

## Die Hydrogeologie des Hochschwabgebietes – Forschungsergebnisse im Überblick

H. STADLER & R. BENISCHKE

### Inhalt

#### Einleitung

#### Ältere hydrogeologische Untersuchungen im Hochschwabgebiet

- Frühe Erfassung karsthydrographischer Phänomene

- Hydrogeologische Untersuchungen

- Bohrungen und geophysikalische Untersuchungen

- Markierungsversuche

#### Neuere hydrogeologische Untersuchungen im Hochschwabgebiet

- Allgemeines

- Projektziele

  - Zeller Staritzen

  - Hochschwab

- Fallbeispiele hydrogeologischer Untersuchungen

  - Die Entwicklung des Abflussspenden-Höhenmodells für die Zeller Staritzen

    - Ausgangslage und Problemstellung

    - Methodische Grundlagen des Modells, Anwendung und Adaptierung für das Arbeitsgebiet

    - Modellaufbau

      - Niederschlagsverhältnisse, Stationen

      - Diskussion der Abflussspendendifferenzen

  - Isotopenhydrologische Untersuchungen

    - Berechnungen zur mittleren Seehöhe von Quelleinzugsgebieten

    - Isotopische Signaturen in einem glazial übertieften Tal (Trawies/Buchberg)

- Zusammenfassung

- Literatur und Unterlagen

### Einleitung

Die Erkundung und Erforschung des Hochschwabgebietes im Sinne heutiger Vorstellungen zur Hydrogeologie kann mit dem Ende des 19. bzw. mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts angesetzt werden. Einzelaspekte, die in verschiedene Fachdisziplinen reichen, waren jedoch schon viel früher Gegenstand fachbezogener Arbeiten zur Geographie, Geologie, Karstmorphologie, Speläologie, Limnologie und Hydrologie. Die Wahrnehmung besonderer Naturphänomene und Naturbildungen als solche begann natürlich mit Einzelbeobachtungen durch die lokale Bevölkerung und fand schon im 16. Jahrhundert Eingang in die Literatur. Im Zuge militärstrategischer, fiskalpolitischer und später naturkundlicher Erhebungen im Auftrage des jeweiligen Landesfürsten bzw. des Kaiserhauses wurden auch deren Erhebungsorgane darauf aufmerksam. Aufzeichnungen darüber sind uns zum Teil in entsprechenden Archiven erhalten.

Einen besonderen Impetus erfuhr die naturkundliche Erforschung des kalkalpinen Gebietes insbesondere im Bereich der Geologie durch die Aufnahmen der früheren k.k. Geologischen Reichsanstalt ab Mitte des 19. Jahrhunderts und im Bereich der Hydro(geo)logie durch die Aktivitäten im Rahmen der Vorarbeiten und der Errichtung der Zweiten Wiener Hochquellenleitung.

Umfassendere Untersuchungen zur Hydrogeologie des gesamten Gebirgsstockes folgten erst viel später ab den 1960er Jahren, wobei damit eine Methodenverfeinerung vor allem im Bereich des hydrographischen Messwesens einherging.

Hydrogeologische Forschung steht hierbei als Fachdisziplin im Schnittfeld der geologischen und der hydrologischen Wissenschaften nicht allein für sich, sondern hat weitere Spezialdisziplinen mit zu

berücksichtigen, um zu einem umfassenden Verständnis der Interaktion zwischen geologischem Substrat und dem gesamten Wasserkreislauf zu gelangen. Dazu gehören unter anderem klimatologisch-meteorologische, geomorphologische, im Hochschwab insbesondere karstmorphologische und speleologische sowie bodenkundliche, hydrochemische, hydrobiologische und vegetationskundliche Aspekte.

Im Rahmen der folgenden Ausführungen wird der Schwerpunkt auf den hydro(geo)logischen Aspekt gelegt und es wird versucht, zunächst die historische Entwicklung bis etwa zur Mitte der 1990er Jahre zu beleuchten und dann die danach folgenden neueren Arbeiten zur Hydrogeologie in Fallbeispielen darzustellen.

## **Ältere hydrogeologische Untersuchungen im Hochschwabgebiet**

### **Frühe Erfassung karsthydrographischer Phänomene**

Dass Karst- bzw. karsthydrographische Phänomene schon früh wahrgenommen worden sind, vornehmlich als „Naturmerkwürdigkeiten“, sollen die folgenden Beispiele belegen. Im Zuge der ersten kartographischen Aufnahme Innerösterreichs im Auftrag des späteren Kaisers Ferdinand II. durch den Augustinermönch Johannes CLOBUCCHIARICH etwa 1601–1605 (POPELKA, 1924) wurde z.B. schon die Karstquelle „Schwarze Lacken“ bzw. das „Wassermannsloch“ (Österr. Höhlenverz. Nr. 1741/6) aufgenommen, allerdings unter dem völlig unspektakulären Namen „Pruhn“ (= Brunn)<sup>1</sup>. Diese kartographische Aufnahme ist insofern bemerkenswert, weil damit dokumentiert wird, dass einzelne Karstphänomene schon relativ früh die Aufmerksamkeit Vorbeireisender auf sich zogen. Die nächste Erwähnung des selben Phänomens erfolgte um 1747 fast 150 Jahre später, durch den kaiserlichen Hofmathematiker Joseph Anton NAGL, der dies immerhin schon so interessant fand, dass er seinen ihn begleitenden Zeichner eine Frontalansicht des Austrittes skizzieren ließ.

Da die Verbindung zwischen Leoben, Eisenerz und Hieflau aufgrund der Wichtigkeit der dort ansässigen Eisen gewinnenden und verarbeitenden Industrie offensichtlich relativ stark frequentiert war, wurde in alten Reiseberichten immer wieder über diesen landschaftlich reizvollen Teil der Steiermark berichtet. Unter anderem war der Leopoldsteiner See Ziel diverser Reiseschriftsteller, die sich über Einzelphänomene Gedanken machten. So wurde lange Zeit vermutet, dass der Leopoldsteiner See nicht nur über den Seebach in den Erzbach entwässert, sondern auch unterirdisch in die „Schwarze Lacken“; darüber hinaus wurden zur Zeit der Schneeschmelze oder nach heftigen Regenfällen an bestimmten in der Literatur nicht näher bezeichneten Stellen manchmal heftig aufsprudelnde Wallerquellen beobachtet, deren Wasser man aus „unterirdischen Behältern“ herleitete. Auch auf der Nordseite des Hochschwab war der Kläfferbrunnen längst bekannt (SARTORI, 1807, 1811; MACHER, 1860).

## **Hydrogeologische Untersuchungen**

Im Rahmen der Vorarbeiten zur Zweiten Wiener Hochquellenleitung wurden zahlreiche Quellgebiete nicht nur an der Nordseite des Hochschwabgebiets, sondern bis in das Ennstal bzw. an die Nordseite des Toten Gebirges untersucht und schließlich wurde der Fassung der Kläfferquellen bzw. den zahlreichen anderen Bereichen der Umgebung (Siebenbrunn, Brunngraben, etc.) der Vorzug gegeben (BERGER, 1901; N.N., 1910). Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass sogar bis in das Grimminggebiet auf steirischer Seite bzw. bis zum Piessling-Ursprung auf der Nordseite des Warscheneckgebietes erkundet wurde. Letzterer wurde aufgrund seiner beeindruckenden Ausbildung und Wassermenge sogar in die engere Wahl gezogen. In einer 7-jährigen Periode wurden etwa 50 Quellen im Hochschwabgebiet sowie auch außerhalb davon Gelegene beobachtet und z.T. ihre Schüttung und Temperatur gemessen und die Auswahl zur Fassung auf Basis der gewonnenen Daten getroffen.

---

<sup>1</sup> Für den Literaturhinweis sei an dieser Stelle Herrn Mag. V. Weißensteiner, Landesverein f. Höhlenkunde i. d.Stmk., gedankt.

Mehr kompilatorischen Charakter hat die Arbeit von HOFFER (1906) über „Unterirdisch entwässerte Gebiete der nördlichen Kalkalpen“, in der er die damals bestehende Literatur zum Teil ausführlich exzerpiert, zum Teil auch starke Anleihe an vorliegenden Gutachten (KITTL, 1902, 1904) zum Bau der Zweiten Wiener Hochquellenleitung nimmt. Die schon von KITTL (1902) entworfenen Detailskizzen des Sieben-See-Gebietes wurden später durch TRAUTH (1948) reproduziert und mit weiteren Details ergänzt. Die durch Wasserspiegelabsenkungen zu Tage tretenden zusätzlichen Quellaustritte in den Uferbereichen der einzelnen Seen führten schon zu einer detaillierten Vorstellung über die hydrographischen Zusammenhänge dieses Bereiches.

Untersuchungen in anderem Zusammenhang (Geschiebeherdkartierungen) führten auch zwangsläufig zur Kenntnisnahme von Karstwasseraustritten, wie die Arbeit der ENNS-STUDIENKOMMISSION (1953), die wiederum die „Schwarze Lacken“ bei Eisenerz als „Neustücklquelle“ für die lokale Wasserversorgung als bemerkenswert fand. Auch in STINY (1925, 1933) wurde diese Quelle als lokaler Wasserspender erwähnt.

Im Sommer 1960 erfolgte dann erstmals eine systematische Quellenaufnahme im Gesamtgebiet des Hochschwabmassivs (ZÖTL, 1961 a, b). Aufgenommen wurden insgesamt 380 Quellaustritte, von diesen die Schüttung entweder geschätzt oder gemessen, die Wassertemperatur gemessen und von 235 Austritten die elektrische Leitfähigkeit als Maß der Gesamtmineralisierung sowie von 138 Quellen die Gesamthärte, die Karbonathärte und der Sulfatgehalt bestimmt. Damit war ein Überblick gewonnen und eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen geschaffen.

Wegen der Bedeutung der Wasserressourcen des Hochschwabgebiets nicht nur für die Wiener Wasserversorgung, sondern auch für zahlreiche steirische Gemeinden und auch im Hinblick auf eine Versorgung des Großraumes Graz wurde mit 10. 03. 1969 durch den Steiermärkischen Landtag der Beschluss zu einer genauen Aufnahme der steirischen Wasservorräte gefasst (FABIANI, 1980 a). Begonnen wurde im Bereich des Hochschwabgebiets insbesondere auch deswegen, weil durch die Stadt Wien beabsichtigt war, beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft eine Rahmenverfügung bzw. Schongebietsverordnung zu beantragen. Entsprechende Vorstellungen dazu wurden in Schutzgebietsentwürfen vorgelegt (GATTINGER, 1970). Um bei allfälligen bevorstehenden Verhandlungen die steirischen Interessen wahren zu können, wurde mit 12. 01. 1971 der Wasserverband Hochschwab-Süd ins Leben gerufen, der damals 27 steirische Gemeinden einschließlich der Stadt Graz umfasste und damit etwa 400.000 Einwohner vertrat. Vom Verband wurde dann ebenfalls eine Rahmenverfügung für den südlichen Teil des Hochschwabs beantragt. Schließlich konnte mit 29. 07. 1973 eine sowohl Wiener als auch steirische Interessen berücksichtigende Verordnung zum Schutze der Wasservorkommen mit vorzugsweiser Widmung zur Trinkwasserversorgung im Bundesgesetzblatt (BGBl. Nr. 345/1973) kundgemacht werden.

In einem 10-jährigen Untersuchungsprogramm wurden die Quellen der Hochschwab-Süd-, Südost- und Nordwestseite völlig neu aufgenommen und ein systematisch aufgebauter Quellenkataster erstellt. An allen wichtigen Fließgewässern, vor allem in den sogenannten Hoffnungsgebieten (Leopoldsteiner See – Seeau, Tragößtal, Ilgner Tal und Seegraben) wurden zum Teil Schreibpegel errichtet. Gleichzeitig damit verbunden war auch ein karstmorphologisch-speläologisches, ein meteorologisches, ein hydrochemisches und isotopenhydrologisches Beobachtungsprogramm, geophysikalische Untersuchungen, das Niederbringen von Erkundungsbohrungen sowie Pumpversuche und einzelne geologische Detailaufnahmen (FABIANI et al., 1980; FABIANI, 1980 a, b, c; SCHMID et al., 1980; MEIDL et al., 1980), woraus schließlich das endgültige Konzept der Wasserversorgung aus dem südlichen Hochschwabbereich entstand (BERNHART, 1980). Mit der Erschließung für die Trinkwassernutzung der anliegenden Gemeinden, der Stadt Graz und nach Durchleitung durch den Plabutschtunnel mit Anschlussmöglichkeiten an weitere südwärts gelegene Gemeinden bzw. als Reserve für die unter Wassermangel leidende Oststeiermark konnte dieses Konzept weiter entwickelt werden.

Im Nordteil des Hochschwabgebiets wurden ähnlich wie beim Programm der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung durch das Speläologische Institut, Wien, für den Wasserwirtschaftskataster beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft an ausgewählten Quellen Dauerbeobachtungen mit

Schüttungen, Wassertemperatur, Gesamthärte, Nichtkarbonathärte und Tritium durchgeführt (BAUER, 1974).

Am Beginn der 1990er Jahre wurde von der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung im Rahmen der Bund-Bundesländer-Kooperation ein Untersuchungsprogramm zur detaillierteren Erkundung von Wasservorräten des Raumes Leopoldsteiner See – Seeau – Pfaffingplateau begonnen (STROBL, 1992; STROBL & ZOJER, 1992, 1993, 1995). Dazu wurden in einer 3-jährigen Untersuchung ausgewählte Quellen zwischen Wasserboden, Fobistal und Erzbach einer hydrologischen, hydrochemischen und isopenhydrologischen Detailbeobachtung unterzogen, wobei einzelne wichtige Beobachtungsstellen schon mit Datensammlern zur Messung von Wasserstand, elektrischer Leitfähigkeit und Wassertemperatur ausgerüstet werden konnten. Erstmals konnte auch eine statistische Verteilung der Ca-Mg-Verhältnisse der Triaskarbonate kartenmäßig dargestellt werden. Auf Basis der gewonnenen hydrogeologischen Daten konnte weiter erhärtet werden, dass die allgemeine Entwässerung des westlichen Hochschwabgebietes überwiegend Richtung Hinterseeau – Leopoldsteiner See erfolgt. Nutzungsmöglichkeiten ergaben sich, wie auch schon nach den Untersuchungen der 1970er Jahre vermutet worden war, vor allem im Bereich des mächtigen Aquifers in der Seeau mit Ergiebigkeiten bei Pumpversuchen von an die 200 l/s.

### **Bohrungen und geophysikalische Untersuchungen**

Im Zuge des Untersuchungsprogramms der 1970er Jahre wurden in den glazial übertieften Tälern der Hochschwab-Süd- und -Westseite zahlreiche Bohrungen zur Erkundung der Talfüllungen auf ihre Grundwasserführung niedergebracht sowie weitere Bohrungen für Pumpversuche abgeteuft. Dabei hat sich gezeigt, dass z.B. im Bereich der Seeau des Leopoldsteiner Sees Taltiefen bis zu 160 m unter GOK (vermutlich auch darüber) auftreten und auch im Tragösser Tal und Ilgner Tal um die 200 m Tiefe erreicht werden. Bohrungen im Seegraben unterhalb von Seewiesen erbrachten Tiefen bis zum Anstehenden von etwa 80–90 m, wobei in allen diesen Bereichen in einzelnen Horizonten Seetoneinschaltungen Stauhohizonte im vorgelagerten Bereich anzeigten (FABIANI, 1980 b, c). Ergänzt wurden diese Untersuchungen auch durch geophysikalische Erkundungen (SCHMID et al., 1980)

Wenig untersucht ist hingegen das Erzbachtal vom Ortsteil Münichtal abwärts. Beispielsweise wurden bei Baugrunderkundungen zum Kleinkraftwerk Erzbach Bohrungen im Lockersediment lediglich auf etwa 15 m abgeteuft. Interessant wäre – auch zur besseren Beurteilung der quartären Eintiefung – der Bereich um die Schwarze Lacken, da der heutige Austritt durch die anlagernden Sedimente um etliche Meter höher liegt als der Ursprüngliche. Man kann davon ausgehen, dass unmittelbar vor dem Austritt eine Taltiefe von mindestens 20 m besteht.

Auf der Nordseite des Hochschwabgebiets bestanden schon zu Zeiten der Untersuchungen SCHINZELS (SCHINZEL, 1958) Bohrungen im Bereich der Kräuterbrunnquellen. Später wurden zusätzliche Bohrungen (u.a. die Bohrung Wildalpen 1 mit einer Tiefe von ca. 70 m) in dem zwischen der Bergflanke der Kräuterin und der Salza liegenden Geländeabschnitt abgeteuft und Bohrlochmessungen durchgeführt. Refraktionsseismische Messungen erbrachten für diesen Bereich Sedimentmächtigkeiten bis zu etwa 60 m (SCHMID, 1995).

### **Markierungsversuche**

Inwieweit Markierungsversuche – als hydrogeologische Spezialmethodik – im Hochschwabgebiet schon vor 1940 durchgeführt wurden, konnte bislang nicht geklärt werden. Mit den unten angeführten Versuchen wird daher keine Vollständigkeit angestrebt, sondern diese beispielhaft für die Lösung bestimmter Fragestellungen angeführt. In den meisten Fällen wird dabei versucht, Detailfragen der unterirdischen Entwässerung zu klären. Darüber hinaus muss auch in Erinnerung gerufen werden, dass die Ergebnisse dieser Versuche streng nur für einen bestimmten Geländeabschnitt unter gegebenen hydrometeorologischen Verhältnissen Gültigkeit haben und Schlussfolgerungen daraus selbstverständlich alle übrigen Beobachtungen und Erkenntnisse der verschiedenen Fachdisziplinen mit-

einschließen müssen. Markierungsversuche wurden überhaupt vielfach als Allheilmittel betrachtet, um unterirdische Karstwasserzusammenhänge zu klären, doch ohne ausreichende hydrogeologische Vorklärung war in manchen Fällen ein Misserfolg schon vorprogrammiert. Im Folgenden werden einzelne Versuche in ihrer chronologischen Abfolge angeführt.

Nicht unmittelbar zum Hochschwabmassiv aber doch im Zusammenhang mit der Klärung der unterirdischen Entwässerung in Randbereichen steht der Markierungsversuch vom 07.–14. 12. 1941 (SCHINZEL, 1958) mittels Uranin im Bereich der Kräuterbrunnquellen, um zu klären, inwieweit diese auch Salzwasser führen. Ein Salzaeinfluss konnte nicht ausgeschlossen werden.

Im Westteil des Hochschwab-Massivs soll Anfang August 1959 anlässlich der höhlenkundlichen Vorstöße im sogenannten Böse-Mauer-Schacht (Österr. Höhlenverz. Nr. 1742/12) ein „Färbungs- und Chlorierungsversuch“ durch eine Gruppe von Eisenerzer, Wiener und französischen Höhlenforschern durchgeführt worden sein, der den Zusammenhang mit den großen Karstquellen der Hinterseeau erbracht haben soll (M.F., 1959). Leider konnten darüber bislang keine Unterlagen und näheren Details dazu ausfindig gemacht werden. Die Hinterseeauquellen werden aufgrund ihrer Position und Dargebotsgröße als Hauptaustritte der Höhlengewässer des ausgedehnten Frauenmauer-Langstein-Höhlensystems (Österr. Höhlenverz. Nr. 1742/1) vermutet.

Im Zuge der beginnenden systematischen hydrogeologischen Untersuchungen in den 1960er Jahren im Auftrag des Referates für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung des Amtes der steiermärkischen Landesregierung wurde zur Klärung des Zusammenhangs zwischen Pfarrerlacke – Grüner See – Kreuzteiche im Tragößtal auf der Hochschwab-Südseite ein Markierungsversuch durchgeführt (Einspeisung von 5 kg Uranin am 27. 05. 1968), der einen Tracertransport im Grundwasserstrom über die gesamte Talbreite mit Abstandsgeschwindigkeiten bis zu 40 m/h erbrachte (FABIANI, 1980 b).

Einer Anregung Prof. THURNERS (TURNER, 1967) folgend erstellte Prof. ZÖTL im Jahre 1968 ein Programm für einen großangelegten Markierungsversuch zur Klärung der großräumigen Karstwasserzusammenhänge im Hochschwab (ZÖTL, 1968). Basis waren die bis dahin verfügbaren geologischen Grundlagen, hydrogeologische Quellenaufnahmen und hydrochemische Übersichtsbeprobungen durch ZÖTL (1961 a, b). ZÖTL regte auch umfangreiche isotonenphysikalische Untersuchungen der Quellwässer zur besseren Abschätzung der Lage ihres jeweiligen Einzugsgebietes an. Sämtliche damals verfügbaren Tracer (gefärbte Sporen, Fluoreszenzfarben, Salze und aktivierungsanalytische Tracer) sollten an 10 verschiedenen über das Gesamtgebiet verteilten Einspeisestellen zum Einsatz kommen. Mehr als 120 Entnahmestellen waren vorgesehen. Das Programm wurde in diesem Umfang – auch aus Kostengründen – nie realisiert, sondern nur hydrochemische und Isotopen-Untersuchungen beauftragt, und auch diese nur zum Teil und nicht im vorgesehenen Umfang. Eine generelle Klärung mittels Markierungsversuchen hinsichtlich der Einzugsgebiete der größeren Wasserspender ist bis heute ausständig. Dies betrifft insbesondere eine bessere Abgrenzung des Einzugsgebietes der Kläfferquelle und die unterirdische Wasserscheide zum Entwässerungssystem des westlichen Hochschwabgebiets.

Im Zuge eines geplanten Doppel-Sesselliftprojektes von Seewiesen in den Bereich des Ostgipfels der Aflenzler Staritzen wurden Gutachten (TURNER, 1971 a, b) eingeholt, vor allem hinsichtlich eines dadurch entstehenden Kontaminationsrisikos der Zweiten Wiener Hochquellenleitung. Im Zuge dieser Planungen wurde schließlich durch Prof. TURNER am 07. 08. 1971 ein Markierungsversuch mit Einspeisung von Uranin (Menge unbekannt) in eine Schwinde westlich der geplanten Bergstation durchgeführt. Beobachtet wurden nur Quellen im Raum Seewiesen und Gollrad, da aufgrund geologischer Argumente laut TURNER eine Verbindung zu anderen Austritten, z.B. in das Salztal, nicht möglich sei. Da das Ergebnis dieses unzureichend dokumentierten Versuches angezweifelt wurde, wurde auf Anregung und Gutachten von ZÖTL (1971) das damalige Speläologische Institut unter F. BAUER (BAUER, 1971 a, b) beauftragt, einen weiteren Versuch fachgemäß durchzuführen. Insgesamt wurden in zwei Schwinden je 5 kg Uranin bzw. Sulforhodamin G eingebracht und die wesentlichen Quellen und Oberflächengerinne des östlichen Hochschwabgebiets beobachtet. Schon in den Blindproben an der Kläfferquelle konnte im September 1971 Uranin nachgewiesen werden, was von BAUER dem Versuch

von THURNER zugeordnet wurde. Die Eingabe durch Bauer erfolgte erst am 27. 11. 1971. Tracernachweise erfolgten nur an der Kläfferquelle (BAUER, 1972). Damit konnte erstmals ein weiträumiger Ost-West-Transport entsprechend den strukturgeologischen Gegebenheiten nachgewiesen werden.

Die Arbeiten im Auftrage der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung der Steiermark konzentrierten sich auf den südlichen Bereich des Hochschwab und vornehmliches Ziel war, geeignete Entnahmeorte oder -bereiche zu finden, seien es Quellen oder Grundwasseraufschlüsse. Im Bereich Seewiesen wurde daher vom 17. 08. 1976 – 23. 08. 1976 ein Markierungsversuch zur Klärung der Grundwasserströmungsverhältnisse in der Talfüllung mit Uranin durchgeführt (ZOJER, 1976; FABIANI, 1980 c).

Lange nach Abschluss dieses umfangreichen Untersuchungsprogrammes der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung und längst nach Inbetriebnahme der Förderbrunnen im Ilnertal fanden weitere Markierungsversuche zu Klärung von Detailfragen statt, insbesondere zur Frage des Kontaminationsrisikos der Brunnenanlagen der Zentralwasserversorgung Hochschwab Süd – ZWHS) aus dem Bereich Bodenbauer und aus den angrenzenden Talflanken.

1989 wurde untersucht, welches Gefährdungspotential durch den im Entnahmebereich der Zentralwasserversorgung Hochschwab Süd jedes Frühjahr auftretenden temporären Schmelzwassersee gegeben wäre (HARUM, 1990).

Im März 2001 erfolgte durch Eingabe von Uranin im temporären See mehr oder weniger eine Wiederholung des Versuches von 1989, jedoch unter Einbeziehung parallel dazu durchgeführter mikrobiologischer Untersuchungen, während im April desselben Jahres die Eingabe von Eosin die Klärung der Infiltrationsbedingungen im östlich angelehnten Schwemmfächer zum Ziel hatte. Der in diesem Bereich den Schwemmfächer infiltrierende Ochsengrabenbach fällt sogar zeitweise völlig trocken. Ergebnis war, dass es sich offensichtlich um sehr mächtige Schwemmfächerbildungen mit einer ebenso mächtigen ungesättigten Zone handelt, da seit dem Jahre 2001 in der talauswärts gelegenen Kammerhoferquelle in Aktivkohlen der Tracer nachzuweisen ist, d.h. schon mehr als 8 Jahre (STADLER & BENISCHKE, 2006; STADLER et al., 2006).

Im Zuge neuerer höhlenkundlicher Untersuchungen (SEEBACHER, 2007) an der Schwarzen Lacken (Österr. Höhlenverz. Nr. 1741/6) bei Eisenerz konnten im Rahmen des höhlenkundlichen Forschungsprojekts „Aquarius“ Siphone durchtaucht und unterirdisches Neuland erkundet werden. Ein kleiner Markierungsversuch mit Eingabe von Uranin (25. 06. 2001) im Bereich der Auftauchstelle des 1. Siphons zeigte wegen weitgehender Stagnation im Siphonbereich nur eine sehr langsame Wiederausbringung. Weitere Nebenquellen den Erzbach aufwärts blieben während der gesamten Versuchszeit negativ.

## **Neuere hydrogeologische Untersuchungen im Hochschwabgebiet**

### **Allgemeines**

Neben den größeren Projekten des Instituts für WasserRessourcenManagement (vormals Institut für Hydrogeologie und Geothermie) der Joanneum Research Forschungsgesellschaft

- Hydrogeologie Zeller Staritzen 1992–1997
- Hydrogeologie Hochschwab 1995–2006

wurden im Bereich Hochschwab Süd noch weitere regionale Untersuchungen im Auftrag der ZWHS (Zentralwasserversorgung Hochschwab Süd) durchgeführt, wobei hier aus den isotopehydrologischen Untersuchungen zitiert wird.

Bei den großräumigen Untersuchungen am Hochschwab kommt dem Projekt „Zeller Staritzen“ eine Schlüsselstellung zu. Es stellt den Einstieg der Stadt Wien in die neueren systematischen Untersuchungen der Wasserressourcen des Hochschwabgebiets dar und formulierte auch die methodischen Grundlagen der hydrogeologischen Untersuchungen, auch für das Anschlussprojekt „Hydrogeologie Hochschwab“. Es wurde von der Stadt Wien unter Federführung von Senatsrat Dipl.-Ing. Franz Laaha initiiert und im Gesamtumfang von der Stadt Wien finanziert.

Das Anschlussprojekt wurde, mit ähnlichen Projektzielen, nunmehr jedoch über die so genannte Bund-Bundesländer-Kooperation abgewickelt. Die Länder Steiermark und Wien sowie das Wissenschaftsministerium teilten sich die Finanzierung.

Die oben angeführte Projektdauer darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die geplante Projektdauer nur 5 Jahre betrug, sich im Laufe der Jahre längere Finanzierungslücken ergaben und in der Finalisierungsphase die Finanzierung durch den Bund vollständig ausblieb.

## **Projektziele**

### ***Zeller Staritzen***

Ziel dieses mehrjährigen Projekts war die Erfassung des Wasserhaushaltes der Zeller Staritzen für eine Optimierung der Bewirtschaftung unter Erhaltung des ökologischen Gleichgewichtes.

Dies erforderte

- die Untersuchung der Einzugsgebiete der drei gefassten Quellen (Pfannbauerquelle, Höllgrabenquelle, Brunngrabenquellen) im Arbeitsgebiet und Festlegung der Einzugsgebietsgrenzen,
- Berechnungen der Speichervolumina,
- Berechnung der mittleren Leerlaufzeiten einzelner Speicher,
- Auswertung von Isotopenuntersuchungen zur Berechnung der mittleren Einzugsgebietshöhen und Verweilzeiten,
- sowie die Ermittlung der Auslaufkoeffizienten.

Darauf aufbauend kann in Zusammenschau mit den Ergebnissen der karstmorphologischen Kartierung eine erste Ausweisung von besonders schützenswerten Gebieten innerhalb der einzelnen Einzugsgebiete erfolgen.

Dieses umfassende Projektziel soll durch Realisierung einzelner Projektphasen erreicht werden. Die einzelnen Projektphasen sind innerhalb der drei Teilbereiche

- Geologie
- Morphometrie/Morphogenese
- Hydrologie

miteinander verknüpft.

Im Arbeitsprogramm Geologie musste noch auf die Kompilation vorhandener, älterer Unterlagen gesetzt werden (SPENGLER, 1926), da zu diesem Zeitpunkt leider noch keine Koordination zwischen den hydrogeologischen Arbeiten und den neuen Kartierungen der Geologischen Bundesanstalt erfolgen konnte. Bei der Berichtslegung im Jahre 1997 standen jedoch bereits moderne geologische Karten in Teilbereichen zur Verfügung (MANDL et al., 1994, 1995) und konnten somit eingearbeitet werden.

Im Bereich Morphometrie/Morphogenese wurde vor allem die Analyse eines Digitalen Geländemodells (DTM) zur Erstellung eines Abflussspenden-Höhenmodells in den Vordergrund gestellt. Karstmorphologische Kartierungen, besonders auf den Hochflächen der Zeller Staritzen, überschritten sich zeitlich mit der Erstellung der Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarte Hochschwab (PAVUZA, Dez. 1995). Mittlerweile liegt eine entsprechende Übersichtsarbeit zur Karstgefährdungsthematik im Hochschwab (FINK et al., 2005) und weiterführende karstmorphologische Auswertungen (PLAN & DECKER, 2006) vor.

Den Schwerpunkt der Arbeiten stellte naturgemäß die hydrologische und hydrogeologische Arbeit dar. Diese seien hier schlagwortartig, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, angeführt: Aufbau von hydrologischen Messstationen, Auswahl eines Beprobungsnetzes für chemische und isotopehydrologische Untersuchungen, Abflussmessungen, Erstellung von Schlüsselkurven, Ereignisbeprobungen, Erstellung eines Abflussspenden-Höhenmodells, Erstellung von hydrologischen Zeitreihen.

Es war der Aufbau eines hierarchischen Messstellennetzes (mehrere Ausbauphasen, unterschiedliche Ausstattung und Parameterumfang) geplant, die möglicherweise notwendige Durchführung eines

Markierungsversuchs in besonders wichtigen Teilgebieten nach Ausschöpfung aller anderen zur Verfügung stehenden hydrologischen Methoden wurde bereits im Antrag ins Auge gefasst.

### **Hochschwab**

Im Rahmenantrag zum Projekt aus der Bund-Bundesländer-Kooperation aus dem Jahr 1994 wurden die Projektziele bereits in quantitative und qualitative Aspekte unterteilt, um dem Schutzgedanken breiteren Raum zu lassen.

Die wichtigsten Ziele beider Aspekte im Überblick:

#### *Quantitative Aspekte*

- Erfassung der Wasserreserven des gesamten Hochschwabmassivs zur Optimierung der Nutzung dieser Ressourcen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte.
- Abgrenzung von Quelleinzugsgebieten bei verschiedenen hydrologischen Bedingungen.
- Erfassung der Wasserzirkulation in den jungen Talfüllungen, Untersuchung der Karstwasserdynamik.

#### *Qualitative Aspekte*

- Ausweisung von Bereichen besonderer Verletzbarkeit der Karstwasservorräte.
- Erarbeitung von Schutzzonen unterschiedlicher Priorität aufgrund vorhandener Gefährdungspotentiale
- Empfehlungen für Nutzungsarten und -beschränkungen.
- Erarbeitung von einzugsgebietsrepräsentativen Parametern hinsichtlich Trübung und Schwebstoffführung an ausgewählten Quellen mit unterschiedlichen Nutzungsarten in den jeweiligen Einzugsgebieten.

Die geologischen Grundlagen stellten sich für dieses Projekt wesentlich verbessert dar, wobei mit der Geologischen Bundesanstalt eine sehr gute Koordination und Kooperation der beiden nun parallel laufenden Projekte, nämlich der geologischen Kartierung und der hydrogeologischen Arbeiten, entstand.

Weitere geologische (DECKER & REITER, 2001) und speläologische Arbeiten (PLAN, 2002) wurden ebenfalls im Rahmen der Karstforschung der Stadt Wien durchgeführt und standen für die hydrogeologischen Arbeiten zur Verfügung.

Es ist mir in diesem Zusammenhang ein besonders Bedürfnis, die Möglichkeiten zur interdisziplinären Zusammenarbeit, die innerhalb des Karstforschungsprogramms der Stadt Wien gegeben waren, nochmals hervorzuheben. Die damit ermöglichten Forschungspartnerschaften können durchaus als zukunftsweisend betrachtet werden.

### **Fallbeispiele hydrogeologischer Untersuchungen**

Beispielhaft seien hier nun zwei Arbeitsmethoden mit ihren Ergebnissen dargestellt, jeweils aus einem der beiden erwähnten Projekte.

Die Erstellung eines Abflussspenden-Höhenmodells wurde im Projekt „Zeller Staritzen“ durchgeführt. Es soll vor allem deshalb hier dargestellt werden, da es sehr gut den damaligen methodischen Ansatz repräsentiert und somit auch deutlich die methodischen Entwicklungen im Bereich der hydrogeologischen Arbeiten auf dem Gebiet der Regionalisierung und Modellentwicklung darstellt.

Das zweite Fallbeispiel stammt aus dem Gebiet der Isotopenhydrologie und wird hier vor allem dargestellt, da es gebietsspezifische Besonderheiten zeigt, die zu diskutieren sind.

## ***Die Entwicklung des Abflussspenden-Höhenmodells für die Zeller Staritzen***

### ***Ausgangslage und Problemstellung***

Die Erfassung der Speicher- und Abflussdynamik des Arbeitsgebietes Zeller Staritzen und Gutenbrand wurde in den Arbeitsprogrammen als wichtiger Schritt zur Abgrenzung von Einzugsgebieten der Quellen der Wiener Hochquellenleitung bzw. von Zonen unterschiedlicher Verletzbarkeit und/oder Schutzwürdigkeit dargestellt.

Als Methode zur Erstellung eines einzugsgebietspezifischen Modells, in dem sowohl morphometrische, morphogenetische, hydrogeologische und meteorologische Basisdaten Einfluss finden können, wurde das Abflussspenden Höhenmodell gewählt. Dieses am Institut entwickelte Modell ermöglicht durch entsprechende Weiterentwicklungen auch die jeweils beste Anpassung an die im Arbeitsgebiet angetroffenen Bedingungen und die Einbeziehung neuester infrastruktureller Einrichtungen, wie sie der Einsatz von Online-Messsystemen darstellt.

Bei der Erstellung des Arbeitskonzepts war davon ausgegangen worden, dass die Erarbeitung eines entsprechenden Modells innerhalb des Arbeitsgebietes möglich ist. Nach den ersten Auswertungen hydrologischer und hydrogeologischer Daten zeigte sich jedoch, dass sich dies innerhalb des engeren Arbeitsgebietes (Zeller Staritzen, Gutenbrand) nicht mit der gewünschten Genauigkeit und Fehlerbreite bewerkstelligen lässt. Das Bezugsgebiet für das Abflussspenden-Höhenmodell wurde daher erweitert. Einbezogen wurden alle Teileinzugsgebiete des Aschbachs bis Gußwerk, das Einzugsgebiet der Salza bis Gußwerk, Teileinzugsgebiete und nördliche Zubringer der Salza zwischen Gußwerk und Weichselboden sowie das Einzugsgebiet des Radmerbachs bis Weichselboden (siehe Abb. 1).

### ***Methodische Grundlagen des Modells, Anwendung und Adaptierung für das Arbeitsgebiet***

Die Höhenabhängigkeit des Niederschlags bildet den Ausgangspunkt zur Entwicklung des Abflussspenden-Höhenmodells. Aus dieser Abhängigkeit ergibt sich auch eine Höhenabhängigkeit des Abflusses. Diese Abhängigkeit des Abflusses ist jedoch kein direktes Abbild der Niederschlagsverteilung und dessen Höhenabhängigkeit, sondern inkludiert bereits viele naturräumliche Gegebenheiten wie Exposition, Vegetation, Speicherkenngrößen und vieles mehr. Es werden daher im Abflussspenden-Höhenmodell die Abflüsse in Beziehung zur mittleren Seehöhe und der Fläche der orographischen Einzugsgebiete gesetzt. Durch die Auswahl von „Eichgebieten“ und den Vergleich mit den gemessenen bzw. errechneten Daten aller einbezogenen Gebiete lassen sich zum einen gebietsübergreifende Entwässerungen feststellen, zum anderen aber auch Einzugsgebietsflächen berechnen. In Verbindung mit den errechneten mittleren Seehöhen der Einzugsgebiete einzelner Quellen (Isotopendaten), kann auch eine Höhenkorrektur dieser so berechneten Flächen durchgeführt werden.

Im vorliegenden Fall wurde in dieses Modell auch eine Niederschlagskorrektur entsprechend der Lage der Einzugsgebiete bezüglich der Nordstau-Exposition eingefügt.

Innerhalb des engeren Arbeitsgebietes sind die wichtigsten Quellaustritte mit entsprechenden Datensammlern und die das engere Arbeitsgebiet begrenzenden Oberflächengerinne (Aschbach, Radmerbach und Salza) mit Pegelschreibern ausgerüstet. Diese Messungen wurden ebenfalls bei der Modellerstellung berücksichtigt.

An den in Abb. 1 dargestellten Messstellen (sowohl jenen der Dauerbeobachtung als auch jenen der Niedrigwasserabflussmessungen) wurden 1992 bis 1994 Niedrigwasserabflussmessungen durchgeführt.



Abb. 1: Arbeitsgebiet Zeller Staritzen, Erweiterungen zur Erstellung des Abflussspenden-Höhenmodells.

NQ-Abflußmeßstelle: Abflussmessstelle zur Niedrigwasserabflussmessung;

DB-Meßstelle: Messstelle im Dauerbeobachtungsprogramm;

orogr. EZG: Grenzen der orographischen Einzugsgebiete.

### Modellaufbau

Wie bereits weiter oben erwähnt, konnte das Modell nicht innerhalb des Arbeitsgebiets entwickelt werden. Grund dafür sind im Wesentlichen die starke Verkarstung des Gebiets, die tektonische Zerlegung und der Plateaucharakter der Zeller Staritzen, die eine genügend genaue Ausarbeitung der Abflussspenden-Höhenbeziehung nicht erlaubten.

Nach der ersten Abflussmesstour im Oktober 1993 wurden aufgrund dieser Niedrigwasserwerte die „Kalibrationsgebiete“ ausgewählt (siehe Tab. 1). Eine Verifizierung, ob hier wirklich Einzugsgebiete vorlagen, bei denen das orographische mit dem tatsächlichen Einzugsgebiet übereinstimmt, wurde aufgrund der geologischen Gegebenheiten und mittels Geländebegehung durchgeführt.

Nummer	Hierarchie	Name	Sh mitt	q mitt
34	S.3.1.1.6.1	Halsgraben	890	7.35
32	S.3.1.1.6.3	Oischinggraben	1139	13.65
33	S.3.1.1.6.2	Moosbach	1153	12.73
27	S.4.1.3	Falbersbach	1196	9.55
35	S.3.1.1.5	Gschödringgraben	1356	10.51
37	S.3.1.1.3	Lärchkogelgraben	907	3.27
25	S.4.1.5	Gerstbrenngraben	989	3.98

Tab. 1: Bezugsgebiete des Abflussspenden-Höhenmodells.

*Niederschlagsverhältnisse, Stationen*

Die Einbeziehung von Niederschlagsdaten zur Interpretation des Abflussgeschehens im Arbeitsgebiet musste vor allem die Abhängigkeit der Niederschlagsverteilung von der Seehöhe und die Abhängigkeit von der Exposition erfassen.

Für das Arbeitsgebiet relevante Stationen sind Wildalpen (610 m), Weichselboden (680 m), Brunngraben (710 m), Mariazell (875 m) und Gollrad (920 m). Es handelt sich dabei ausschließlich um Talstationen.

Es wurde daher versucht, durch Einbeziehen der Station „Schiestlhaus (2153 m)“ die Höhenabhängigkeit der Niederschlagsverteilung erfassen zu können. Die Station „Edelboden“ konnte zum damaligen Zeitpunkt noch nicht einbezogen werden, da keine längeren Datenreihen (wenigstens über den Beobachtungszeitraum) vorliegen.

Für die Station „Schiestlhaus“ konnten jedoch weder durch Korrelation der Tagesniederschläge über das gesamte Jahr noch durch die Korrelation einzelner Jahreszeiten reproduzierbare Beziehungen zu den Talstationen hergestellt werden. Insgesamt war auch die Jahresniederschlagssumme deutlich zu niedrig. Datengrundlage bildeten demnach die Talstationen Wildalpen, Weichselboden und Brunngraben, die von den Wiener Wasserwerken betreut werden und die Stationen Gollrad und Mariazell, deren Bewertung hier diskutiert wird.

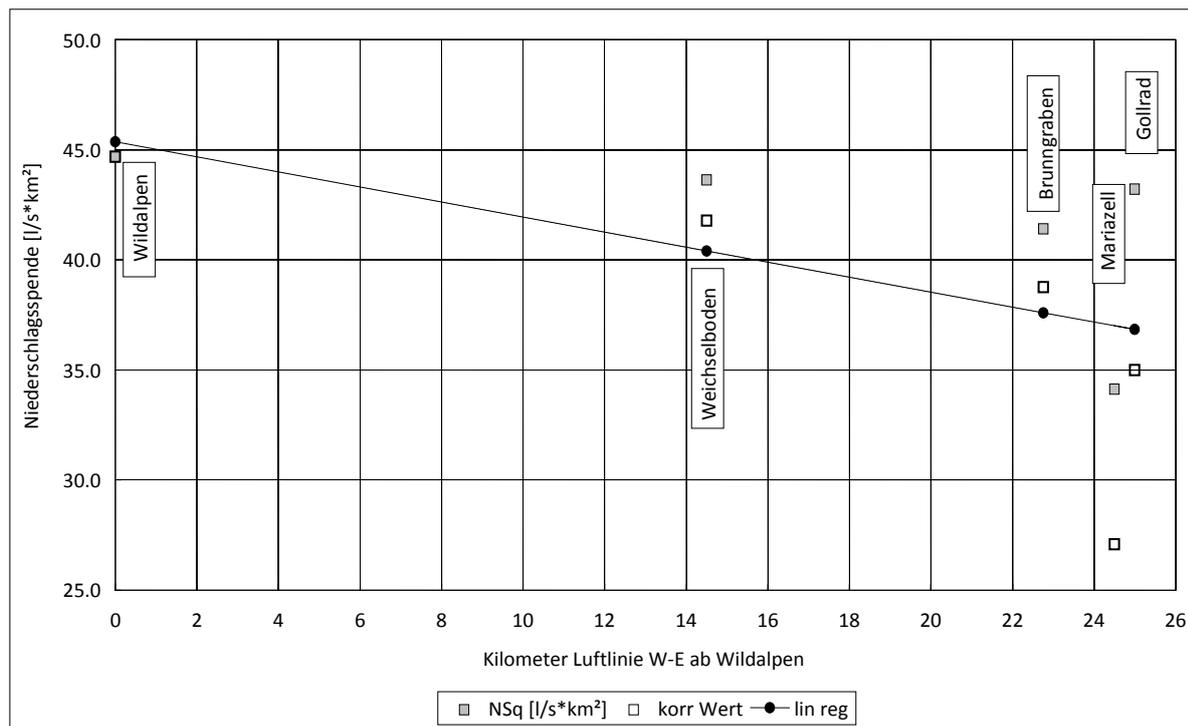


Abb. 2: Niederschlagsspenden in Abhängigkeit der W–E-Entfernung (Luftlinie) ab Wildalpen und korrigierte Werte.

Im Abb. 2 sind nun die Niederschlagssummenspenden der erwähnten Stationen entlang eines W–E-Profiles aufgetragen.

Es lässt sich klar erkennen, dass die Beziehung zwischen den Stationen sehr stark von der Nordstau-lage geprägt ist und somit die Niederschlagsspendensummen nach Osten abnehmen, obwohl der Höhenunterschied zwischen Wildalpen und Gollrad mehr als 300 m beträgt.

Um dies auch in das Abflussspenden-Höhenmodell einfließen lassen zu können, wurden die Werte in einem iterativen Verfahren um die aus dem Modell errechnete Höhenabhängigkeit korrigiert und daraus eine W–E-Abnahme der Niederschlagsspenden errechnet. Die dadurch erhaltenen Werte sind inklusive der Regressionsgeraden ebenfalls in Abb. 2 dargestellt. Diese Korrektur schaltet die Höhenbeziehung der Niederschlagsstationen nicht gänzlich aus, sondern reduziert sie nur sehr deutlich, da in der berechneten Höhenbeziehung zwischen Abflussspende und mittlerer Seehöhe auch andere Faktoren enthalten sind.

Durch diese Korrektur wird das W–E-Gefälle der Niederschlagssummen noch deutlicher dargestellt. Für die Station Gollrad zeigt sich, dass sie demselben Niederschlagsregime wie die Stationen Wildalpen, Weichselboden und Brunngraben angehört, nämlich dem Regime, das deutlich von dem nach Osten hin abnehmenden Nordstau geprägt ist. Die Station Mariazell gehört einem anderen Niederschlagsregime an. Dieses ist deutlich geringer durch Nordstauniederschläge geprägt als die Stationen im Salztal.

Im Bereich der im Nordstau liegenden Stationen ergibt sich zwischen Wildalpen und Gollrad folgende lineare Beziehung:

$$y = -0.34091 * x + 45.35655 \quad \text{mit } r^2 = 0.86342$$

y ... korrigierte Niederschlagsspende

x ... W–E-Entfernung ab Wildalpen in km.

Die Abnahme der Niederschlagsspende von Westen (Wildalpen) nach Osten (bis Gollrad) beträgt demnach 0.34091 l/s\*km<sup>2</sup> pro Kilometer (Luftlinie).

Ein wesentlicher Schritt der Modellanpassung war die Bewertung der Niedrigwasserabflussmessungen hinsichtlich ihrer Stellung bezüglich wichtiger gewässerkundlicher Hauptzahlen, die an unterschiedlichen Messstellen durch kontinuierliche Messwertaufzeichnungen ermittelt wurden. Der Einsatz von Datensammlern konnte in diesem Projekt erstmals in größerem Umfang erfolgen. Damit war es möglich, sehr genaue Werte zu ermitteln. Bezogen wurde das gesamte Modell auf jenen Wert, der laut WUNDT (1953) der mittleren Grundwasserneubildungsrate bzw. dem mittleren grundwasserbürtigen Abflussanteil entspricht (MoMNQT) und somit ein gutes Maß für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Einzugsgebiete darstellt, wenn dieser Wert auf Abflussspenden bezogen wird.

Nach Durchführung aller Modellanpassungsschritte ergab sich in den ausgewählten Bezugsgebieten folgende Beziehung von mittlerer Abflussspende (Mq) zur mittleren Seehöhe des Einzugsgebietes:

$$y = 0.02545898 * x - 7.06762496 \quad \text{mit } r^2 = 0.9296$$

y ... mittlere Abflussspende (Mq) in [l/s\*km<sup>2</sup>]

x ... mittl. Seehöhe des tatsächlichen Einzugsgebietes in m ü.A.

Die sich daraus ergebende Zunahme der mittleren Abflussspende von etwa 2,5 l/s\*km<sup>2</sup> pro 100 Höhenmeter ist ein für diese Gebiete realistischer Wert.

#### *Diskussion der Abflussspendendifferenzen*

Vergleicht man nun die Ergebnisse der Modellberechnungen mit den homogenisierten NQ-Messungen, erhält man ein Bild über die Verteilung der Gebiete mit überwiegender Grundwasserneubildung und von Gebieten mit Abflussüberschüssen. Bezogen auf Abflussspenden ist dies in Abb. 3 dargestellt.

Die breite Streuung zwischen Gebieten mit Abflussspendenüberschuss und -defizit ist als eindeutiges Indiz für die weitreichende Verkarstung anzusehen. Ergebnisse, wie das hier dargestellte Defizit im Einzugsgebiet des Radmerbachs (Rotmoosbach), erklären auch Ergebnisse aus anderen Projekten, hier betreffen sie das Einzugsgebiet der Kräuterbrunnquellen, die nördlich der Salza liegen. Defizite der nördlichen Teileinzugsgebiete des Gollradbachs weisen auf das Einzugsgebiet der Höllbachquellen hin. Dieses Ergebnis zeigt Abb. 4 als kartenmäßige Darstellung.

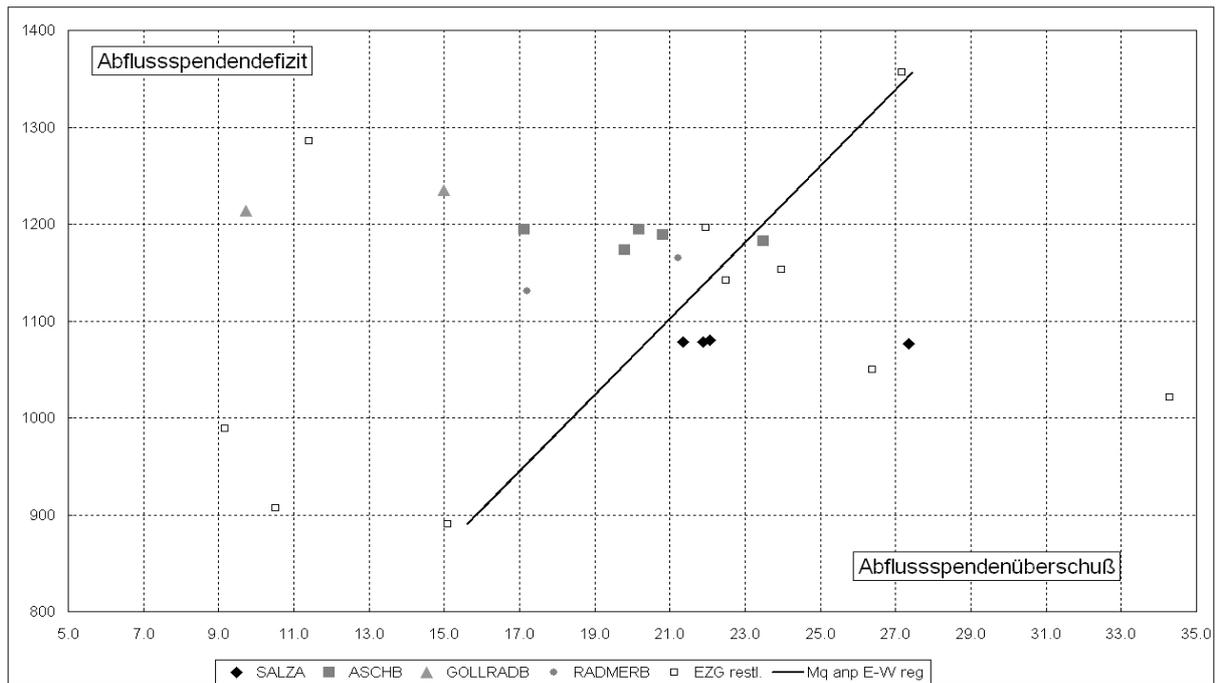


Abb. 3: Abflussspenden-Höhenmodell; Darstellung der Abflussspendensituation.

Mit Hilfe eines Abflussspenden-Höhenmodells ist es also möglich, Auswirkungen der Verkarstung auf Basis orographischer Einzugsgebiete darzustellen und damit wichtige Hinweise auf die Einzugsgebiete einzelner Quellen in verkarsteten Gebieten zu erhalten.

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass diese Untersuchungen vor mehr als 15 Jahren beendet wurden und die Darstellung dieser Methoden eine Darstellung des Stands der wissenschaftlichen Untersuchungen dieser Zeit darstellen. Als besonders interessant wäre ein Ergebnisvergleich zwischen diesem „Klassiker“ der hydrogeologischen Methoden und neueren Modellberechnungen besonders dann, wenn die Ergebnisse auch evaluiert werden könnten. Im gegenständlichen Fall wäre dies durchaus möglich, da wichtige Teile des dargestellten Messnetzes von der Stadt Wien im Rahmen ihrer Arbeiten in den Quellgebieten und den verstärkten Bemühungen zur Qualitätssicherung weiter betrieben werden.

### **Isotopenhydrologische Untersuchungen**

#### **Berechnungen zur mittleren Seehöhe von Quelleinzugsgebieten**

Die intensiven Untersuchungen zur Berechnung von mittleren Einzugsgebietsseehöhen von Quellen brachten besondere Ergebnisse für jene Quellen, die einen deutlichen Anteil der Hochflächen entwässern. Dies trifft sowohl auf die Zeller Staritzen als auch auf die Aflenzer Staritzen und die zentrale Hochfläche zu.

Es zeigte sich, dass auf der Hochfläche spezielle Anreicherungsmechanismen auftreten, die den Isotopengehalt dieser Quellen so deutlich beeinflussen, dass dies auch in den Mittelwerten des Beobachtungszeitraums deutlich sichtbar ist.

Diese Ergebnisse decken sich mit den von COOPER (1998) durchgeführten Labormessungen zur Isotopenfraktionierung im Schneedeckenaufbau und den Messungen von TAYLOR et al. (2002) während unterschiedlicher Schneeschmelzvorgänge. Problematisch war nur die Quantifizierung dieser Ergebnisse.

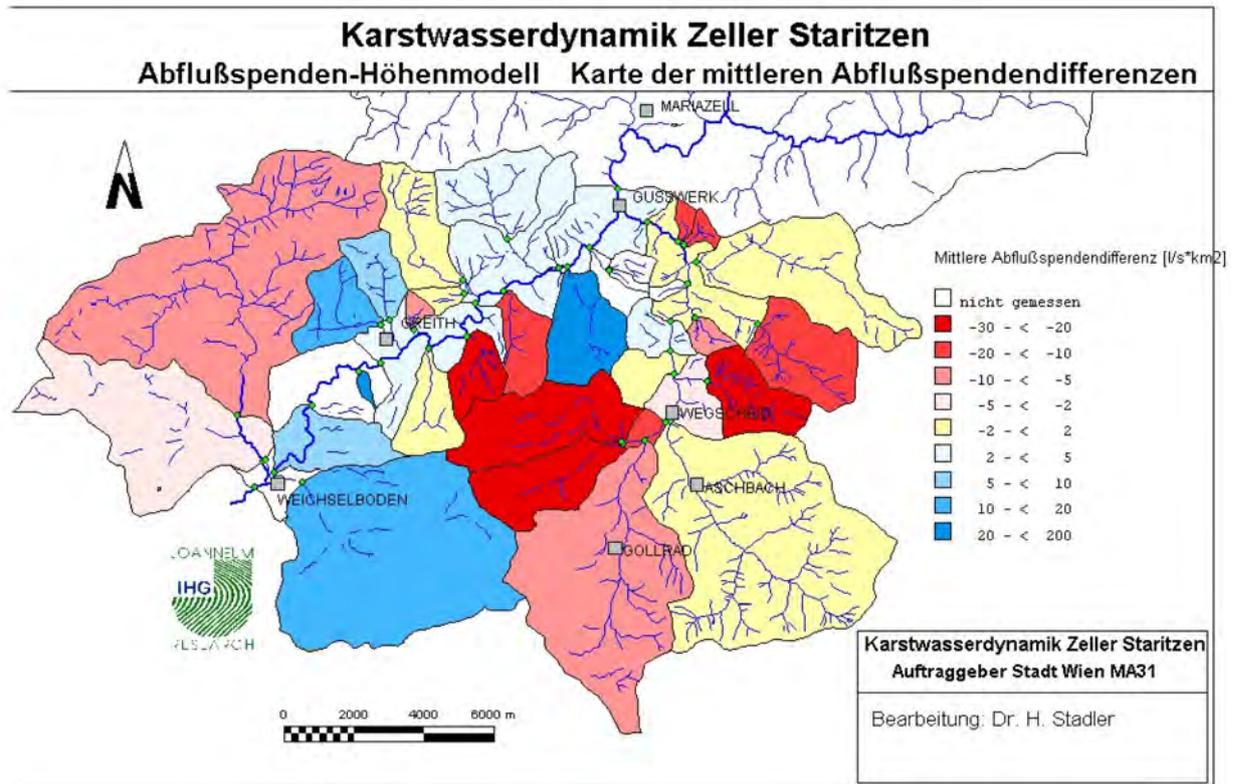


Abb. 4: Abflusspenden-Höhenmodell. Karte der mittleren Differenzen der Abflusspenden.

Im Bereich des Untersuchungsgebietes Zeller Staritzen und Hochschwab ergaben sich jedoch Möglichkeiten dazu, da einige Quellen respektive deren Einzugsgebiete als Referenzgebiete herangezogen werden konnten (STADLER & STROBL, 1997). Es handelt sich dabei um Einzugsgebiete, deren hydrographisches und orographisches Einzugsgebiet auf Grund der besonderen Gegebenheiten und auf Basis der vorhandenen geologischen Untersuchungen als ident eingestuft werden konnte.

Als Bezugsgebiet wurde das Gerinne am Wasserboden gewählt. Um die morphometrisch ermittelte Höhe des orographischen Einzugsgebiets zu erreichen, musste ein Anreicherungseffekt von  $-1,1 \text{ ‰}$   $\delta^{18}\text{O}$  aufgetreten sein. Dies deckt sich mit den oben erwähnten Literaturangaben. Auf Basis dieses Anreicherungsbetrags wurden nun weitere Seehöhen ermittelt und soweit möglich mit Ergebnissen der DTM-Daten verglichen. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 enthalten und zeigen eine gute Übereinstimmung.

	MITTLERE SEEHÖHEN		Höhendifferenz
	morphometrisch	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	
HSS Wasserboden	1 631	1 631	0
HSS Fobisalm		1 662	
HSN Teufelssee	1 380	1 423	-43
ZS 10 Zeller Staritzen	1 550	1 531	19
Kläfferquellen	1 697	1 718	-21

Tab. 2: Vergleich mittlerer Einzugsgebietshöhen.

Der größte Unterschied tritt mit 43 m beim Teufelssee auf. Hier ist die Annahme der Einzugsgebietsfläche auch mit den größten Unsicherheiten behaftet, da keine Informationen über Zu- und Abfluss vorliegen.

Für die Quellen der Fobisalm konnte kein morphometrisches Einzugsgebiet errechnet werden. Die mit der verbesserten Höhenbeziehung ermittelten Ergebnisse stimmen jedoch mit den natürlichen Gegebenheiten augenscheinlich überein.

An den Kläfferquellen wird die „Isotopenhöhe“ mit der Seehöhe des „geologisch möglichen Einzugsgebiets“ verglichen (STADLER et al., 2001). Auch hier sind die Ergebnisse zufriedenstellend. In Abb. sind die so errechneten mittleren Einzugsgebietsseehöhen dargestellt.

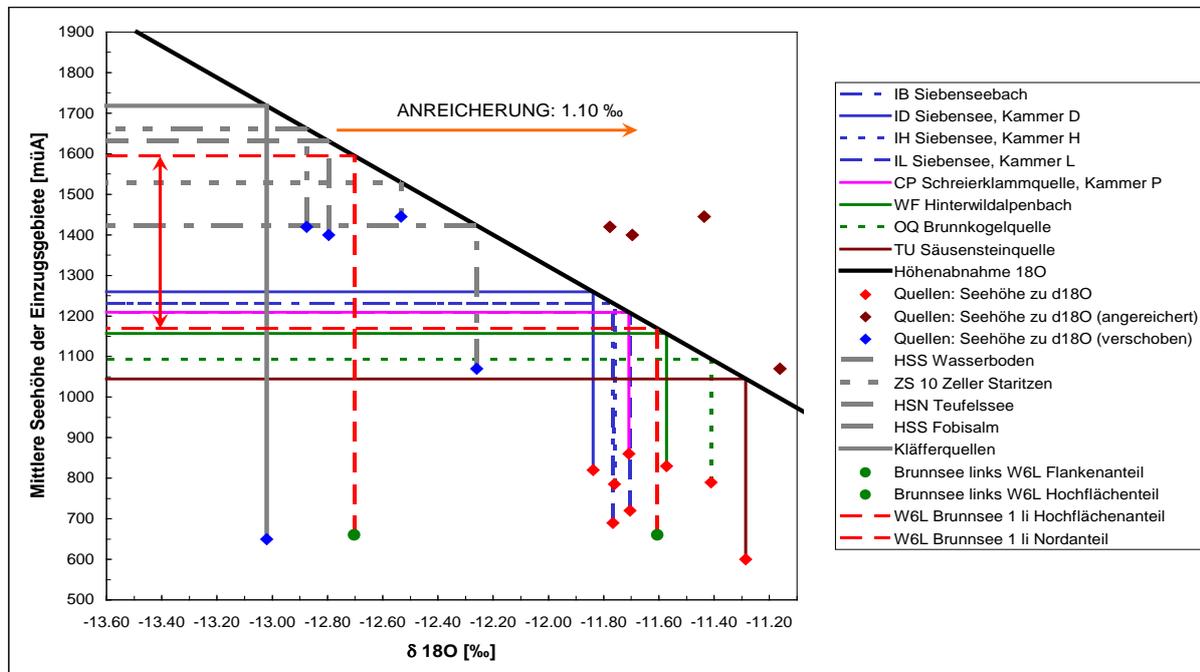


Abb. 5: Höhenberechnungen mittels  $^{18}\text{O}$ .

Zur Verdeutlichung der Unterschiede der Berechnungsergebnisse zwischen der Hochflächenentwässerung und der Höhenabnahme des Umweltisotops  $^{18}\text{O}$  im Bereich Hochschwab-Nord wurde die linke Brunnsseequelle gewählt. Diese Quelle (wie auch die Brunnsseequelle 2 rechts, W6R) besitzen Anteile an beiden Arten von Einzugsgebieten: der Hochfläche und dem Nordabfall inklusive der zugehörigen Talungen (STADLER & STROBL, 2006). Deutlich ist der große Unterschied sichtbar. Auch COOPER (1998) hat ähnliche Ergebnisse aufgrund der Isotopenfraktionierungen nachgewiesen. Es ergeben sich Höhenunterschiede zwischen diesen beiden Berechnungsmethoden von mehr als 400 Höhenmeter. Dies unterstreicht den großen Einfluss dieser Effekte.

Eine Quantifizierung der einzelnen Abflussanteile konnte nicht durchgeführt werden, da durch die unterschiedliche Dynamik die Abflussanteile an den betroffenen Quellen stark schwanken. Erst eine genauere Kenntnis dieser Vorgänge, der räumlich-zeitliche Verlauf an den Bergflanken, der zeitliche Verlauf während der Schneedeckenbildung und der für weite Teile der zentralen Hochschwab-Hochfläche besonders wichtigen Eisbildung sowie der Vorgänge beim Abschmelzen können hier detailliertere Ergebnisse erwarten lassen. Besonders im Zusammenhang mit den für die Stadt Wien durchgeführten Berechnungen von Schneeschmelzmodellen ergäben sich hier interessante Anknüpfungspunkte bezüglich der Grundwasserneubildung während der Abschmelzvorgänge und somit der aus diesen Vorgängen tatsächlich dem Quellabfluss zur Verfügung stehenden Grundwassermenge in ihrem zeitlichen Verlauf.

Abgesichert werden diese Ergebnisse durch Vergleiche der Input-Daten, der Niederschlagsdaten von Wildalpen und Trawies, die in Abb. dargestellt sind (STADLER, 1998). Wichtig im Zusammenhang mit den Seehöhenberechnungen und den erläuterten Effekten ist, dass offensichtlich zwischen den Nie-

derschlägen an der Südseite (Station Trawies) und an der Nordseite (Station Wildalpen) des Hochschwab keine nennenswerten isotopischen Unterschiede existieren. Dies ist deutlich erkennbar, obwohl die Datenreihe der Station Trawies auf Grund der schlechten Erreichbarkeit im Winter Lücken aufweist. Wichtiges zweites Faktum dieser Darstellung ist, dass keinerlei nennenswerte Trends oder andere außergewöhnliche Inputsignale im Zeitraum 1986 bis 1999 sichtbar sind.

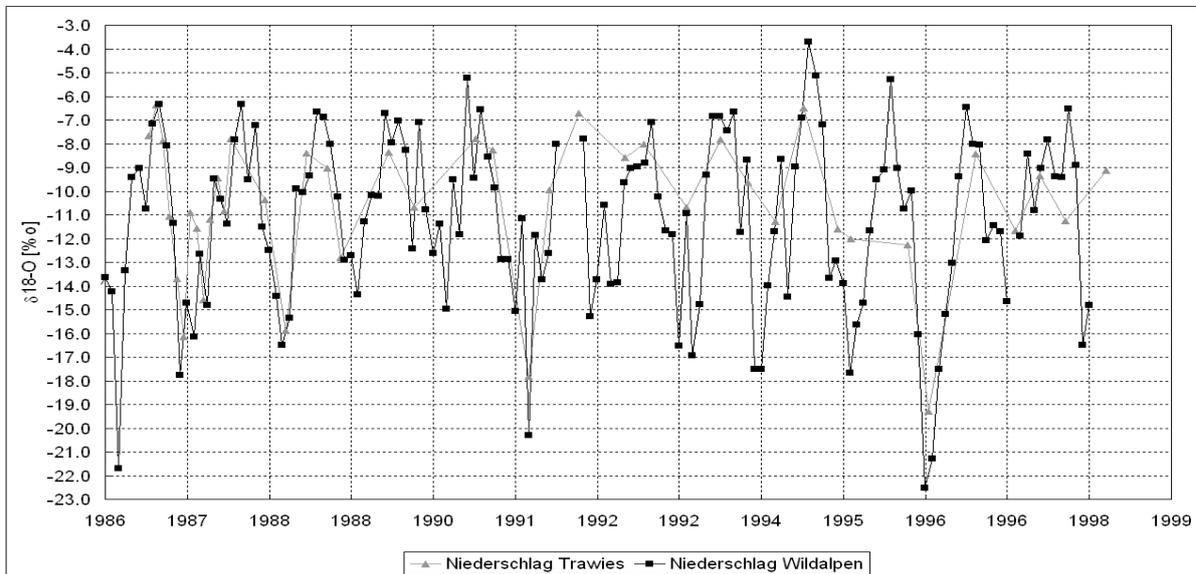


Abb. 6: Sauerstoff-18 im Niederschlag der Stationen Trawies (970 m ü.A.) und Wildalpen (610 m ü.A.)

### ***Isotopische Signaturen in einem glazial übertieften Tal (Trawies/Buchberg)***

Mittels der in Abb. dargestellten Isotopensignaturen der Niederschläge im Hochschwabgebiet lässt sich die in Abb. dargestellte Situation nicht erklären.

Es handelt sich um Daten aus dem Gebiet Buchberg/Moarhof, aus dem etwa 30 % des Grazer Trinkwassers stammen, die alternierend aus zwei Vertikalfilterbrunnen gepumpt werden.

Der Trawiesbach ist ein bedeutender Inputfaktor für den Aquifer dieses glazial übertieften Tales. Sein isotopisches Verhalten kann als Markierung für das gesamte Grundwasser dieses Gebietes angesehen werden, zumal der Trawiesbach nicht das einzige versickernde Oberflächengerinne darstellt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gerinnen bestehen jedoch hauptsächlich in der unterschiedlichen Verweildauer im Porenquifer (unterschiedliche Wegstrecken). Diese Markierung ist in stark gedämpfter Form und zeitlich verschoben sowohl am Brunnen I als auch an den beiden Quellen bemerkbar. Betrachtet man nun das Minimum im Jänner 1998 am Trawiesbach, so erscheint dieses am Vertikalbrunnen I mit fast einem Jahr Verzögerung.

Etwas anders erscheint die Situation an den beiden Quellen. Dort tritt bereits zeitgleich mit dem Trawiesbach ein erstes Minimum auf. Das zweite Minimum erscheint wie beim Brunnen Ende 1988. Das erste Minimum kann natürlich nicht dem Trawiesbach zugeordnet werden, sondern stammt von lokalen Einflüssen an den Quellen, die beim Brunnen naturgemäß nicht auftreten können, da hier eine mächtige ungesättigte Zone existiert. Das zweite Minimum Ende 1988 ist der Versickerung ähnlicher Wässer wie aus dem Trawiesbach zuzuordnen. Der weitere Verlauf der Ganglinien ergibt ein ähnliches Bild, wie es hier nun dargestellt wurde. Beim Maximum am Trawiesbach Ende 1990 ist die zeitliche Verschiebung zum Brunnen und den Quellen sogar größer als ein Jahr. Diese „Phasenverschiebung“ von mindestens einem Jahr ist nicht mit dem mittleren Wasseralter, das aus den Isotopenmodellberechnungen ermittelt wurde, vergleichbar. Hier handelt es sich um eine tatsächliche Verweilzeit im Untergrund.

Aufgrund der nun dargestellten Situation ist bereits klargelegt, dass diese Dynamik im Aquifer des glazial übertieften Tales von Buchberg nicht durch die Entnahme aus den Brunnen gesteuert wird, sondern von der generellen Inputsituation. Diese wird wesentlich durch die versickernden Karstwässer wie aus dem Trawiesbach und ähnlichen Gerinnen geprägt. Der Anteil der autochthonen Grundwasserneubildung am Talboden ist jedoch derzeit nicht abschätzbar.

Es ist nun abzuklären, wie dieses prägnante Inputsignal am Trawiesbach entstehen kann. Die Verläufe der Ganglinien des Sauerstoff-18-Isotops, wie sie hier dargestellt sind, könnten auch auf Veränderungen von Einzugsgebietsanteilen hinweisen, die, ausgelöst durch die Entnahme, auf verstärkte Karstwasserzutritte in den Porenquifer hinweisen. Signifikante Änderungen der Wasserentnahme oder ihrer zeitlichen Verteilung sind jedoch nicht dokumentiert.

Wie bereits erwähnt, ist an den beiden Niederschlagsstationen keinerlei Hinweis auf derartige natürliche Schwankungen des Inputs (Niederschlag) zu erkennen. Am Trawiesbach, der von der Entnahme aus den Brunnen sicherlich unbeeinflusst ist, zeigt sich diese Inputmarkierung, die über ein Jahr dauert, deutlich. Wodurch kann diese deutliche Markierung ausgelöst werden?

Die Veränderungen der Isotopenanteile im Wasser können nur durch Veränderungen der Temperatur oder Phasenzustandsänderungen des Wassers und damit verbundenen Fraktionierungserscheinungen ausgelöst werden.

Temperaturveränderungen über mehrere Jahre hinweg müssten sich auch auf die Isotopenzusammensetzung des Niederschlags auswirken. Dies ist jedoch nicht der Fall (Abb. ).

In Abb. sind die Winterniederschläge (Dezember, Jänner, Februar, März) und Sommerniederschläge (Mai bis November) unterschiedlich dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Verhältnis der Niederschlagsanteile stark variiert. Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes (die ersten drei Winter) sind die Winterniederschläge wesentlich höher als in den darauffolgenden Jahren. Die Verhältniszahl von Sommerniederschlag zu Winterniederschlag ist in Abb. dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass massive Winterniederschläge (Verhältniszahl niedrig) als deutliche Markierung im Aquifer erkennbar sind. Daraus ist ebenfalls erkennbar, welche wichtige Rolle die Schneeschmelze für die Grundwasserneubildung darstellt.

Wie die Vorgänge, die zu einer derartigen Verschiebung des Isotopengehaltes gegenüber dem Niederschlag führen, während der Schneeschmelze und der Versickerung ablaufen, kann nur durch detaillierte Untersuchungen der Schneedecke, einzelner Anteile von Schmelzwässern und der Schneeschmelze an Quellen und in den Förderbrunnen festgestellt werden. Weitere Informationen könnten durch gezielte Untersuchungen des Deuteriumexzesses in den lokalen Niederschlägen erhalten werden.

Abschließend kann hier gesagt werden, dass der Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet sehr deutlich von Wässern geprägt wird, die eine ähnliche Herkunft wie die Wässer des Trawiesbachs besitzen. Veränderungen der Speicherdynamik innerhalb des Aquifers durch die Entnahme an den Brunnen Moarhof können mit isotopenhydrologischen Methoden nicht nachgewiesen werden.

## **Zusammenfassung**

Beide Fallbeispiele befassten sich mit demselben Effekt: der isotopischen Anreicherung von Abflussanteilen, die wesentlich durch Winterniederschläge geprägt sind. Die Effekte sind hinlänglich in der Literatur beschrieben. Die Anreicherung tritt verstärkt in jenen Schneeanteilen auf, die auf den Hochflächen im Hochschwabgebiet abgelagert werden. Hier treten diese Effekte durch verstärkte Verdunstung aus der Schneedecke und weiteren Anreicherungen in unterschiedlichen Abflussanteilen, wahrscheinlich gekoppelt mit den Umlagerungsvorgängen und den teilweise starken Eisbildungen auf der Hochfläche, auf.

Der Effekt konnte zum einen die Hochflächenanteile einzelner Quellen ersichtlich machen und diente damit der Seehöhenberechnung von Quelleinzugsgebieten, zum anderen wirkt die Veränderung des Winterniederschlagsanteils als deutliche Signatur in einem von Karstwässern beeinflussten Poren-aquifer und lieferte damit wertvolle Hinweise zur Abfluss- und Speicherdynamik in diesem Gebiet.

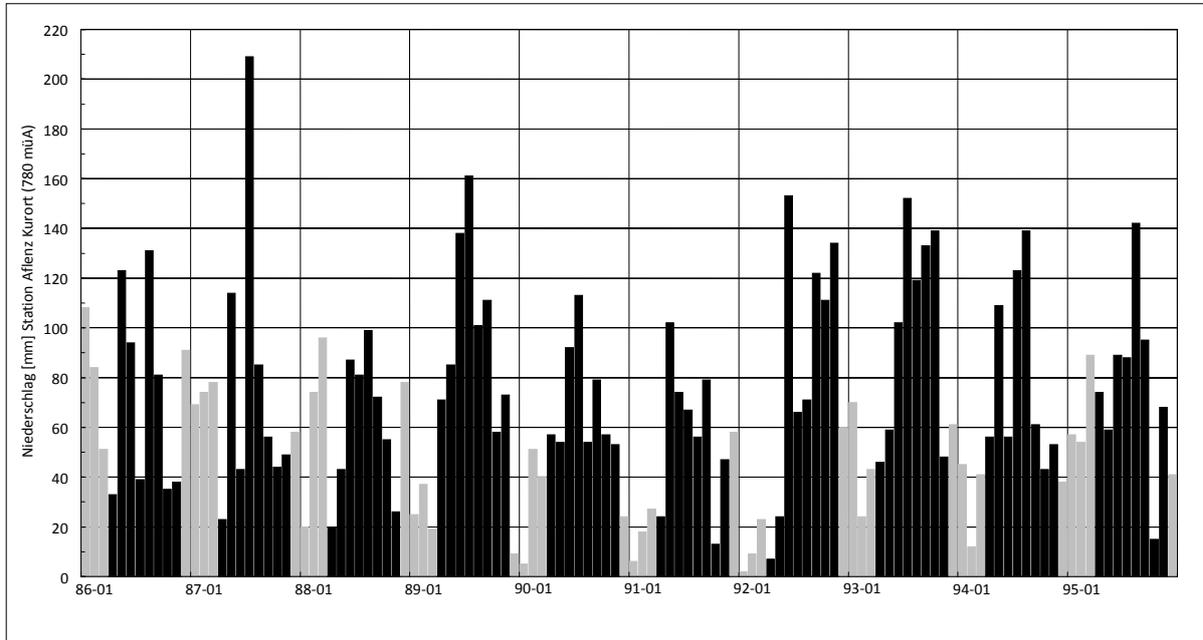


Abb. 7: Niederschlag der Station Aflenz Kurort 1986 bis 1995.

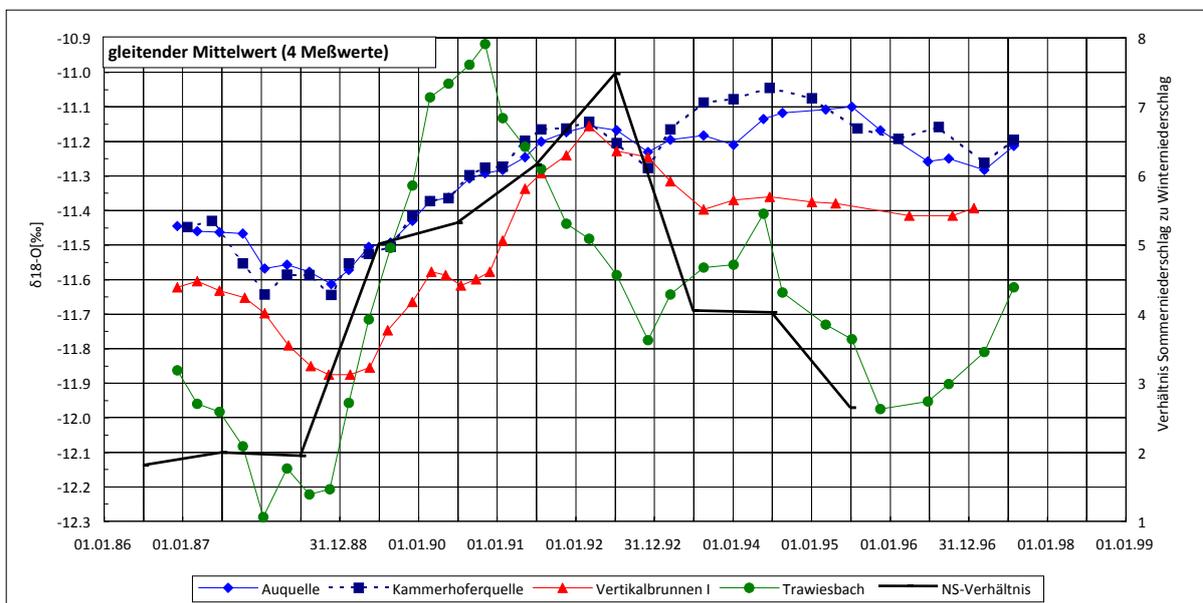


Abb. 8: Gleitende Mittelwerte der Sauerstoff-18-Ganglinien und das Niederschlagsverhältnis an der Station Aflenz/Kurort.

## Literatur und Unterlagen

- BAUER, F. (1971 a): Organisationsplan Markierungsversuch Hochschwab. – Unpubl. Ber., Zl. 242-71/55, 6 S., 7 Taf., Wien.
- BAUER, F. (1971 b): Markierungsversuch Hochschwab. Zwischenbericht (Stand 17.12.1971). – Unpubl. Ber., Zl. 361-71/55, 1 S., Wien (18.12.1971).
- BAUER, F. (1972): Bericht über den im Auftrage des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft durchgeführten Markierungsversuch Hochschwab 1971. – Unpubl. Ber., Zl. 216-72/55, 21 S., 7 Taf., Wien (August 1972).
- BAUER, F. (1974): Messergebnisse vom Projekt Hochschwab 1971/72. – Unpubl. Ber. Spel. Inst., Wien.
- BERGER, F. (1901): Ueber die Studien zum Baue der zweiten Kaiser-Franz-Josefs-Hochquellenleitung. – Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-ver., 53 (3), 33-37, Wien.
- BERNHART, L. (1980): Konzept der Zentralwasserversorgung Hochschwab Süd. – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 50, 72 S., Graz.
- COOPER, L.W. (1998): Isotopic Fractionation in Snow Cover. – In: KENDALL, C. & J.J. McDONNELL (Ed.): Isotope Tracers in Catchment Hydrology, Amsterdam (Elsevier).
- DECKER, K. & REITER, F. (2001): Strukturgeologische Methoden zur Charakterisierung von Karstgrundwasserwegen im Hochschwab. – Tagungsband Arbeitstagung der Geol. B.-A., Neuberg, 206-212, Wien.
- ENNS-STUDIENKOMMISSION (1953): 4. Teilbericht zur Enns-Geschiebeuntersuchung betreffend die im Jahre 1953 von Dr. Willi Scharf durchgeführte Geschiebeherdkartierung in den Seitentälern der mittleren Enns. – S. 66, Graz.  
Anm.: Schwarze Lacke auf S. 66 als Neustückquelle.
- FABIANI, E., WEISSENSTEINER, V. & WAKONIGG, H. (1980): Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet. Teil I: Naturräumliche Grundlagen, Geologie – Morphologie – Klimatologie. – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 44, 146 S., Graz.
- FABIANI, E. (1980 a): Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet. Teil II: Die Untersuchungen, Geschichte – Durchführung – Methodik. – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 45, 60 S., Graz.
- FABIANI, E. (1980 b): Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet. Teil IV: Die Untersuchungen im Tragößtal. – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 47, 157 S., Graz.
- FABIANI, E. (1980 c): Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet. Teil V: Untersuchungen in den südlichen Hochschwabtälern (Ilgenertal – Seegraben). – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 48, 242 S., Graz.
- FINK, M.H., PAVUZA, R. & STUMMER, G. (2005): Daten zur Karstverbreitung und Karstgefährdung in den östlichen Kalkhochalpen. – SPELDOK-16, 62 S., Beil., Wien (Verband österr. Höhlenforscher).
- GATTINGER, T.E. (1970): Hydrogeologische Abgrenzung des Schutzgebietes der II. Wiener Hochquellen. – Unpubl. Gutachten, Geol. B.-A., 15 S., Wien.
- HARUM, T. (1990): Ergebnisse des Markierungsversuches Brunnen Moarhof. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 15 S., Graz.
- HOFFER, M. (1906): Unterirdisch entwässerte Gebiete in den Nördlichen Kalkalpen. I. Teil. – Mitt. Geogr. Ges. Wien, 49, 465-492, Wien.
- KITTL, E. (1902): Gutachten über die Geologischen Verhältnisse längs der projektierten 2. Kaiser-Franz-Josef-Hochquellenleitung der Kommune Wien über Aufforderung des Magistrates der Stadt Wien auf Grundlage von im Sommer und Herbste 1902 ausgeführten Begehungen erstattet. – Unpubl. Gutachten, Wien.
- KITTL, E. (1904): Die „Sieben Brunnen“ und die Sieben Seen“, die Hauptquellen der zweiten Kaiser Franz Josef-Hochquellenleitung der Kommune Wien. – Mitt. Sekt. Naturkunde d. Österr. Touristenklub, 16, 1-7, Wien.
- MACHER, M. (1860): Medizinisch-statistische Topographie des Herzogthumes Steiermark. – 616 S., Graz.

- MANDL, G.W., MOSER, M. & PAVLIK, W. (1994): Erstellung moderner geologischer Karten als Grundlage für karsthydrologische Spezialuntersuchungen im Einzugsgebiet der Wiener Hochquellenleitungen zwischen Hochschwab und Schneeberg; Startprojekte: Karstgebiet südlich der Kräuterbrunnen (Säusenstein, Brunntal, Riegerin, Türnach) und zentrale Schneeberggruppe. Forschungsprojekt WA 4a / 1992 der MA 31/Wasserwerke. – Unpubl. Endber. Geologische Bundesanstalt, 129 S., 21 Abb., 20 Beil., Wien.
- MANDL, G.W., MOSER, M. & PAVLIK, W. (1995): Erstellung moderner geologischer Karten als Grundlage für karsthydrologische Spezialuntersuchungen im Einzugsgebiet der Wiener Hochquellenleitungen zwischen Hochschwab und Schneeberg; Folgeprojekt: Hochschwab - Zeller Staritzen. Forschungsprojekt WA 4a / F 1994 der MA 31/Wasserwerke. – Unpubl. Ber. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MEIDL, C., NOVAK, J. & WESSIAK, W. (1980): Untersuchung über die Möglichkeit zur Entnahme im Grundwasser im südlichen Hochschwabgebiet und deren Bewirtschaftung. – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 49, 66 S., Graz.
- M. F. (1959): Höhlenlabyrinth Eisenerz wird erforscht. – Volksstimme, S. 5, 30. 08. 1959.  
Anm.: Zeitungsbericht einliegend im Archiv des LVH-Stmk. Autor des Artikels vermutlich Befahrungsteilnehmer M. Fürst aus Eisenerz.
- N.N. (1910): Die Zweite Kaiser-Franz-Josef-Hochquellenleitung der Stadt Wien. – Eine Gedenkschrift zum 2. Dezember 1910, 257 S., Wien (Komm.-vlg. Gmde. Wien).
- PAVUZA, R. (1995): Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarte Hochschwab. Textteil und Karte. Unpubl. Ber. Fachsektion Karsthydrogeologie, Verband österreichischer Höhlenforscher, Wien.
- PLAN, L. (2002): Speläologisch-tektonische Charakterisierung der Karstwasserdynamik im Einzugsgebiet der bedeutendsten Quelle der Ostalpen (Kläfferquelle, Hochschwab). – SPELDOK-11, 84 S., Wien.
- PLAN, L. & DECKER, K. (2006): Quantitative karst morphology of the Hochschwab plateau, Eastern Alps, Austria. – Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Vol. 147, 29-54, Karten, Berlin – Stuttgart.
- POPELKA, F. (1924): Die Landesaufnahme Innerösterreichs von Johannes Clobucciarich 1601–1605. – 35 S., Graz (Vlg. U. Moser).
- SARTORI, F. (1807): Naturwunder des Oesterreichischen Kaiserthumes. Zweyter Teil. – 254 S., Wien (Anton Doll).
- SARTORI, F. (1811): Neueste Reise durch Oesterreich ob und unter der Ens, Salzburg, Berchtesgaden, Kärnthen und Steyermark, in statistischer, geographischer, naturhistorischer, ökonomischer, geschichtlicher und pittoresker Hinsicht. Erster Band. – 461 S., Wien (Anton Doll).  
Anm.: fast wortgleich wie SARTORI, 1807.
- SCHINZEL, A. (1958): Kalkgebirgsquellenstudien (Limnologie). Die Bedeutung limnologischer Untersuchungen. – Archiv f. Hygiene u. Bakteriologie, 142 (7), 540-558, München – Berlin.
- SCHMID, C., ZOJER, H., KRAINER, H., ERTL, H. & OTT, R. (1980): Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet. Teil III: Geophysik – Isotopenuntersuchungen – Hydrochemie. – Ber. d. wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, 46, 126 S., Graz.
- SCHMID, C. (1995): Geophysikalische Untersuchungen im Bereich der Kräuterbrunnen / Brunntal (Hochschwab Nord). – Unpubl. Bericht, 8 S., Beil., Leoben.
- SEEBACHER, R. (2007): Zwischenbericht über die Forschungen in der Schwarzen Lacke (Wassermannsloch) bei Eisenerz (1714/6), Hochschwab, Steiermark. – Mitt. d. Ver. f. Höhlenkunde i. Obersteier, 25/26, 184-188, Bad Mitterndorf.
- SPENGLER, E. (1926): Geologische Spezialkarte 1:75.000 der Republik Österreich, Blatt Eisenerz, Wildalpe, Aflenz. – Geol. B.-A., Wien.
- STADLER, H. (1998): Isotopenhydrologische Auswertungen im Bereich Hochschwab Süd (Buchberg/ Moarhof). – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 23S., Anh., Graz.
- STADLER, H. & BENISCHKE, R. (2006): Markierungsversuch Moarhof II. Endbericht MV IIb. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 24 S., Graz.
- STADLER, H., NUSSMÜLLER, C. & BENISCHKE, R. (2006): Hydrogeologische Untersuchungen Moarhof – Karlschütt. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 63 S., Graz.
- STADLER, H. & STROBL, E. (1997): Karstwasserdynamik Zeller Staritzen, Endbericht. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 171 S., Graz.

- STADLER, H. & STROBL, E. (2006): Hydrogeologie Hochschwab. Zusammenfassung. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 76S., Anh., Beil., Graz.
- STADLER, H., STROBL, E. & BENISCHKE, R. (2001): Karstwasserdynamik und Karstwasserschutz Hochschwab (STA 28K/00 und WA 04b/00). Arbeitsbericht 4. Projektjahr. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 52 S., Graz.
- STINY, J. (1925): Geologie und Mineralogie. – Heimatkunde der Steiermark, 6, 86 S., Wien – Leipzig – Prag.  
Anm.: Schwarze Lacke auf S. 25 als Neustücklquelle.
- STINY, J. (1933): Die Quellen. – 255 S., Wien (Springer).  
Anm.: Schwarze Lacke auf S. 8 als Neustücklquelle.
- STROBL, E. (1992): Hydrogeologie des westlichen Hochschwab, nördlich von Eisenerz (Steiermark). – Unpubl. Diss., Karl-Franzens-Universität Graz, 71 S., Graz.
- STROBL, E. & ZOJER, H. (1992): Hydrogeologie des Raumes Eisenerz – Seeau. 1. Arbeitsjahr. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 43 S., Anh., Karten, Graz.
- STROBL, E. & ZOJER, H. (1993): Hydrogeologie des Raumes Eisenerz – Seeau. 2. Arbeitsjahr. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 30 S., Anh., Graz.
- STROBL, E. & ZOJER, H. (1995): Hydrogeologie des Raumes Eisenerz – Seeau. 3. Arbeitsjahr. – Unpubl. Ber. Joanneum Research, 44 S., Anh., Graz.
- TAYLOR, S., FENG, X., WILLIAMS, M. & MCNAMARA, J. (2002): How isotopic fractionation of snowmelt affects hydrograph separation. – Hydrol. Process., 16, 3683-3690, New York.
- TRAUTH, F. (1948): Geologie des Kalkalpenbereichs der Zweiten Wiener Hochquellenleitung (Quellengebiete an und nächst der steirischen Salza und Leitungsstrecke bis Scheibbs). – Abh. Geol. B.-A., 26 (1), 99 S., 12 Taf., Wien.
- TURNER, A. (1967): Wasserhoffungsgebiete am Südabfall des Hochschwabs. – Unpubl. Gutachten, 5 S., 1 Beil., Graz (03. 01. 1967).
- TURNER, A. (1971 a): Hydrogeologisches Gutachten zum Sesselliftprojekt von Seewiesen auf den Ostgipfel der Aflenzer Staritzen und der Schilifte auf die Graualpe. – Unpubl. Gutachten, 13 S., Graz (07. 08. 1971).
- TURNER, A. (1971 b): Nachtrag zum hydrogeologischen Gutachten über die Errichtung des Sesselliftes auf den Ostgipfel der Aflenzer Staritzen und der Schilifte auf die Graualpe. – Unpubl. Gutachten, 2 S., Graz (14. 08. 1971).  
Anm.: betr. Markierungsversuch durch Thurner im August 1971
- WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde. – 320 S. Berlin-Göttingen-Heidelberg (Springer Verlag).
- ZÖTL, J. (1961 a): Bericht über die in den Monaten Juli und August 1960 im Auftrage des Speläologischen Institutes durchgeführten hydrogeologischen Aufnahmen im Hochschwab. – Unpubl. Ber., 16 S., 2 Beil., Quellkataster, Graz (15. 02. 1961).  
Anm.: Der Bericht wurde fast wortgleich jedoch als Unterkapitel und ohne Erhebungsblätter in ZÖTL (1961) publiziert.
- ZÖTL, J. (1961 b): Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1960/61 (2), 183 S., 9 Taf., Graz.  
Anm.: Beginn der Quellaufnahmen 1960 im Auftrag d. Speläologischen Institutes.
- ZÖTL, J. (1968): Studie zur Durchführung von Untersuchungen und Markierungsversuchen zwecks Klärung der unterirdischen Entwässerung des Hochschwabmassivs. – Unpubl. Ber., 18 S., 5 Taf., Graz (10. 12. 1968).
- ZÖTL, J. (1971): Gutachtliche Stellungnahme zur Frage der Errichtung einer Doppelsesselbahn von Seewiesen auf den Ostgipfel der Aflenzer Staritzen und deren Auswirkung dieses Objektes auf die unterirdischen Wässer und deren Nutzung. – Unpubl. Gutachten, Zl. 71.919-I/1/71 i. A. d. Bundesministeriums f. Land- u. Forstwirtschaft, 15 S., Graz (06. 09. 1971).
- ZOJER, H. (1976): Auswertung des Uraninversuches Seewiesen.- Unpubl. Ber., 8 S., Graz (25. 10. 1976).  
Anm.: i.A. Amt d. Stmk. Landesregierung, Landesbaudirektion, Referat f. Wasserwirtschaftl. Rahmenplanung, LBD Ho 1/342-1976 v. 08. 09. 1976.