrierung, welche die aufgehäuften Simulations-Ungeauigkeiten korrigiert.

3. Vorarbeiten

Aus Farbinfrarot-Lufbildern (Bildmaßstab 1:15000) wurde stereo-photogrammetrisch ein Digitales Geländemodell (DGM) abgeleitet, wobei

wegen der besonderen Charakteristik des Geländes viele Geländekanten und Formlinien erfaßt wurden. So entstand unter Anwendung des Programmes SCOP [2] ein qualitativ hochwertiges DGM, aus welchen verschiedene weitere Parameter abgeleitet werden konnten. Es sei hier nur auf den sogenannten lokalen Horizont hingewiesen, der als 16-kanaliges Rasterbild (20 m x 20 m Rasterweite) zur Verfügung gestellt wurde. Die 16 Werte in jedem Rasterpunkt entsprechen den Horzonthöhen in 16 Richtungen, was dem von der GPS-Planung her bekannten „Skyplot“ entspricht.

Dieselben Farbinfrarot-Luftbilder wurden auch verwendet um eine genaue visuelle Bodenbedeckungskartierung durchzuführen. Insgesamt wurden 33 Klassen gewählt, wovon allein 27 auf Wald entfallen. Als Kriterien galten Standhöhen, Standdichten und Bestandsarten.

4. Einsatz der Fernerkundung

Die Aufgabe der Fernerkundung ist es, aus Satellitenaufnahmen Schneebedeckungsmuster bzw. Feuchtigkeitsänderungsmuster abzuleiten, mit denen das Schneeschmelzmodell kalibriert werden kann. Dafür war das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) verantwortlich.

4.1 Satelliten mit optischen Sensoren

Es wurde entschieden, viermal pro Schneeschmelzperiode, die grob von Mitte Februar bis Ende Mai reicht, eine Satellitenaufnahme zu beschaffen und daraus die Schneebedeckung zu klassifizieren. Wie eine vorangegangene Analyse von Wettersatellitenbildern gezeigt hatte war wegen häufiger Wolkenbedeckung in diesem Gebiet Flexibilität bei der Aufnahmeplanung ein Muß. Die Entscheidung fiel daher für die programmierbare SPOT-Familie, wo derzeit drei gleichartige Satelliten im Orbit sind und es damit deutlich mehr Aufnahmemöglichkeiten als bei anderen Systemen gibt. Als Nachteil ist leider die eingeschränkte spektrale Auflösung anzumerken, wodurch die Möglichkeiten der Schneeklassifizierung etwas reduziert sind. In allen drei Projektjahren kamen die gewünschten 4 Aufnahmen pro Schmelzperiode zustande (siehe Tabelle 1). Mit den anderen optischen Satelliten wäre dies nicht möglich gewesen.

1998	1999	2000
18.2.	27.2.	28.2.
20.2.	19.3.	22.3.
31.3.	10.5.	3.5.
8.5.	6.6.	27.5.

Tab.1.: Aufnahmedaten von SPOT

4.2 Radar-Satellitendaten

Im Jahre 1999 stellte die ESA (European Space Agency) im Rahmen eines sogenannten Announcement of Opportunities ERS SAR Aufnahmen kostenlos zur Verfügung. Der große Vorteil von SAR-Aufnahmen (Synthetic Aperture RADAR) liegt in deren Wolkendurchdringung. Aufnahmen dieser Art werden gerne für Schneebeobachtungen eingesetzt und haben sich auch in alpinen Regionen bewährt [3]. Eine Besonderheit im Hochgebirge sind allerdings Layover-, Foreshortening- und Shadow-Effekte, die eine flächendeckende Auswertung einer Aufnahme unmöglich machen. Wie eine Geländeanalyse zeigt, können im Interessensgebiet solche Effekte fast 50% eines Bildes betreffen, was jedoch durch eine Aufnahme aus der Gegenrichtung kompensiert werden kann. Die dazu erforderliche Kombination von Szenen aus „absteigenden“ (nord-süd fliegenden) und „aufsteigenden“ (süd-nord) Bahnen konnte wegen der Einschränkungen bei Nachtüberflügen durch den Satelliten-Betreiber ESA nicht immer umgesetzt werden (siehe Tabelle 2).

Vom absteigenden Pfad (ca. 9:00 Uhr)	Vom aufsteigenden Pfad (ca. 21:00)
11.2.	11.2
18.3	18.3.
22.4.	
27.5.	27.5.
1.7.	

Tab.2. ERS Aufnahmen des Jahres 1999

Die Aufnahme von 1. Juli 1999 sollte als schneefreie und trockene Referenz gelten. Es stellte sich aber heraus, daß es kurz vorher geregnet hatte und damit diese Aufnahme als „Trockenreferenz“ absolut nicht geeignet war. In der Folge wurde daher die Aufnahme von 11. Februar als Referenz herangezogen, da zu diesem Zeitpunkt im wesentlichen trockener Schnee gelegen sein sollte.

Für die geometrische Rektifizierung wurde in allen Fällen ein parametrischer Ansatz gewählt. Zum Einsatz gelangte das Programm ORIENT [4].

5. Schneeklassifizierung mit SPOT

SPOT-Aufnahmen dienen der Feststellung der Schneebedeckung. Es wurden insgesamt vier Schneebedeckungsklassen gewählt: kein Schnee, stark lückige, leicht lückige sowie durchgehende Schneedecke. Bei der Interpreta-

tion der Ergebnisse ist vor allem in Waldgebieten Vorsicht geboten, wo aus dem Satellitenbild die Schneelage nicht erfaßt werden kann. Wenn die Kronen selbst bereits schneefrei sind lautet das Klassifikationsergebnis „schneefrei“, auch wenn der Waldboden noch vollständig bedeckt ist.

Für die Schneeklassifizierung wurden, je nach Satellitenbild, verschiedene Methoden gewählt. Im folgenden wird soll auf einen Ansatz mit unüberwachter Klassifizierung mit ISODATA und auf die Verwendung des Normalised Difference Snow Index eingegangen.

Als eines der größten Probleme für die Klassifizierung stellten sich die Beleuchtungsverhältnisse heraus, besonders zu den Terminen im Feber und März. Einerseits gibt es Überstrahlungen, andererseits starke Eigen- und Schlagschatten. Ein radiometrischer Korrektur-

ansatz lieferte keine zufriedenstellenden Ergebnisse, da es offensichtlich eine starke gegenseitige Beleuchtung gibt, die durch die hellen Schneefelder verursacht wird. Der Einsatz der überwachten Klassifizierung wurde bald als zu aufwendig aufgegeben. Die unüberwachte Klassifizierung lieferte nur dann gute Ergebnisse, wenn man deutlich mehr als hundert Klassen zuließ, was aber wiederum bei der anschließenden visuellen Klassenzuweisung sehr aufwendig wurde.

Der letztlich gewählte Ansatz geht zwar wieder von den zum Zeitpunkt der Aufnahme geltenden Beleuchtungsverhältnissen aus, ist aber nicht so strikt wie die radiometrische Korrektur. Das ganze Satellitenbild wird unterteilt in Gebiete ähnlicher Beleuchtungsverhältnisse und jedes dieser Gebiete wird einer getrennten ISODATA-Klassifizierung unterworfen. Dadurch kann die

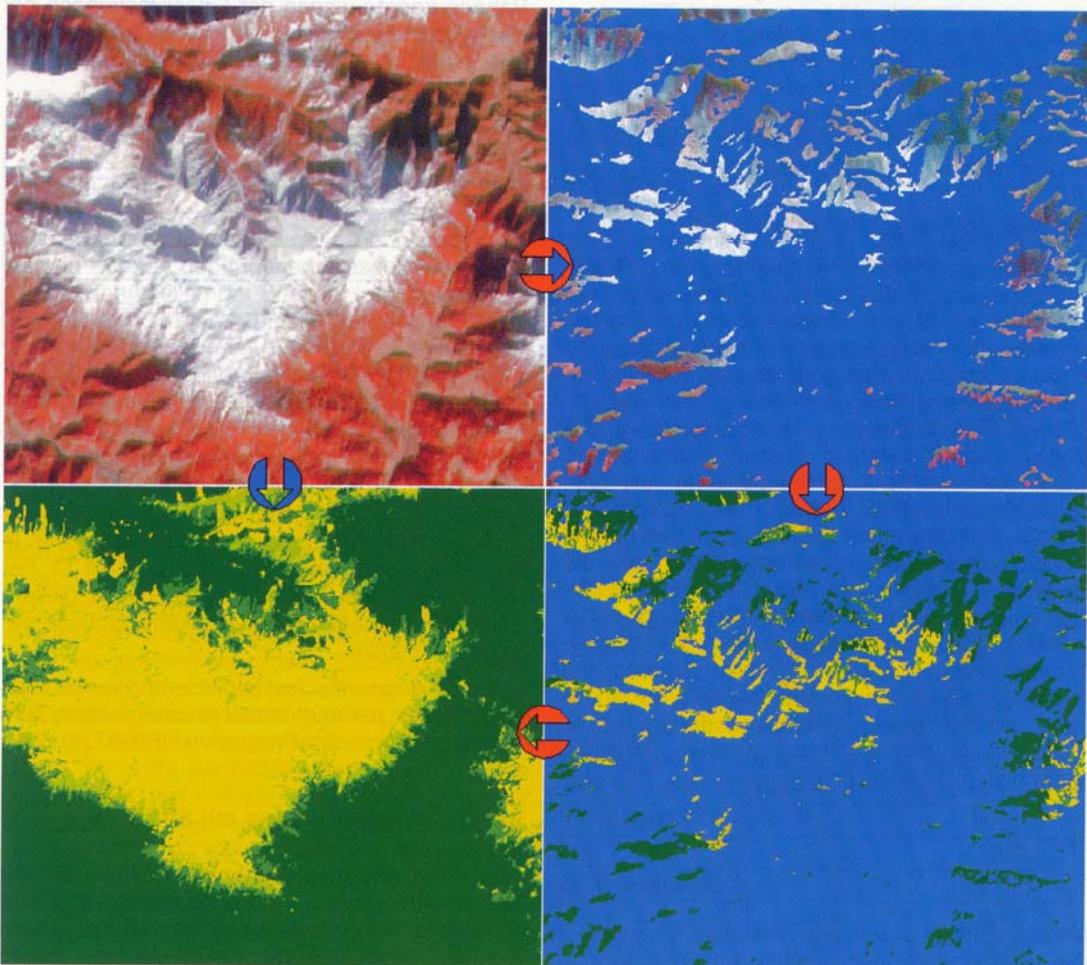


Abb.1: SPOT XS und Teil-Klassifizierungen

Klassenanzahl überschaubar gehalten werden. Die klassifizierten Teilgebiete werden schließlich zum klassifizierten Gesamtbild zusammengefaßt. Abb.1 zeigt das original SPOT-XS-Bild (l.o.), eine herausgeschnittene Beleuchtungskategorie und ihre Klassifizierung (rechts) und schließlich das Endresultat (l.u.) (gelb = Schnee, hellgrün = lückig, dunkel = schneefrei).

In der Praxis der Schneeklassifizierung hat sich der NDSI (normalised difference snow index) bewährt, der die spektralen Schnee-Eigenschaften im mittleren Infrarot und im sichtbaren Bereich ausnützt. Da die meisten zur Verfügung stehenden SPOT-Aufnahmen XS-Mode-Bilder sind (Grün, Rot, nahes Infrarot), kann der NDSI im Standardfall nicht verwendet werden. Eine der Aufnahmen, jene vom 22.3.2000 (siehe Tab. 1), war im XI-Mode verfügbar. Von diesem Termin wurde die Klassifizierung auch mit dem NDSI durchgeführt. Es stellte sich heraus, daß dadurch der Aufwand verglichen mit der multispektralen Klassifikation um ein Vielfaches geringer gehalten werden konnte. Man muß auf jeden Fall überlegen, ob der etwas teurere Anschaffungspreis nicht durch den deutlich geringeren Auswerteaufwand kompensiert werden kann. Abbildung 2 zeigt das Original und das Klassifizierungsergebnis (gelb = Schnee, gold = lückige Decke, hellgrün = stark lückige Decke, dunkel = schneefrei).

6. Schneeklassifizierung mit ERS SAR

Die Auswertung der ERS SAR Bilder erfolgte in der aus der Literatur bekannten Weise [5]. Das Referenzbild vom 11.2.1999 (siehe Tab.2) wurde

mit den Bildern vom 18.3., 24.4. und 27.5. über eine Ratio-Bildung verglichen. Außerdem wurden die Bilder vom aufsteigenden und absteigenden Pfad kombiniert, sodaß die Bereiche die wegen Layover oder Foreshortening nicht brauchbar sind, minimiert werden konnten. Das vom 24. April jedoch kein Bild vom aufsteigenden Pfad existiert, gibt es hier fast 50% nicht auswertbare Bereiche.

Die Auswertung der ERS SAR Bilder gibt eine Information über die Feuchteveränderung des Schnees. Da diese auch in der Modellsimulation erhalten werden kann, eignen sich diese Auswertungen ebenfalls für Kalibrierungszwecke.

7. Modellergebnisse und Schlußfolgerungen

Das Modell liefert die aktuelle Schneelage beginnend vom ersten Schneefall bis zu letzten abgeschmolzenen Schneerest. Im Augenblick, in dem die hydrometeorologischen Meßdaten einlangen, wird der momentane Zustand aktualisiert. Unter der Annahme, daß die Meßdaten fernübertragen werden können, wäre es möglich im Labor durch die Modellierung genau über die Schneelage informiert zu sein. Der Weg zu einem Monitoring- und Frühwarnsystem ist offen. In Augenblick erfolgen noch häufige Kalibrierungen über Fernerkundungsaufnahmen. Es ist aber zu erwarten, daß der Kalibrierungsaufwand in Zukunft stark reduziert werden kann, sobald für ein Gebiet kritische, ortstypische Modellparameter bestimmt worden sind.

Die allernächsten Schritte werden die Übertragung des derzeitigen Systems auf andere Quell

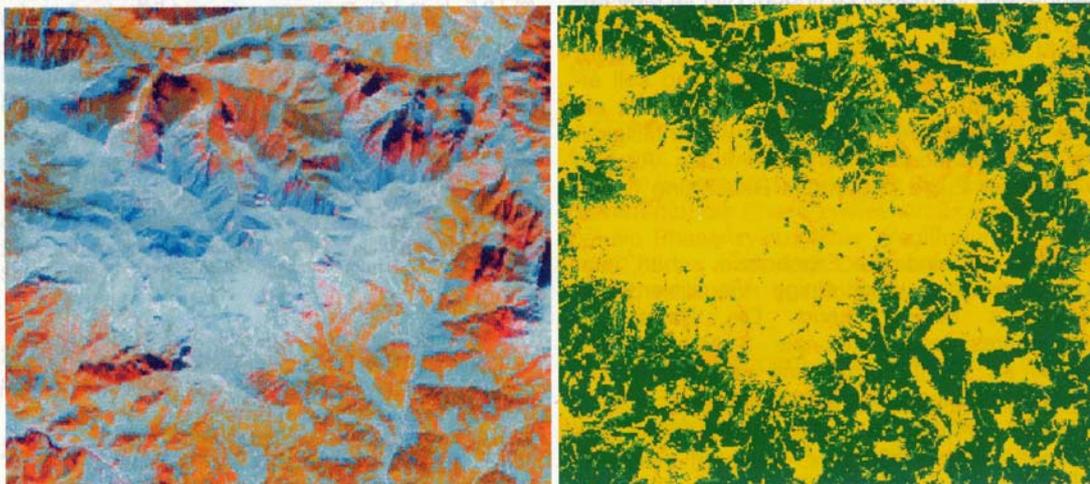


Abb.2: SPOT XI und NDSI-Klassifizierung

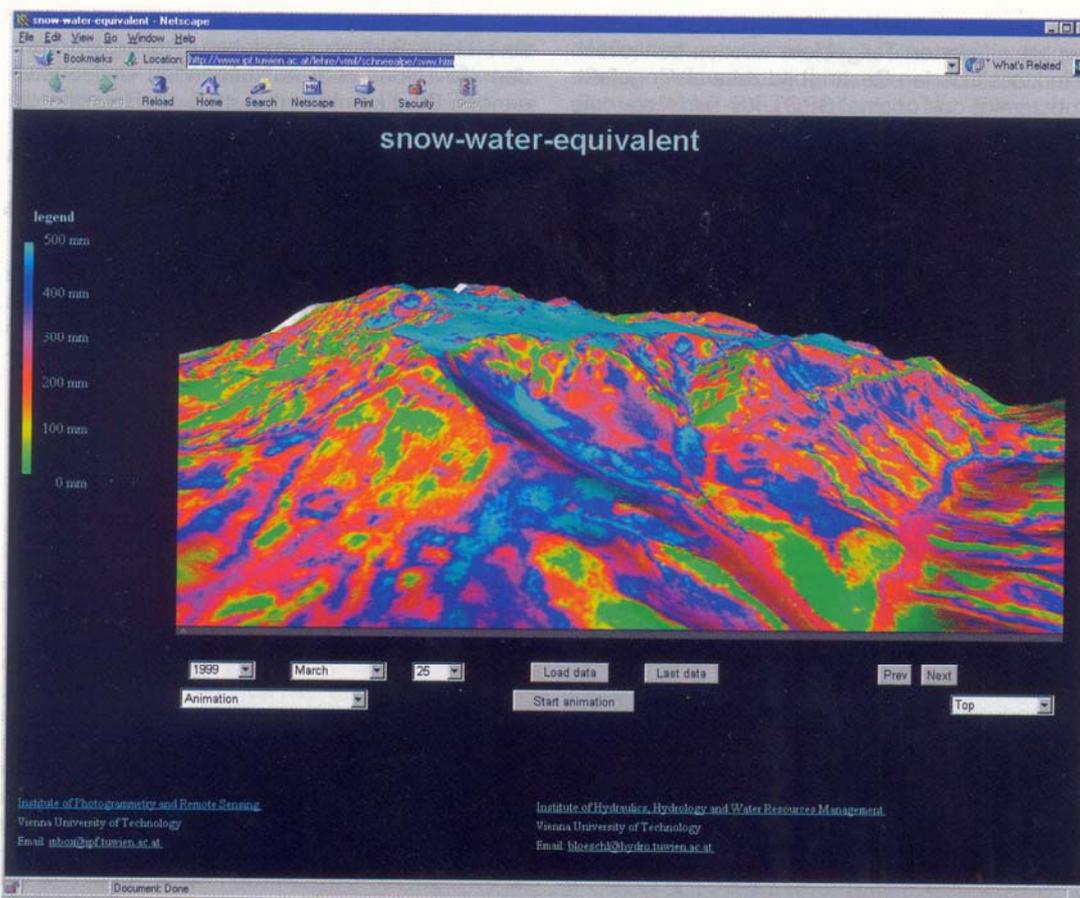


Abb.3: VRML-Visualisierung

gebiete betreffen. Außerdem wird versucht werden, einen Zusammenhang zwischen den gemessenen Quellschüttungen und den Abflußberechnungen im Modell zu finden. Hier ist eine Zusammenarbeit mit der Karstforschung ins Auge gefaßt. Auch die bessere Einbindung der Bodenbedeckung in die Schmelzmodellierung soll einen weiteren Fortschritt bringen. Leider ist ein Schwachpunkt die relativ hohe Störanfälligkeit der Wetterstationen. Bei zukünftigen Ausbau wird dieser Punkt besondere Beachtung finden müssen.

Insgesamt sind die Ergebnisse schon jetzt zufriedenstellend und einige Visualisierungen besonders beeindruckend. Die Darstellung des Interessensgebietes als 3-dimensionales Modell im VRML-Format mit den Modellwerten (z.B. Schneewasseräquivalent) als Funktion der Zeit ermöglicht dem Analysefachmann, den räumlich-zeitlichen Ablauf der Schneeschmelze auf dem Bildschirm zu verfolgen (siehe Abb.3).

Referenzen

- [1] Blöschl, G., Kimbauer R.(1991): Point snowmelt models with different degrees of complexity – internal processes. *Journal of Hydrology*, 129, pp.127–147.
- [2] I.P.F.: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, Produktinformation SCOP über die Adresse (Stand Juli 2001): http://www.ipf.tuwien.ac.at/produktinfo/scop/englisch/scop_e.html
- [3] Shi, J., Dozier J., Rott H. (1994): Snow Mapping in Alpine Regions with Synthetic Aperture Radar. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.32/1, pp.152–158.
- [4] I.P.F.(Juli 2001): Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, Produktinformation ORIENT: http://www.ipf.tuwien.ac.at/produktinfo/orient/html_hjk/orient.html
- [5] Nagler, Th., Rott H.(2000): Retrieval of Wet Snow by Means of Multitemporal SAR Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.38/2, pp.754–765.

Anschrift der Verfasser

Univ.-Prof.Dr. Karl Kraus, a.o.Univ.-Prof. Dr. Josef Jansa, DI. Lionel Dorffner: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien a.o.Univ.-Prof.Dr. Günter Blöschl, Dr. Robert Kimbauer: Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, Karlplatz 13, A-1040 Wien Dr.Gerhard Kuschnig, MA 31 / Wiener Wasserwerke, Rathaus, A-1082 Wien