

Schneesmelze und Starkniederschläge – ein pragmatischer Ansatz zur Quantifizierung der Vulnerabilität von Quellen

Marcus Wilhelmy
alpECON Wilhelmy

◆ **Situation**

In Tirol wird – im Gegensatz zu den übrigen Bundesländern Österreichs – nach wie vor strikt vertreten, dass Wasser für die Erzeugung von künstlichem Schnee auf Schipisten Trinkwasserqualität aufweisen muss. Im Rahmen eines Forschungsprojektes über das Erfordernis, bei Beschneiungsanlagen UV-Anlagen in jedem Falle vorzuschreiben (Dissertation Mag. Matthias Senn 2010) war unter anderem auch die hydrogeologische Situation im Versuchsgebiet zu beurteilen. Fokus war das Schutzgut Hanggrundwasser, bzw. Quellwasser.

Zwischen der Schneekanone und einer Quelle liegen komplex und veränderlich also verschiedenste qualitative Gefährdungen und Risiken für Quellwasser.

Die Betrachtung des Grundwasserschutzes zu jedem Zeitpunkt und Ort, von der Versickerung, der unmittelbaren Neubildung über die Bodenpassage und die Verweildauer im Aquifer hin zum Quellfassungsbereich, ist für ein Quelleinzugsgebiet äußerst komplex. Aber genaugenommen zählt nur dieses, da meistens keine Schutzzonen II (60-Tagesgrenze) ausgewiesen sind.

Die Qualitätssicherung von Trinkwasser aus Quellen erfolgt sehr oft durch eine Probennahme im Mai oder Juni, mit einem gewissen zeitlichen Abstand zur Schneesmelze, wenn zwar das Schmelzwasser aus dem Schnee der Schneekanonen und den Schipisten mittlerweile dabei ist, seinen Weg in die Quellstuben zu finden, und das versickerte Niederschlagswasser nach 3 Monaten Almwirtschaft noch in weiter Ferne liegt.

Einerseits gibt es die **Emissionsbetrachtung**, also welche Schadstoffe werden tatsächlich von den Schneekanonen emittiert und sind zudem wassergefährdender bzw. risikoreicher für Grund- und Quellwasser als Viehwirtschaft, Almen, Forstwirtschaft, und Tourismus in seinen mannigfaltigen Formen.

Andererseits gibt es die **Immissionsbetrachtung**, also welchen qualitativen Gefahren und Risiken werden Grundwasser und Quellen tatsächlich ausgesetzt.

◆ **Datengrundlagen**

Die Quantifizierung der hydrogeologisch relevanten Risiken für genutzte Trinkwasser-Quellen im Test-Gebiet der Bergbahnen in See / Paznaun gestaltete sich daher nicht einfach. Eine Detailkartierung von potentiellen Versickerungsbereichen, Lockergesteinsaufbau, Oberflächenabfluss, Quellaustritten

und Wiederversickerungen für eine Quantifizierung dieser Risiken hätte den möglichen Aufwandsrahmen weit gesprengt. Es wurde daher eine Betrachtung 1:5000 vorgenommen, und die vielen kleinräumigen Kenntnisse über das Projektgebiet wurden zu einem inhomogenen Patchwork zusammengetragen.

Was aber in recht guter Dichte vorhanden war, ist eine Quellsbeweissicherung, die bei vielen Messorten im 14-tägigen Rhythmus stattgefunden hatte. Neben den physikalischen Parametern Schüttung, elektr. Leitfähigkeit und Temperatur wurden in größeren Abständen auch bakteriologische und chemische Analysen durchgeführt.

Unter Nutzung dieser Quellmessdaten, insbesondere dem Anspringen der Quellschüttung nach ergiebigen Niederschlägen und im Zuge der Schneeschmelze, erfolgte daher ein einfacher Interpretationsversuch.

◆ **Modell**

Um die Beeinflussbarkeit des Berggrundwassers zu beurteilen und den potentiellen Einfluss von Schmelzwasser- oder Niederschlagswasser zu quantifizieren, wurden die Messdaten einer einfachen Auswertung unterzogen. Unter flächiger Versickerung wird hierbei sowohl direkt flächig versickerndes Wasser aus dem Schmelzvorgang oder Niederschlag verstanden, als auch Wasser welches sich zunächst in kleinen Rinnsalen oder Gerinnen aufkonzentriert und von diesen aus zur Versickerung gelangt.

Direktes „Hineinrinnen“ von Oberflächenwasser zum Quellaustritt oder der Quelfassung ist hier nicht gemeint. Diese Art von (temporären) Wasserzutritten ist für den Schutz des Bergwassers irrelevant, da knapp vor dem Austritt einer Quelle zutretendes Wasser ja unmittelbar darauf wieder austritt. Im Falle von Quellnutzungen sind ein hydrogeologisch entsprechend gewählter Fassungsart und die sogenannte Schutzzone 1 (Fassungsbereich) das „technische“ Minimum an Schutzvorkehrungen für eine Wasserversorgung.

Die für den nachfolgenden Rechenansatz zugrunde liegende Annahme ist, dass es zu einer Durchmischung des Schmelzwasserstromes und des Quellzustromes kommt. Je nachdem, ob es nach der „Schmelzwasserspitze“ zu einem Wiederanstieg der LF kommt, oder ob die LF weiter absinkt, kann darauf geschlossen werden, ob nach einem „Druckstoß“ (Pistoneffekt) ein verzögerter Mischungseffekt in einem Reservoir stattfindet, oder ob eher die Mischung zweier Ströme stattfindet. Die Reaktion der Temperatur ist hier ebenfalls zu berücksichtigen, da das versickernde Schmelzwasser eine Temperatur von 0 °C hat, und – im Idealfall – praktisch keine Mineralisation (LF = 0 µS/cm).

Der Schüttungsanstieg wird mit der LF-Minderung und T-Minderung korreliert. Daraus ergibt sich, wie direkt das Wasser der Schneeschmelze am Quellaustritt ankommt, bzw. welche Bodenpassage das Schmelzwasser im Vergleich zum Trockenwetterabfluss erfährt.

◆ **Einschränkung**

Es muss erwähnt werden, dass das Schmelzwasser der Schipiste keine Leitfähigkeit von 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hat. Allerdings ist der Anteil an Schipiste in den Quelleinzugsgebieten unter 10 %. Für Niederschlagswasser gilt hingegen die Annahme, dass Regen praktisch nicht mineralisiert ist.

◆ **Rechenansatz**

Q_N Basisabfluss der Quelle (Punkt auf der TWL) = Schüttung vor dem Schmelzwasser- oder Niederschlagswasserstoß

Q_H Schüttung der Quelle während des Schmelzwasser- oder Niederschlagswasserstoßes

LF_N Mineralisation der Quelle vor dem Schmelzwasser- oder Niederschlagswasserstoß

LF_H Mineralisation der Quelle während des Schmelzwasser- oder Niederschlagswasserstoßes

$Q_N * LF_N$ Ionenfracht des Basisabflusses

$Q_H * LF_H$ Ionenfracht während des Schmelzwasser- oder Niederschlagswasserstoßes

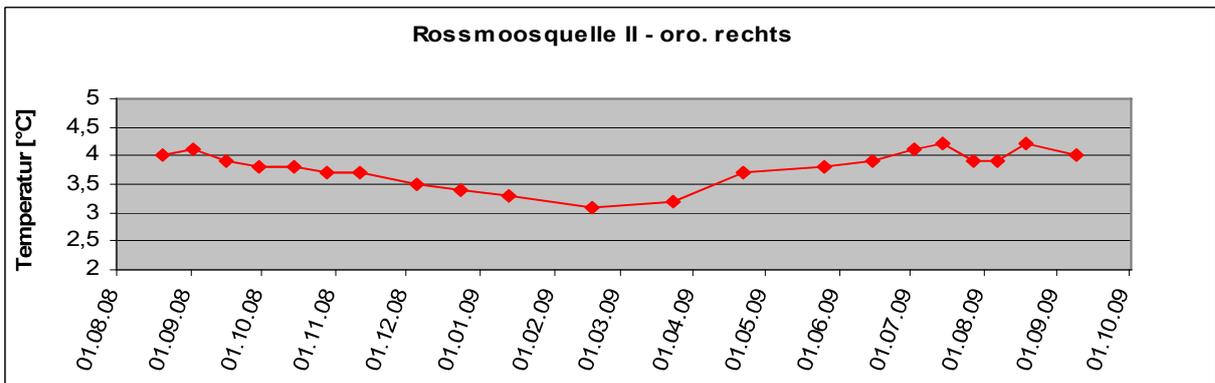
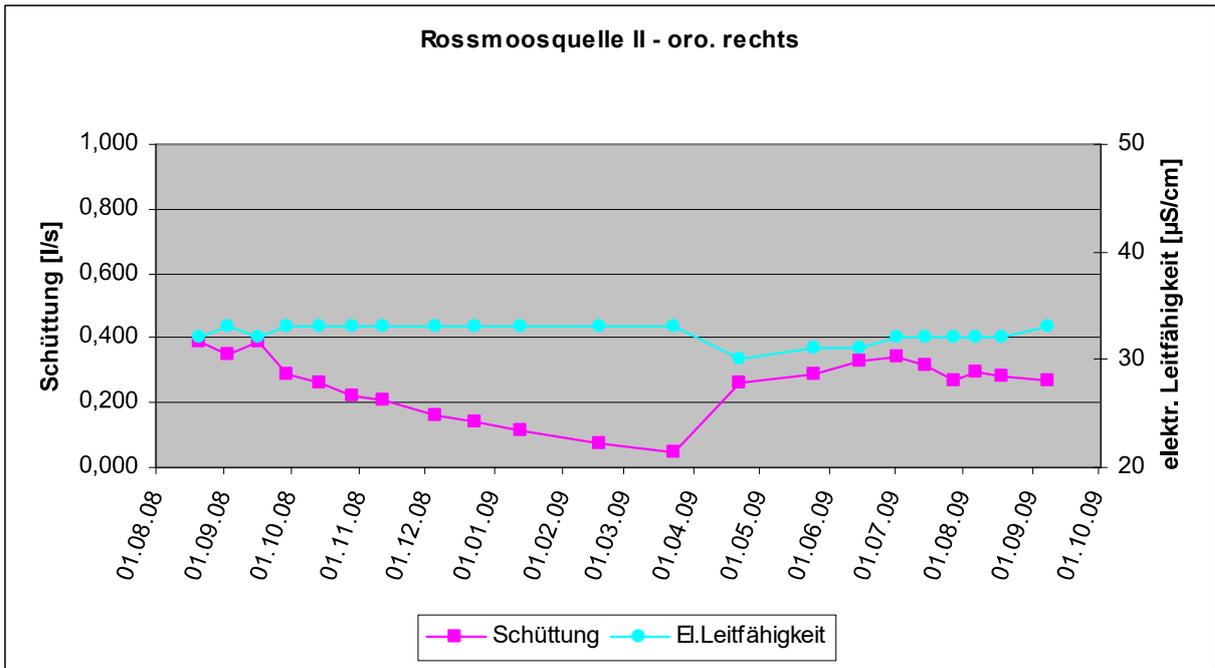
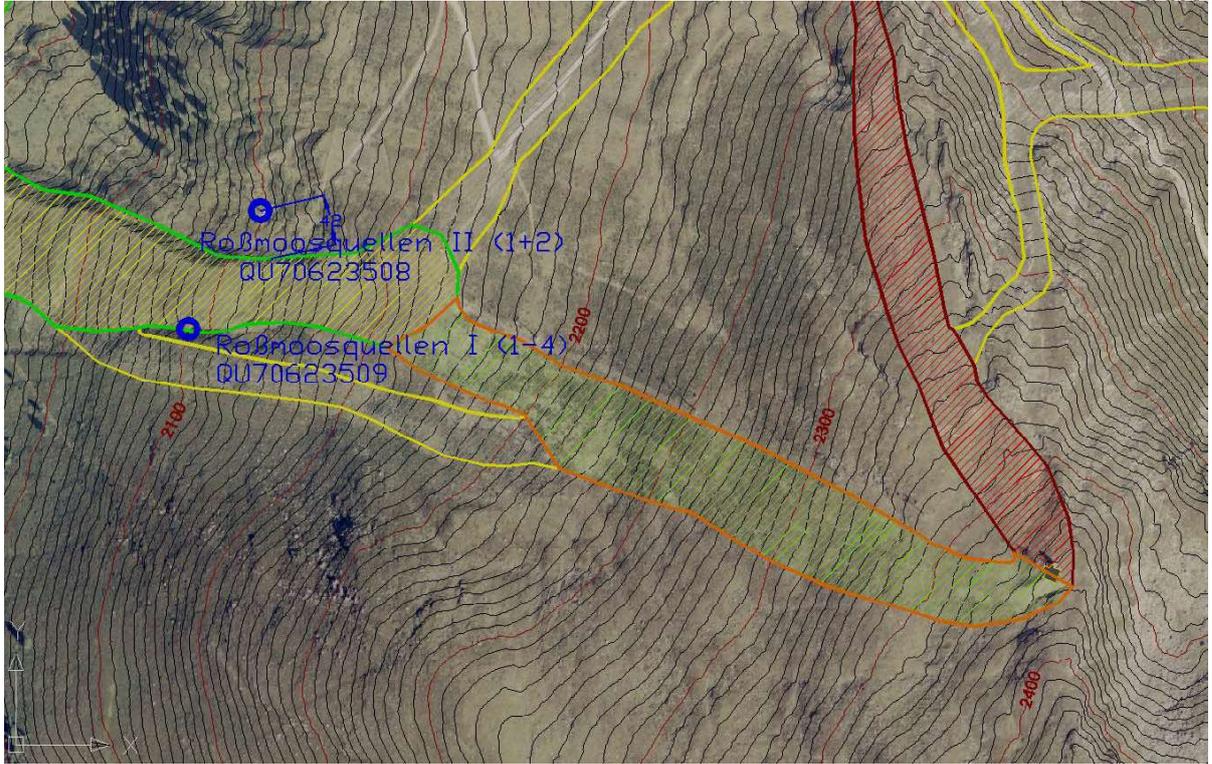
$Q_H * LF_H - Q_N * LF_N$ Ionenfracht des hinzugekommenen Schmelzwassers oder Niederschlagswassers

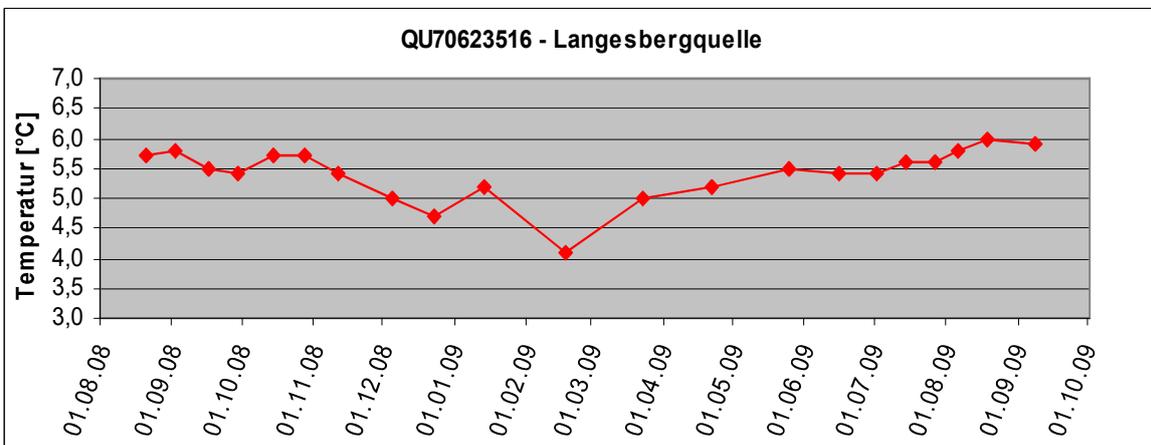
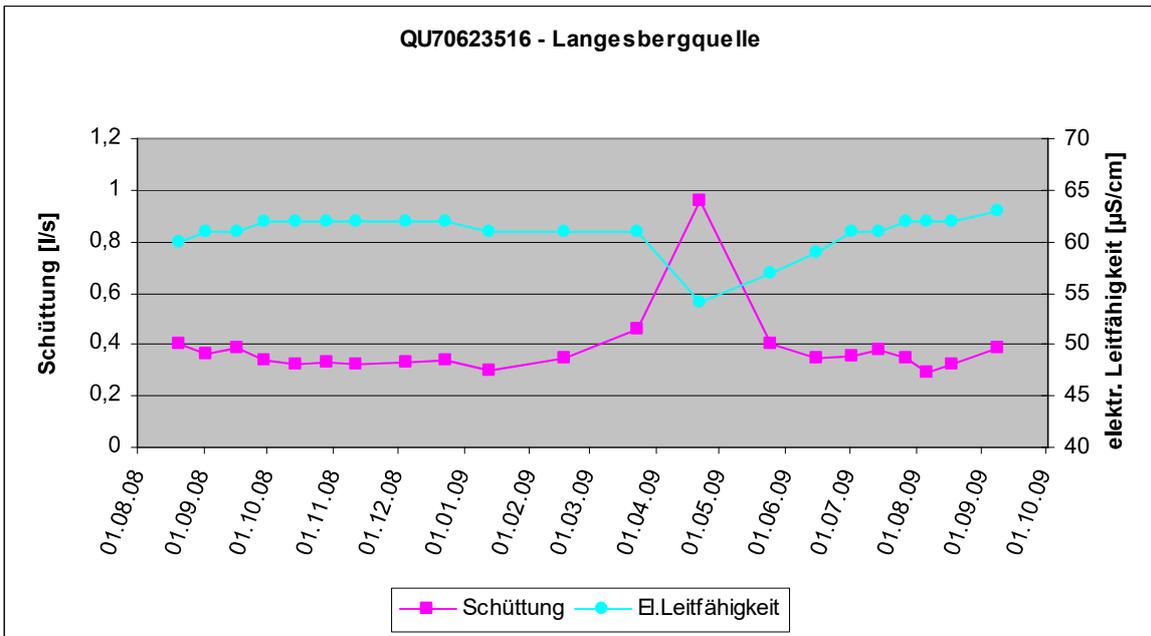
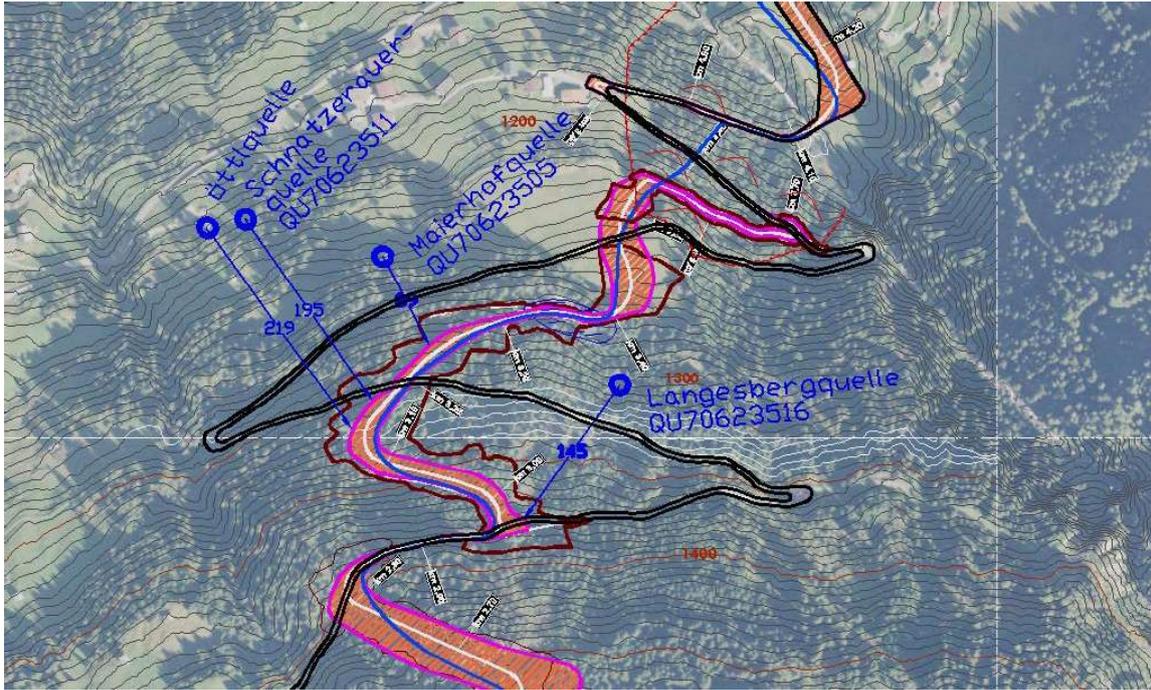
$Q_H - Q_N$ Menge an hinzugekommenem Schmelzwasser oder Niederschlagswasser

$LF_{SoN} = (Q_H * LF_H - Q_N * LF_N) / (Q_H - Q_N)$ **Mineralisation des Schmelz- oder Niederschlagswassers**

$((Q_H * LF_H - Q_N * LF_N) / (Q_H - Q_N)) / LF_N$ = Verhältnis der Mineralisation Schmelz- oder Niederschlagswasser zu Basismineralisation – entspricht damit p.d. dem Verhältnis der „Bodenpassagen und damit der potentiellen Reinigungswirkung“

VULNERABILITÄT des zugemischten Schmelz- oder Niederschlagswassers = 100 % (Mineralisation Basisabfluss) minus relative Mineralisation (= relative Bodenpassage) des sich dazumischenden Schüttungsstoßwassers





◆ **Rechenbeispiel 1**

Basisabfluss der Quelle 1 l/s, Abfluss während des Schüttungsstoßes 2 l/s, Basismineralisation 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Mineralisation während des Schüttungsstoßes 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (maximaler Verdünnungseffekt):

(ohne Einheiten)

Q_N	1
Q_H	2
LF_N	100
LF_H	50
$Q_N * LF_N$	= 100
$Q_H * LF_H$	= 100
$Q_H * LF_H - Q_N * LF_N$	= 0
$Q_H - Q_N$	= 1

$LF_{SoN} = (Q_H * LF_H - Q_N * LF_N) / (Q_H - Q_N) = 0/1 = 0$ → die **Mineralisation des Schmelz- oder Niederschlagswassers** zum Zeitpunkt der Vermischung mit dem Basisabfluss ist 0 („Idealfall“ des direkten Einflusses von nicht mineralisiertem Oberflächenwasser = ohne Bodenpassage oder Verweildauer)

Eine Quantifizierung des **Effektes der Bodenpassage für dieses dazu stoßende Wasser** – verglichen mit dem Basisabfluss - kann in % der Mineralisation ausgedrückt werden: $LF_{SoN}/LF_N = 0/1 = 0\% \Rightarrow$ **VULNERABILITÄT des zugemischten Schmelz- oder Niederschlagswassers = 100% - 0% = 100%** (also keine Bodenpassage und Reinigungswirkung zu erwarten)

◆ **Rechenbeispiel 2**

Basisabfluss der Quelle 1 l/s, Abfluss während des Schüttungsstoßes 2 l/s, Basismineralisation 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Mineralisation während des Schüttungsstoßes 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (geringerer Verdünnungseffekt):

(ohne Einheiten)

Q_N	1
Q_H	2
LF_N	100
LF_H	80
$Q_N * LF_N$	= 100
$Q_H * LF_H$	= 160
$Q_H * LF_H - Q_N * LF_N$	= 60
$Q_H - Q_N$	= 1

$$LF_{SoN} = (Q_H * LF_H - Q_N * LF_N) / (Q_H - Q_N) = 60/1 = 60$$

→ Die Mineralisation des Schmelz- oder Niederschlagswassers ist 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, und damit zwar geringer als jene des Basisabflusses, aber es handelt sich beim dazu stoßenden Wasser nicht mehr um unverändertes Niederschlags- oder Schmelzwasser.

Eine Quantifizierung des **Effektes der Bodenpassage für dieses dazu stoßende Wasser** – verglichen mit dem Basisabfluss - kann in % der Mineralisation ausgedrückt werden: $LF_{SoN}/LF_N =$

60/100 = 60%.

VULNERABILITÄT = 100% - 60% = 40% (bedeutet 40 % geringere Bodenpassage und damit 40 % geringere potentielle Reinigungswirkung für das zugemischte Schmelz- oder Niederschlagswasser).

◆ **Relativierung des Kunstschneeanteils am Schmelzwasserstoß**

Der Flächenanteil der beschneiten Fläche am für den Wasserstoß beteiligten Einzugsgebiet kann in erster Näherung als Verdünnungseffekt von Kunstschnee-Schmelzwasser genommen werden. Bekanntermaßen schmilzt Kunstschnee langsamer ab als Naturschnee, sodass der Verdünnungseffekt eigentlich noch wesentlich stärker ist, als er in dieser ersten Näherung ausgedrückt wird.

◆ **Messdaten – Repräsentativität**

Es wurden über ca. 14 Monate monatliche Messungen durchgeführt. Die Messdaten repräsentieren einen Punkt auf einer Kurve, deren genauer Verlauf mit dem Messintervall naturgemäß nicht genau erfasst, aber angenähert werden konnte. Wenn einzelne Messpunkte als relative Maxima oder Minima erscheinen, oder ein anderes Mal nur als kleine Anomalie, so wird dieses Messdatum oft nur einen Punkt auf einer „Schulter“ der Kurve darstellen. Auch wenn bei verschiedenen Quellen ein unterschiedliches Erscheinungsdatum für eine Anomalie aufscheint, so kann diese Anomalie zeitlich wesentlich geringer versetzt oder auch weiter versetzt sein, und der Charakter der Anomalie kann starke Unterschiede aufweisen (Gradient der Veränderung = steilerer oder flacherer Kurvenverlauf).

◆ **Diskussion der Methode**

Diese Berechnungen stellen einen idealen Mischungsfall von Basisabfluss und dazu stoßendem Niederschlagswasser dar.

Um den Mischungsvorgang zu charakterisieren ist der weitere Verlauf der Ganglinie von Q, LF und T zu betrachten. Wenn die Leitfähigkeit nach dem Abklingen des Schüttungsstoßes weiterhin niedriger als beim Basisabfluss bleibt, so bedeutet dies, dass die Verdünnung durch das zustoßende geringer mineralisierte Wasser in einem Reservoir verzögert eintritt und im wesentlichen das höher mineralisierte Wasser des Reservoirs herausgedrückt wird (Pistoneffekt). Um diesen Pistoneffekt in seiner Bedeutung abzuschätzen wäre der weitere Verlauf der Q- und LF-Ganglinien zu berücksichtigen, und auch jener der Temperatur. Die Temperatur ist vor allem für den Schmelzwasserstoß relevant, da Schmelzwasser in jedem Falle 0 °C hat, nicht jedoch das Niederschlagswasser später im Jahr.

Diese Berechnung einer „pauschalen Verweildauer“ aus dem Verdünnungseffekt für kurzfristig zuströmendes Wasser unterliegt zwar mehreren Randbedingungen, setzt sich aber in jedem Falle aus Bodenpassage und Verdünnungseffekt im Reservoir zusammen.

Wenn in den Wochen und Monaten nach einem markanten Schüttungsstoß kein markantes Absinken der Mineralisation oder Temperatur am Quellwasser zu beobachten ist, bzw. kein verzögerter plötzlicher Anstieg von Temperatur oder elektrischer Leitfähigkeit (Mineralisation) kann davon ausgegangen werden, dass nicht zu einem späteren Zeitpunkt das Schmelz- oder

Niederschlagswasser „konzentriert“ bei der Quelle austritt, sondern dass tatsächlich eine effektive Vermischung stattgefunden hatte bzw. dass das Niederschlags- oder Schmelzwasser eine entsprechende (aufmineralisierende und Temperatur angleichende) Bodenpassage durchströmt hat.

Das Verhältnis der Bodenpassage zwischen Stoßwasser und Basisabfluss stellt somit ein Maß für die relative Vulnerabilität einer Quelle gegenüber dem Einfluss von Schmelzwasser oder Niederschlagswasser dar.

alpECON WILHELMY e.U., TB für GEOWISSENSCHAFTEN, A-6165 Telfes 30, Österreich, Tel. 0043 - (0)5225 – 64 000 Fax
0043 - (0)5225 – 64 000 -4, Mobil 0043 - (0)676 – 844 797 200, m.wilhelmy@alpecon.at www.alpecon.at