

Beitrag zur Hydrologie des Hochlantschgebietes (Mittelsteiermark)

Contribution to the Hydrology of the Hochlantsch Area (Mittelsteiermark)

H. STADLER¹⁾

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	62
1. Geologischer Aufbau.....	62
1.1. Kalkschiefer-Folge.....	63
1.2. Laufnitzdorfer Gruppe.....	63
1.3. Hochlantschgruppe.....	65
1.4. Nachpaläozoische Entwicklungen.....	67
2. Die morphologischen Verhältnisse.....	67
2.1. Die Entwicklung der Hochflächen und der Talsysteme.....	67
2.1.1. Lateralerosion der Altflächen.....	72
2.2. Karstformen.....	72
2.2.1. Höhlen.....	72
2.2.2. Weitere Karstformen.....	73
2.3. Fluviale Formen.....	74
2.4. Periglaziale Entwicklungen.....	74
2.4.1. Moore.....	74
2.5. Rezente Entwicklungen.....	75
3. Hydrologie.....	75
3.1. Quellkartierung.....	75
3.1.1. Ergebnisse und Interpretation der Quellaufnahme.....	76
3.2. Der Abfluß.....	76
3.2.1. Trockenwetterfalllinien.....	78
3.2.1.1. Kaskadenfall.....	78
3.2.1.2. Mixnitzbach.....	80
3.2.2. Korrelationen der Abfluß- und Niederschlagsdaten.....	80
3.2.2.1. Korrelation der Schüttungsdaten mit den Daten der Niederschlagsstationen.....	81
3.2.2.2. Korrelation der Schüttungsdaten mit den Daten der Station Teichalm.....	82
3.2.2.3. Korrelation der Schüttungsdaten Kaskadenfall und Mixnitzbach.....	83

¹⁾ Mag. Dr. phil. H. STADLER, Oeverseegasse 14, A-8020 Graz.

3.2.2.4. Korrelation der Schüttungsstufen von Kaskadenfall und Mixnitzbach.....	84
3.2.2.5. Korrelation der Schüttungsstufen mit den Daten der Niederschlagsstationen.....	84
3.2.2.6. Kritik und Zusammenfassung.....	85
3.2.3. Die Alimentierung des Kaskadenfalls durch den Mixnitzbach.....	86
3.2.3.1. Die Wasserführung des Mixnitzbachs.....	87
3.2.3.2. Schüttungsanstieg am Kaskadenfall durch Teichabsenkung.....	89
3.3. Isotopenmessungen.....	90
3.3.1. Beprobung von Einzelereignissen.....	90
3.3.2. Dauerbeobachtung der ¹⁸ O-Konzentrationen.....	94
3.4. Der Markierungsversuch.....	95
3.4.1. Durchführung und Ergebnisse.....	96
3.4.1.1. Kaskadenfall.....	96
3.4.1.2. Mixnitzbach/Klammausgang-Brücke 1.....	98
3.5. Bemerkungen zum Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes.....	98
4. Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse.....	99
Literatur.....	100
Summary.....	102

Einleitung

Das Untersuchungsgebiet liegt an der nördlichen Grenze des Grazer Paläozoikums östlich der Mur. Die nördliche Begrenzung wird vom Breitenauerbach gebildet und steigt dann entlang der östlichen Grenze des orographischen Einzugsgebietes des Tiefenbachgrabens zum Frießenkogel auf, um dann der Kammlinie der nördlichen Umrahmung der Teichalm bis zum Plankogel zu folgen. Die weitere Begrenzung nach W bilden Saukogel, Siebenkögel und Osser. Über den Sattel beim Gasthaus Angerwirt zieht die Grenze, das Einzugsgebiet des Gerlerbachs einschließend, vom Gerlerkogel, Wildkogel, Hubenhalt bis zur Nechnitz. Von dort läuft die Grenze weiter nach SW, um an der nördlichen Einzugsgebietsgrenze des Flaschbachs den Tyrnauergraben zu erreichen. Die südwestliche Grenze wird von der Mur und der Verbindung über den Wetterbauersattel zum Tyrnauergraben gebildet.

Dieses Gebiet umschließt eine Fläche von 74,6 km² mit einer mittleren Höhe von 1030 m, wobei der tiefste Punkt mit 440 m Seehöhe an der Mur liegt; die höchste Erhebung stellt der Hochlantsch mit 1720 m dar.

1. Geologischer Aufbau

Der Großbau ist durch eine intensive Decken-, Falten- und Bruchtektonik gekennzeichnet, wobei ein ausgeprägtes E-W-Streichen sowohl der sedimentären Abfolgen als auch der tektonischen Überschiebungsflächen vorherrscht (J. GOLLNER, 1983).

Während im nördlichen Teil (Hochlantsch) die Schicht- und Überschiebungsflächen generell nach S bzw. SSW einfallen (J. GOLLNER, 1983), fallen diese im südlichen Teil (Rote Wand, Tyrnauergraben) generell nach N ein (J. GOLLNER & Ch. ZIER, 1985).

Im N-Teil können nach J. GOLLNER & Ch. ZIER (1985) fünf eigenständige tektonische Stockwerke festgestellt werden, deren wichtigste Schichtglieder hier angeführt werden:

- STOCKWERK I Hochlantscheinheit
- STOCKWERK II Harrbergerformation
- STOCKWERK III Koglerformation
- STOCKWERK IV Hackensteinerformation
- STOCKWERK V Gschwendtformation

Dieser Aufbau wird noch durch eine markante Bruchtektonik geprägt. Die bedeutendsten Verstellungen sind dabei an N-S- beziehungsweise NE-SW-streichende Störungsbündel gebunden. Neben zahlreichen kleineren Brüchen treten im Bereich von Bruchzonen einige Verstellungen im 100 m-Bereich auf. Den geologischen Aufbau zeigt Fig. 1.

1.1. Kalkschiefer-Folge

Die Kalkschiefer-Folge stellt eine sehr inhomogene Abfolge von verschiedenen Kalken, Sandsteinen und Dolomiten dar, in der die Kalke bei weitem überwiegen. Diese Kalke sind kleinräumig sehr unterschiedlich ausgebildet. Es finden sich massive, wandbildende, sehr reine Kalke bis hin zu dünnschichtigen, plattigen Entwicklungen, die oftmals Einschaltungen von Silt- oder Tonschiefern enthalten, die als lokale Stauer betrachtet werden können. Daneben finden sich bei ihnen alle Übergänge zu den Sandsteinen und Dolomiten. Diese lithologischen Unterschiede finden sich nicht selten auf engstem Raum.

Die hydrogeologische Bewertung, aber auch eine differenzierte Kartierung einzelner Schichtglieder wird durch mächtige Schuttentwicklungen erschwert. Die primäre Austrittsursache von Quellen und die Wasserzirkulation im Anstehenden können so oft nicht erkannt werden.

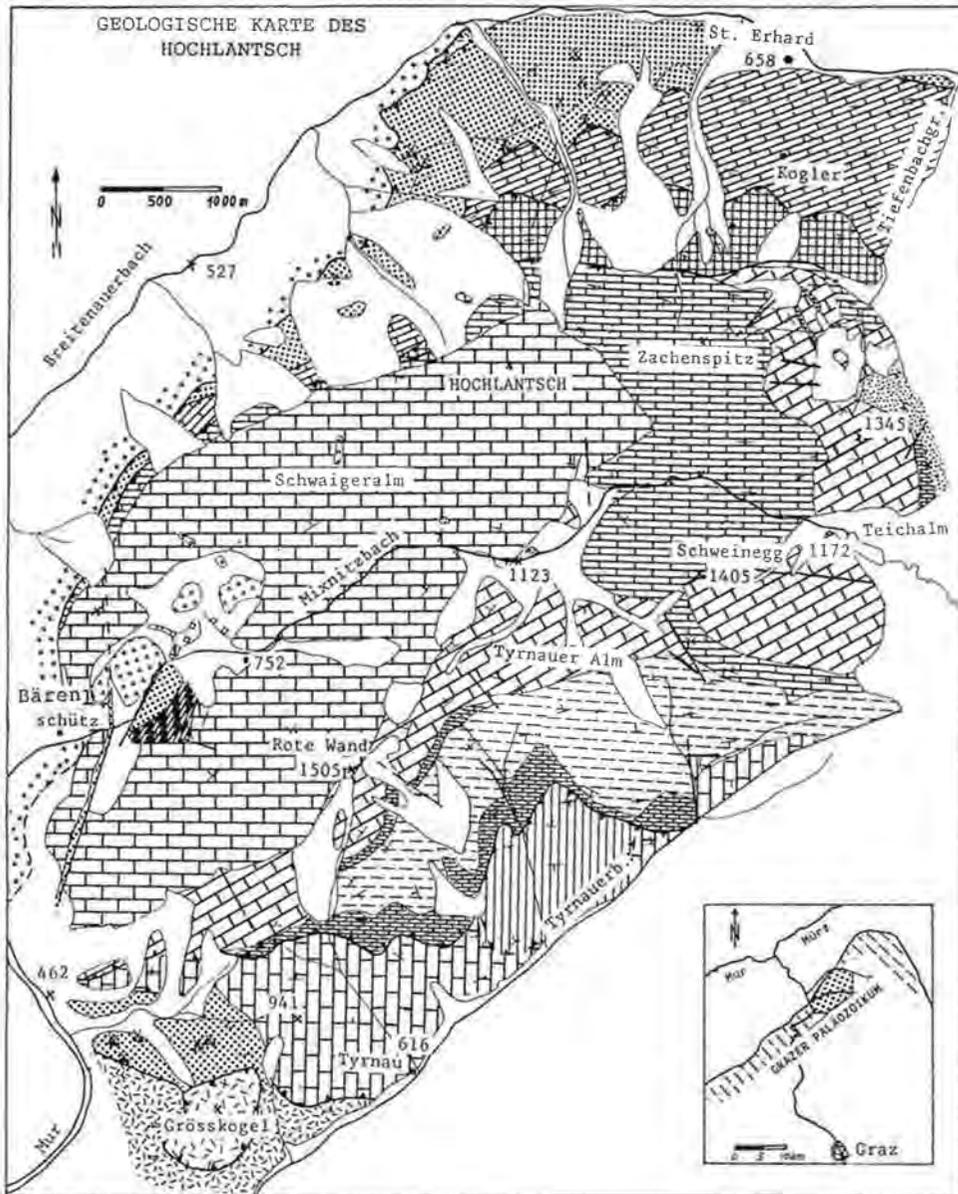
Vor allem die massigen Kalke können als gut verkarstungsfähig (Dolinen auf der Nechnitz und Hubenhalt) und daher auch als gut wasserwegig (keine Quellen auf der Nechnitz) angesehen werden.

Die gebankten, teilweise sehr dünnschichtigen Kalke sind in Verbindung mit den Silt- und Tonauflagen ihrer Schichtflächen im Gegensatz dazu als teilweise gute Stauer aufzufassen.

Dolomite und Sandsteine beeinflussen wegen ihrer geringen lokalen Verbreitung die Entwässerung innerhalb der Kalkschiefer-Folge jedoch nur kleinräumig.

1.2. Laufnitzdorfer Gruppe

Innerhalb der Laufnitzdorfer Gruppe kommt es ebenfalls, wie innerhalb der Kalkschiefer-Folge, zu einem sehr heterogenen Wechsel verschiedener Gesteine. Es fehlen hier jedoch karbonatische Entwicklungen fast völlig. Hier finden sich auch die in diesem Raum bekannten Vererzungen. Es handelt sich dabei am Nordabfall



LEGENDE

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Neogen, Quartär (Hangschutt, Felssturzmassen, etc.) Burgstallbrekzie (?) Bärenschützkonglomerat (Gosau) | <p>Laufnitzdorfer Gruppe</p> <ul style="list-style-type: none"> Harrbergerformation (du-do) Hackensteinerform. (so-du) |
|--|---|

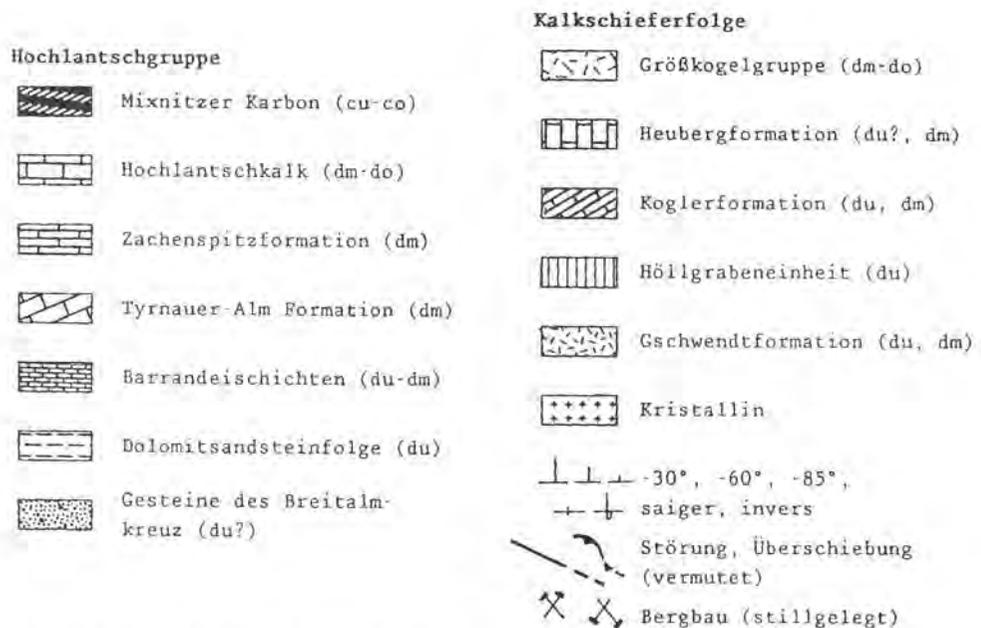


Fig. 1: Geologischer Überblick nach J. GOLLNER & Ch. ZIER (1985); (S. 64-65).

des Hochlantsch um den in Betrieb stehenden Magnesitabbau, um die einst bebauten manganhaltigen Toneisensteine sowie um die im Heuberggraben an Vulkanite gebundenen, einst genutzten Hämatitvererzungen (J. GOLLNER & Ch. ZIER, 1985).

1.3. Hochlantschgruppe

Zur Hochlantschgruppe werden folgende lithostratigraphische Einheiten gezählt (J. GOLLNER & Ch. ZIER, 1985):

- Dolomitsandstein-Folge,
- „Gesteine des Breitalmkreuzes“,
- Barrandeisichten,
- Tyrnauer Alm-Formation,
- Zachenspitzformation,
- Steinbergkalk,
- Hochlantschkalk,
- Mixnitzer Karbon.

Die Dolomitsandstein-Folge bildet südlich und nördlich des Mixnitzbachs den Kern einer Antiklinale. Sie zeigt eine Wechsellagerung verschiedener Dolomite, in die untergeordnet Kalke, Sandsteine und Tonschiefer eingeschaltet sind. Auf Grund der auffallenden Dominanz verschiedener Dolomite innerhalb dieser Formation bestimmen diese im Zusammenhang mit den mächtigen Schuttentwicklungen die Entwässerung wesentlich.

Das Auftreten der Barrandeisichten ist auf den Tyrnauergraben beschränkt. Sie erstrecken sich vom Jagdhaus Steindl bis in den hinteren Tyrnauergraben und erreichen eine Mächtigkeit bis etwa 45 m. Es handelt sich um eine intensive Wech-

sellagerung verschiedener Kalke (dominant), Dolomite und Mergel sowie untergeordnet Tonschiefer und Sandsteine. Auf Grund des Gesteinsbestandes und der tektonischen Position (tektonische Beanspruchung, Störungen) können sie als gut durchlässig beschrieben werden. Die Kalke der Barrandeischichten scheinen wenig zur Verkarstung zu neigen.

Die Tyrnauer Alm-Formation erstreckt sich vom Heuberggraben über die Tyrnauer Alm, Schweinegg, Teichalm, Breitalm bis in den südlichen Teil des Tiefenbachgrabens. Die bis zu 500 m mächtige Schichtfolge ist in ein tieferes, vorwiegend dolomitisches, und ein hangendes, vorwiegend kalkiges Member geteilt, wobei im Grenzbereich, aber auch innerhalb der kalkigen Schichtfolge, Vulkanite eingeschaltet sind (J. GOLLNER & Ch. ZIER, 1985).

Die Zachenspitzformation schließt im E an den Hochlantschkalk an und reicht vom Schweinegg im S bis in den Bereich Wöllingerbach im N.

Der Hochlantschkalk bildet sowohl morphologisch als auch vom hydrogeologischen Gesichtspunkt her das auffälligste Schichtglied der paläozoischen Entwicklungen im Arbeitsgebiet. Er bildet das oberste Stockwerk und ist vom Röthelstein und der Roten Wand bis östlich des Hochlantschgipfels anzutreffen, wo er sich mit den Kalken der Zachenspitzformation verzahnt. Er erreicht eine Mächtigkeit bis etwa 800 m. In der Flugaufnahme (Fig. 2) sind die Wandbildungen des



Fig. 2: Der Hochlantschgipfel von W. Im Bildvordergrund die Verebnungsfläche beim Guten Hirten. (Freigeig. vom BMLV mit Zl. 13.088/804-1.6/87).

Hochlantschkalkes deutlich zu erkennen. Der Hochlantschkalk kann als sehr gut verkarstungsfähig und somit gut durchlässig charakterisiert werden. Dafür sprechen das fast völlige Aussetzen von Quellen in diesem Bereich, die zahlreichen Höhlenbildungen und nicht zuletzt die im Rahmen dieser Arbeit festgestellte Verbindung vom Mixnitzbach zum Kaskadenfall.

Östlich von Mixnitz am Fuße der Nordabstürze der Roten Wand und des Röthelsteins folgt über einem Erosionsrelief des Hochlantschkalks das Mixnitzer Karbon.

1.4. Nachpaläozoische Entwicklungen

Es sind dies im Arbeitsgebiet vor allem das Bärenschützkonglomerat, tertiäre Konglomerate, die Burgstallbrekzie, periglaziale Schuttbildungen und Talfüllungen.

Die heutige Entwässerung wird von den periglazialen Schuttentwicklungen und den Talfüllungen wesentlich bestimmt. Beide sind, wie bereits erwähnt, als gut wasserwegig zu bezeichnen und beeinflussen so die unterirdische Entwässerung nachhaltig.

2. Die morphologischen Verhältnisse

Das Arbeitsgebiet ist charakterisiert durch den Wechsel von sanftwelligen Altlandschaften, jungen Kerbtälern, Felsabbrüchen und steilen Hängen, die diese Altlandschaften verbinden.

Die ältesten Leitformen des Gebiets sind von Kuppenniveaus (Frießenkogel, Grubbauerkogel, Plankogel, Osser, Schweinegg) bestimmt, die als vererbte Flächen dem Miozän zuzuordnen sind.

Im Pliozän, als sich die klimatischen Bedingungen so entwickelten, daß Flächenbildung und -erhaltung möglich wurden, entstanden jene Altflächenreste (Sommeralm, Teichalm, Hubenhalt, Guter Hirte), die teilweise bis in die Gegenwart erhalten blieben und so das Bild der heutigen Landschaft wesentlich bestimmen.

Die Entwässerungsrichtung in diesen geologischen Abschnitten kann natürlich nicht mehr genau rekonstruiert werden, doch sind einige Hinweise darauf erhalten geblieben. Es kann angenommen werden, daß die großräumige N-S-Entwässerung schon sehr lange bestand (unteres Pliozän), aber im betrachteten Gebiet eine phasenhafte W-Verlegung der Hauptvorflut stattfand (A. WINKLER-HERMADEN, 1957, J. SÖLCH, 1924, 1928). Auslösende Faktoren dafür können zum einen die großräumigen phasenhaften Gebirgshebungen sein, aber auch kleinräumige tektonische Verstellungen.

2.1. Die Entwicklung der Hochflächen und der Talsysteme

Bei der Geländeaufnahme dieser Formen wurde zum einen auf die landschaftsprägende Bedeutung und auf eine gewisse Mindestgröße, die H. WILHELMY (1972) angibt, um derartige Formen als Altflächenreste anzusprechen, Rücksicht genommen.

Die solcherart ausgeschiedenen Flächensysteme wurden zu Gruppen zusammengefaßt (Tab. 1 stellt die wichtigsten höhenmäßig zusammen). Diese Einteilung

Tab. 1: Höhenstufen der Altflächenreste.

System	mittlere Höhe	Bezeichnung
I	1700	Hochlantsch
II	1300-1500	W' Osser, Guter Hirte, Siebenkögel, Hahnhütte, Sommeralm, Rote Wand
III	1200-1240	Teichalm, Breitalm, Hubenhalt, Schwaigeralm
IV	970-1150	Nechnitz, Bucheben, Zehnerhube
V	640-900	Burgstall, Steindl, Schwaigerbauer

ist mit der von A. WINKLER-HERMADEN (1957) getroffenen nicht gänzlich in Einklang zu bringen. Eine Übersicht mit den bei ihm für das Hochlantschmassiv erwähnten Höhenangaben bringt Tab. 2.

Tab. 2: Niveaugliederung im Hochlantschgebiet nach A. WINKLER-HERMADEN (1957).

Name	Höhe	Alter	Bezeichnung
Kor.-Niv.	1700	Sarmat	Hochlantsch
Wolscheneck-Niv.	1440-1500	Unterpannon	Rote Wand
Glashüttener-Niv.	1200-1240	Mittelpannon	Teichalm, Hubenhalt
Trahüttener-Niv.	1000-1150	Pannon/Daz	Zehneralpe, Nechnitz, Bucheben
Hochstradener-Niv.	600-800	oberstes Daz	Gebirgsrandflur

Des weiteren unterteilt er die einzelnen Niveaus noch in obere und untere Teilfluren, wobei einzelne Höhenangaben eher dem Wunsch des Verfassers entsprechen (siehe Hubenhalt: A. WINKLER-HERMADEN, 1957) als der Realität. Noch einen Schritt weiter geht J. SÖLCH (1924, 1928), der, in fast jeder Kammlinie Altflächenreste erkennend, je nach Lesart neun bis 12 Niveaus zwischen Hochlantsch und Passailer Becken erkennt.

Die weitere Behandlung dieses Problems soll mit besonderer Berücksichtigung der Entwässerungsentwicklung erfolgen und auch die Möglichkeiten der kleinräumigen Tektonik einbeziehen.

Die ältesten im Arbeitsgebiet erhaltenen Formen sind die Kuppenniveaus des Ossers (1548 m), Plankogels (1531 m), Frießenkogels (1491 m), Schweineggs (1457 m), Hochlantsch (1720 m) und des Zachenspitzes (1601 m). Sie sind ins Miozän zu stellen. Es handelt sich dabei möglicherweise um Kuppelkarstreste, deren Entstehung in späteren Zeitabschnitten bei veränderten klimatischen Verhältnissen nicht mehr möglich gewesen wäre. Daß der sie verkleidende periglaziale Hangschutt teilweise mächtige Entwicklungen darstellt, zeigte sich auch bei der Quellaufnahme. Bei Schüttungen bis zu 7 l/s wiesen diese Quellen auf der Teichalm niedrige Temperaturen und gegenüber Kluftquellen eine erhöhte Leitfähigkeit auf.

Schon in diesem Höhenabschnitt und etwas darunter (bis etwa 1400 m) erscheinen typische Altflächenreste, die besonders auf der Sommeralm und im nördlichen Teil des Saugrabens ausgebildet sind. Auffallend ist, daß sie westlich vom Gasthaus Holzmeister nicht mehr auftreten. Die N-Umrahmung der Teichalm ist ungegliedert. Erst ganz im NW erscheint eine Verebnungsstufe, die allerdings deutlich tiefer liegt. Aussagen über die damalige Entwässerungsrichtung sind nicht zu treffen.

Erste Vermutungen über eine solche bringt aber J. SÖLCH (1924) für das Niveau der Breitalm (1240 m) zum Ausdruck, das er als alten Talstrunk, der mit dem Sattel beim Angerwirt (1190 m) eine nach S gerichtete Entwässerungsrinne darstellte, bezeichnet. Weitere Änderungen der Entwässerungsrichtung seien nach J. SÖLCH (1924) auf minimale Verstellungen der alten Verebnungsflächen zurückzuführen. Solche Verstellungen müßten bereits während der nächsten Hebungphase eingetreten sein. Dadurch entstand die Gefällsstufe zum Teichalmniveau, dem höhenmäßig die untere Teilflur beim Guten Hirten und die Hubenhalt zugehörig ist.

Die Verebnungsflächen beim Guten Hirten können möglicherweise in zwei Teilfluren geteilt werden, wobei die obere dem Niveau der Breitalm zuzuordnen wäre. Allerdings sind diese Flächen sehr stark von alten Talwurzeln, Karstgassen und rezenter Dolinenbildung durchzogen, so daß keine eindeutigen Gefällsstufen mehr zwischen den beiden Teilfluren erkennbar sind. Es wird aber deutlich, daß

die hier vorliegenden Altflächen die westlichsten Niveaus darstellen, die vor der Bildung der heutigen Klamm und möglicherweise vor dem ersten W-Schwenken der Entwässerung über die Bucheben entstanden sind. Damit wären sie nach A. WINKLER-HERMADEN (1957) an die Basis des Oberpannons zu stellen. Es kann in diesem Gebiet aber auch eine jüngere tektonische Verstellung vorliegen.

In dieser Hinsicht ist sicherlich auch die breite Talung des Mixnitzbachs östlich Zechnerhube bis etwa zur Brücke in 1123 m interessant. Nach ihrer heutigen Höhenlage könnte sie mit dem Sattel der Bucheben (1081 m) in Verbindung gebracht werden. Ob es sich wirklich um ein altes Entwässerungssystem über die heutige Klamm hinweg gehandelt hat, oder ob hier ein Bereich vorliegt, der bei späteren Hebungen zurückgeblieben ist, kann hier nicht beantwortet werden.

In diesem Bereich finden sich auch Zeugen einer möglicherweise unterirdischen Entwässerung des Hochlantschstocks: das Ochsenbodenloch (Nummer im Höhlenkataster: 2839/6) und der sogenannte „Lantschbrunn“, eine periodisch fließende Karstquelle in der Rinne westlich Ochsenbodenloch in etwa 1220 m Höhe. Beim Ochsenbodenloch handelt es sich um einen heute inaktiven, bis in 108 m Tiefe befahrbaren Karstschlot, dessen Eingang sich heute in 1140 m Höhe nördlich des Mixnitzbachs, 10 m über dem Gerinneniveau am Wandfuß befindet. Einzelne Gänge desselben queren in ca. 50 m Tiefe den Mixnitzbach.

Der „Lantschbrunn“ ist nur nach extremen Starkregen und während der Schneeschmelze aktiv. Während des Beobachtungszeitraums war dies jedoch nicht der Fall, da die Winterniederschläge zu gering waren. Selbes gilt auch für den „Wasserspeier“ (Höhlenkatasternummer 2839/30), der sich in 1080 m im Talschluß des Tyrnauergrabens, etwa 700 m nordwestlich Kote 1129 befindet.

Die Möglichkeit einer Verbindung vom Mixnitzbach in den Tyrnauergraben bei starken Hochwasserereignissen (z.B. Schneeschmelze) wird weiter unten noch behandelt.

Ein weiteres Flächensystem, das das Erscheinungsbild der Landschaft ganz besonders prägt, ist das Niveau der Bucheben und der Nechnitz sowie die in dieser Höhe gehäuft auftretenden Höhlen.

Bereits J. SÖLCH (1928) und später auch GÖTZINGER (in: O. ABEL & G. KYRLE, 1931) nehmen eine Entwässerung über eine Verbindung Bucheben-Nechnitz in N-S-Richtung an. A. WINKLER-HERMADEN stellt dieses Niveau an die Wende vom Pannon zum Daz und parallelisiert es mit dem Trahüttener Niveau. Zu diesem Zeitpunkt kann, folgt man diesen Angaben, weder die Bärenschützklamm noch der Tyrnauergraben und auch nicht das Passailer Becken existiert haben. Daraus ist zu entnehmen, daß besonders dieser Zeitraum zum einen einer langandauernden tektonischen Ruhephase entsprechen muß und zum anderen die klimatischen Verhältnisse und das Wasserdargebot günstige Voraussetzungen zur Höhlenbildung darstellten.

Besonders im Bereich Rote Wand und Röthelstein häufen sich Höhlenportale und Löcherreihen in einer Höhe um 1000 m, also knapp unterhalb des heutigen Niveaus der Bucheben. Im steirischen Höhlenkataster sind im Bereich Rote Wand-Röthelstein die Portale von 36 Höhlen (eine ohne Höhenangabe) erwähnt, von denen 18 unter 1000 m, 13 zwischen 1000 m und 1020 m und nur vier Höhleneingänge darüber (bis max. 1100 m) liegen. Ob diese Höhlensysteme noch diesem Entwässerungssystem tributär waren, wie GÖTZINGER (in: O. ABEL & G. KYRLE, 1931) feststellt, oder den Beginn größerer unterirdischer Entwässerung eines jüngeren Zeitabschnitts darstellen, bleibt offen.



Fig. 3: Blick auf den Röthelstein und die Rote Wand von E, dazwischen der Sattel der Bucheben. Südlich davon der Sattel beim Jagdhaus Steindl; im Bildmittelpunkt und -vordergrund die Rückfallkuppen im Tyrnauergraben (Freigeig. v. BMLV mit Zl. 13.088/804-1.6/87).

A. WINKLER-HERMADEN (1957) spricht im Zusammenhang mit dem altdazisch-oberpannonen Flurensystem und dem Übergang zu den jüngeren Verebnungsflächen von „bedeutenden Änderungen der hydrographischen Verhältnisse“. In diesem Zeitabschnitt (bis zum obersten Daz) scheinen die Bärenschützklamm, der Tyrnauergraben und, für die Entwicklung der Reliefenergie im betrachteten Gebiet von ausschlaggebender Bedeutung, das Passailer Becken entstanden zu sein.

Die Rückfallkuppen der rechten Talflanke des Tyrnauergrabens (siehe Fig. 3) scheinen innerhalb der vorpleistozänen Entwicklung dieses Gerinnes wesentlich stärker tektonisch bedingt als durch Stillstände der Hebungen. Diese Rückfallkuppen weisen eine eindeutige Abdachung nach W auf. Da sie aber nur bis östlich des Heubergs zu verfolgen sind, besteht die Möglichkeit, daß der Tyrnauerbach bei seiner Tieferlegung vorerst über den Sattel beim Jagdhaus Steindl nach W entwässerte (der heutige Heubergbach, der zur Mur fließt, tastet ebenfalls einer Störung nach). Erst mit zunehmender Erosionstätigkeit und dem W-Verschieben der Vorflut entstand der heute murparallele Abschnitt, ebenfalls einer geologischen Schwächezone folgend.

Auf Grund der bereits erwähnten W-Abdachung der Rückfallkuppen im Tyrnauergraben ist natürlich eine Bindung an ein Flußsystem und möglicherweise an Altflächenreste, die sich durch Lateralerosion zu diesen verschnittenen Formen ehemaliger Niveaus entwickelt haben, denkbar. Diese nach W gerichtete Entwässerung würde die N-S-Entwässerung dieser Zeit über Bucheben-Nechnitz unterschneiden, die morphologisch besser abgesichert erscheint. Auch dies ist ein Grund diese

Reste eines Niveaus in eine jüngere Zeit als das Niveau der Bucheben zu stellen. Am N-Abfall des Hochlantsch sind ausgeprägte Altflächenreste nicht ausgebildet. Die vorhandenen Verebnungsflächen, die vom E (Tiefenbachgraben) nach W (Mur) von 1050 m auf etwa 900 m (Ranerwand) abdachen, sind zum einen an die Grenze zum Kristallin gebunden und zum anderen an die mächtigen periglazialen Schuttfächer.

In Begleitung des Mixnitzbachs treten noch zwei besonders markante Verebnungsflächen auf, deren Entstehung von der der bisher besprochenen abweicht: die kesselartigen Verebnungen des Burgstalls (ca. 700 m) und Schwaigerbauers (ca. 800 m). Sie sind in Fig. 4 abgebildet. Bereits A. AIGNER (1926) weist darauf hin und erkennt sie als ehemalige Karst-Sacktäler einer unterirdischen Entwässerung im Bereich des Mixnitzbachs. Er verweist in diesem Zusammenhang auf die Höhlenbildungen der Burgstallwand (zwischen Schwaigerbauer und Burgstall). Ein Zusammenhang mit dem Ochsenbodenloch konnte indes noch nicht erbracht werden. Folgt man der Annahme von A. AIGNER (1926), wären Verbindungen dieser Höhlen mit dem Ochsenbodenloch und den beiden Überlaufquellen denkbar. Dies könnte aber nur durch einen Markierungsversuch während der Schneeschmelze (nach ausreichenden Winterniederschlägen) bewiesen werden.



Fig. 4: Flugaufnahme von E über die kesselartigen Verebnungen des Burgstalls (im Bild unten) und beim Schwaigerbauer, durch die markanten Wandbildungen der Burgstallbrekzie getrennt. Darüber die völlig bewaldet erscheinende Verebnung beim Guten Hirten (Sh: 1200 m), dahinter in Wolken gehüllt der Gipfel des Hochlantsch. In der Bildmitte im Hintergrund die Weideflächen am Heulantsch (nördliche Umrahmung der Teichalm). Im rechten Bildteil sind die Verebnungen bei der Hahnhütte und am Schweinegg (Sh: 1380 m) zu erkennen (Freigeg. v. BMLV mit Zl. 13.088/804-1.6/87).

Auch R. SCHWARZ (1979) greift diese These wieder auf und diskutiert auch die Altersfrage. Danach wären diese Talkessel möglicherweise schon im Miozän entstanden.

2.1.1. Lateralerosion der Altflächen

Neben diesen Altflächen, in deren Mittelpunkt sicherlich die Teichalm steht, sind es vor allem die jungen Taleinschnitte, die die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Im eigentlichen Arbeitsgebiet handelt es sich dabei um die Bärenschützklamm und den Tyrnauerbach. Der krasse morphologische Unterschied dieser beiden muß im unterschiedlichen Gesteinsaufbau ihrer Einzugsgebiete gesucht werden.

Das Einzugsgebiet des Tyrnauerbachs liegt zur Gänze innerhalb der Dolomitsandstein-Folge und der Kalkschiefer-Folge. Obwohl besonders innerhalb der Kalkschiefer-Folge auch massige, wandbildende Kalke (N. HUBAUER, 1984, Ch. ZIER, 1982) auftreten, ist die überwiegende Mehrzahl der innerhalb dieser Formationen auftretenden Gesteine leichter erosiv abtragbar als die Hochlantschkalke im Einzugsgebiet des Mixnitzbachs. Die asymmetrische Ausbildung dieses Kerbtals ist auf die Lagerung der Gesteine zurückzuführen. Im Bereich der Rückfallkuppen liegt der Sattel einer Falte innerhalb der Dolomite der Dolomitsandstein-Folge, deren Achse etwa parallel zum Tyrnauergraben liegt.

Ein weiterer Grund ist möglicherweise in der Entwässerung des „Vorläufers“ des Tyrnauerbachs zu suchen, die über den Sattel beim Jagdhaus Steindl erfolgte und dabei ebenfalls, wie der heutige Tyrnauerbach, einer Störung nachstasete. Durch erneute Hebungen (tektonische Asymmetrie des Talquerschnitts) und der W-Ablenkung der Mur bei Röthelstein wurde in Zusammenhang mit der wahrscheinlich hohen Geschiebeführung aus dem Bereich der Roten Wand der Tyrnauerbach zum heutigen Lauf gezwungen.

Der Mixnitzbach, der im Bereich Burgstall und Bärenschützklamm ebenfalls einer Störung folgt, konnte ein ähnliches Ausgleichsgefälle wie der Tyrnauerbach im massigen Hochlantschkalk noch nicht erreichen. Zusätzlich wird seine Erosionsleistung durch die teilweise unterirdische Entwässerung gemindert. Er überwindet die 350 m Höhenunterschied von der Zechnerhube zum Kassahaus in der Bärenschützklamm. Eng mit dieser Klamm verbunden sind die Karsterscheinungen, die aber nicht auf diesen Bereich beschränkt bleiben.

Das Einzugsgebiet des oberen Mixnitzbachs wird von der rückschreitenden Erosion der tief eingeschnittenen, ihn umgebenden Gerinne stark angegriffen. Am auffälligsten davon ist die in der Literatur (J. SÖLCH, 1924) schon mehrmals erwähnte bevorstehende Anzapfung des Mixnitzbachs durch die Raab beim Schwoabauerkreuz. Die Wasserscheide erhebt sich hier nur mehr 25 m über das Niveau des Mixnitzbachs, der Raabursprung ist vom Mixnitzbach in Luftlinie nur 500 m entfernt.

Vom gleichen Autor wird noch eine weitere bevorstehende Anzapfung in diesem Gebiet erwähnt: die des Toberbachs über den Sattel beim Gasthof Angerwirt.

2.2. Karstformen

2.2.1. Höhlen

Im Österreichischen Höhlenkataster sind unter der Kat.Nr. 2839 72 Höhlen innerhalb des Arbeitsgebiets erfaßt. Die bekanntesten davon sind die Drachenhöhle und die Mathildengrotte am Röthelstein sowie das Bärenloch oberhalb der Karst-

quelle Kaskadenfall. Die räumliche Verteilung über das Arbeitsgebiet ist sehr unterschiedlich. Sie treten gehäuft am tektonisch stark beanspruchten Röthelstein bis zum NW-Abfall der Roten Wand auf. Die höhenmäßige Verteilung zeigt ein Maximum des Vorkommens in der Höhenstufe um 1000 m, die ein im Arbeitsgebiet entscheidendes Niveau darstellt.

Eine Bindung von Höhlen an andere Niveaus konnte nicht festgestellt werden. Für höhere Bereiche mag daraus der Schluß gezogen werden, daß die klimatischen Verhältnisse für Verkarstung nicht günstig waren. Bei tieferen Niveaus muß bedacht werden, daß möglicherweise viele Höhlenportale durch den pleistozänen Hangschutt nicht zugänglich sind. Eine Ausnahme bilden die Hubenwandhöhlen. Hier, an der NW-Flanke des Röthelstein liegt in der betreffenden Höhenstufe (um 700 m) keine pleistozäne Entwicklung vor. Diese Höhlen sind daher unter Berücksichtigung der Gesamtabdachung dem 500 m Leitniveau (Oberstpliozän) am Gebirgsrand zuzuordnen.

2.2.2. Weitere Karstformen

Großformen einer Karstlandschaft liegen im bedeckten Karst des Arbeitsgebiets selten vor. Die auffallendsten sind die beiden großen übereinandergeschalteten Talkessel des Burgstalls und beim Schwaigerbauer.

Gut ausgebildete Dolinen finden sich gehäuft auf der Schwaigeralm und beim Schwaigerbauer, einzelne Formen auf der Nechnitz, Hubenhalt und Siebenkögel.

Anthropogen verfüllte Dolinen, teilweise im Gelände nicht mehr erkenntlich, finden sich beim Gasthaus Angerwirt. F. VORMAIER (1938, S. 73 und Kartenanhang, Tafel 28) weist auf das stark verkarstete Gebiet hin und erwähnt eine Vielzahl von Kleindolinen. Diese sind laut Auskunft des Besitzers wegen der Weidewirtschaft und der Befahrung mit Traktoren weitgehend verfüllt worden. Übriggeblieben sind eine abgedichtete Doline, die augenscheinlich aus dem Hangwasser des Ossers gespeist wird (lt. Auskunft fällt sie nie trocken) und zwei weitere größere Dolinen (Durchmesser etwa 10 m) südlich der Straße auf die Sommeralm, von denen jedoch eine bereits fast verfüllt ist.

Ebenfalls anthropogen verfüllt wird derzeit eine besonders schön ausgebildete Doline auf der Nechnitz, etwa 30 m südlich des Gasthauses Frank. Hier werden vor allem Bauschutt und Streusplitt abgeladen. Das Wäldchen, das sich ca. 20 m südwestlich dieser Doline befindet, dürfte auf einer ehemaligen und nun abgedichteten Doline stehen, die wesentlich größer war als die noch offene. Der Boden ist hier anmoorig und deutet somit auf periglaziale Verfüllung hin.

Auf der Schwaigeralm, im Areal der Pferdekoppel, westlich des Gasthauses Guter Hirte, findet sich die größte Anzahl von Dolinen in einem geschlossenen Gebiet. Ihre Form weicht jedoch deutlich von den bisher beschriebenen ab. Sie sind deutlich tiefer (ca. 1,5 m) und besitzen steilere Flanken. Ihr Aussehen erinnert schon etwas an Karstschlote. Ihre Bildung ist teilweise rezent. Nach Auskunft des Oberförsters müssen alle ein bis zwei Jahre neue Dolinen eingezäunt werden, da sie sich inzwischen vertieft haben. Von einer weiteren rezenten Dolinenbildung berichtete der Revierjäger im Tyrnauergraben. Im Talschluß des Tyrnauergrabens (westlich Kote 1129) muß alljährlich im Frühjahr die Forststraße wegen einer kreisrunden Absenkung neu aufgefüllt werden.

Drei besonders schön ausgebildete Dolinen befinden sich beim Schwaigerbauer. Die größte davon hat einen Durchmesser von etwa 10 m und ist damit auch die größte im Arbeitsgebiet.

Jeweils eine Doline wurde noch auf der Hubenhalt und auf den Siebenkögeln gefunden. Ihr Durchmesser beträgt jeweils ungefähr drei Meter.

Karstkleinformen an der Oberfläche sind natürlich nur dort anzutreffen, wo der nackte Fels ansteht. Dies ist im wesentlichen westlich des Hochlantschgipfels und in Begleitung des Mixnitzbachs der Fall. Dabei handelt es sich um Karren der mannigfachsten Ausbildungen.

2.3. Fluviale Formen

Kolke und Strudellöcher finden sich in besonders schön ausgebildeten Formen, oftmals bis zu drei Generationen übereinander, entlang des Mixnitzbachs zwischen Hinterklamm und Burgstall. Ein Großteil dieser Formen scheint nicht mehr rezent gebildet zu werden, da sie entweder völlig verfüllt sind oder bereits oberhalb des Bachbetts liegen.

Für die heutige Formenwelt der Hochflächen sind vor allem die Ablagerungen der Talbodenlehme der Teichalm von Bedeutung, da sie die heutige Almfläche gegen den klüftigen Untergrund abdichten. Nur auf Grund dieser fluvialen Ablagerungen ist zum Beispiel der heutige Stausee möglich. Ein Gutteil der Erosionsformen der Gerinne kann rezenten Vorgängen zugeordnet werden.

2.4. Periglaziale Entwicklungen

Die periglazialen Hangschuttentwicklungen stellen im Arbeitsgebiet ein wesentliches Formelement dar. Besonders mächtig entwickelt sind sie am Oberlauf des Mixnitzbachs zwischen Sommeralm und Teichalm. Ihre Mächtigkeit kann nicht genau angegeben werden, liegt aber sicher im Bereich der 10er-Meter. Aufgeschlossen sind diese Schuttbedeckungen entweder durch den mäandrierenden Mixnitzbach besonders im Bereich Gasthaus Holzmeister oder in Form von klammartigen Einschnitten durch Erosion von Quellwässern (Gully Erosion).

Der tiefste (2,2 m) derartige Aufschluß wurde im Gebiet der Sommeralm entdeckt. Auch im Bereich von Quellmulden am Talboden werden die Schutthänge angeschnitten. Großflächigere Aufschlüsse des periglazialen Hangschutts finden wir im Zuge des Straßenbaus.

Vom Ausgangsmaterial fand der Spaltenfrost, der ein wesentliches Element bei der Bildung der periglazialen Hangschleppen darstellt, in diesem Gebiet günstige Voraussetzungen zur Schuttaufbereitung vor. Die Unterschiedlichkeit der Schuttgrößen ist sehr schön mit dem Anstehenden (Ausgangsmaterial) identifizierbar. Die bis dm-großen Schuttstücke sind Hochlantschkalke, bei cm-großen Bruchstücken handelt es sich meist um Dolomit. Der Kalkschiefer verwittert zu sehr dünnblättrigen, kiesigen Komponenten.

2.4.1. Moore

Moorbildungen können im Arbeitsgebiet auf der Teichalm und den Niveaus der Sommeralm angetroffen werden. Auf der Teichalm ist der Talboden östlich des Stausees, auf dem Sommeralmniveau hauptsächlich eine Verebnungsfläche auf der Kerschbaumalm in 1300 m Höhe betroffen. Die Moorbildung entlang des Mixnitzbachs wird durch Lehme ausgelöst, die in den Anrissen des mäandrierenden Mixnitzbachs (z.B. im Bereich Harrerhütte-Gasthaus Holzmeister) deutlich erkennbar sind. Ihr

Wasserhaushalt ist von einem echten Moor etwas abweichend. Sie werden wahrscheinlich durch Hangwasser gespeist und entwässern in die Vorflut. Heute werden sie teilweise durch Drainagen entwässert und sind daher als solche nicht mehr eindeutig zu erkennen; so zum Beispiel beim Gasthaus Holzmeister und beim Schilift Sommeralm. Bei den höhergelegenen Vorkommen ist keine Entwässerung feststellbar. Die Abdichtung derselben stammt wahrscheinlich aus den pliozänen Flußläufen. Genauere Altersangaben könnten nur durch entsprechende Pollenanalysen getroffen werden.

2.5. Rezente Entwicklungen

Hierher gehört die Sohlentalbildung des Mixnitzbachs im Bereich Saugraben-Teichalm, wo das mäandrierende Gerinne durch Lateralerosion diese Formen schafft. Das auslösende Moment für diese Lateralerosion könnte der Rückgang des Retentionsvermögens nach dem Abholzen größerer Waldflächen (Landnahme) sein.

Die aktuelle seitliche Erosion des Mixnitzbachs im Talsohlenbereich zeigt sich bei Hochwasser besonders deutlich: Prallhänge der Mäander werden weiter unterspült und der Gerinneverlauf verändert. Besonders westlich vom Gasthaus Holzmeister werden dabei die bereits erwähnten Talbodenlehme angeschnitten, die einen hohen biogenen Anteil aufweisen und teilweise richtige Torfhorizonte bilden.

Ebenfalls hier einzureihen sind rezente Rutschungen, die meistens in Gefolge des Forststraßenbaus auftreten. Die dadurch entstehenden Anrisse der periglazialen Hangschleppen beeinflussen auch den oberflächennahen Grundwasserabfluß. Weitere rezente Rutschungen und Feilenanbrüche sind im Bereich von Schipisten zu beobachten; am weitesten fortgeschritten beim Schilift Sommeralm.

Ebenfalls anthropogene Ursachen haben Viehgangeln, die bei erhöhter Bestockungszahl der Almen immer wieder auftreten.

Am auffälligsten sind jedoch neben den verschiedenen erosiven Formen vor allem die Akkumulationen der Gerinne besonders bei Hochwasser. Um einen Eindruck von der Größenordnung dieser Materialverfrachtungen zu erhalten, seien hier die Aufschüttungen des Mixnitzbachs bei der Einmündung in die Mur und die Ablagerungen beim Parkplatz Bärenschütz, die durch das Hochwasser nach einem Sommergewitter 1986 entstanden sind, genannt.

Die periglazialen Hangschleppen sind, wie bereits erwähnt, nur dann eingekerbt, wenn Quellabflüsse vorhanden sind. Ansonsten herrschen eher tilkenartige, von der Falllinie abweichende, kastentälchenartige Eintiefungen vor. Diese Tilken sind wahrscheinlich sehr junge Formen, die erst nach den ausgedehnten Rodungen der Landnahme und später durch die Köhlerei entstanden sind. Wie bereits angeführt, ist in wenigstens zwei Fällen auch die rezente Weiterbildung von Dolinen bekannt.

3. Hydrologie

3.1. Quellkartierung

Die Quellkartierung der Einzugsgebiete des Mixnitzbachs und des Tyrnauerbachs wurden im Spätsommer 1987 durchgeführt. Im Bereich nördlich des Hochlantsch konnte auf ältere Kartierungen zurückgegriffen werden. Folgende Parameter wurden dabei erhoben:

- topographische Lage und geologische Situation,
- Seehöhe,
- Quelltyp,
- Schüttung,
- Temperatur,
- Leitfähigkeit,
- pH-Wert sowie Gesamthärte, Hydrogenkarbonat und Calcium (bei ausgewählten Quellen).

3.1.1. Ergebnisse und Interpretation der Quellaufnahme

Es kann eine deutliche negative Korrelation der Höhenverteilung der Quellen mit der Höhenverteilung der Höhlen festgestellt werden. Dies kann als ein Ausdruck der tiefreichenden Verkarstung, im besonderen der Hochlantschdecke gewertet werden.

Die Höhenverteilung der Quellen über Vorflut kann in Beziehung zur Morphogenese dieses Gebietes gebracht werden.

Im Bereich der Altflächenreste zeigen besonders Quellen mit Schüttungen über 0,5 l/s eine deutliche Vorflutgebundenheit, wohingegen kleinere Quellen ein Beharrungsvermögen bezüglich ihrer Höhenlage aufweisen und somit auf ein älteres Niveau zwischen 1280 und 1380 m Seehöhe hinweisen. Dies deutet auf eine Abhängigkeit des Beharrungsvermögens von der Schüttung und damit von der Erosionsleistung hin.

Im Einzugsgebiet des Tyrnauerbachs, der eine relativ junge Talung darstellt, zeigt sich noch ein ausgeprägteres Beharrungsvermögen der Quellaustritte bezüglich ihrer Höhenlage. Quellaustritte auf Vorflutniveau fehlen fast völlig. Dies unterstützt die Theorie, daß die Höhenlage einer Quelle über Vorflut auch eine Funktion des Alters der Vorflut ist.

Die Höhenverteilung der Quellen am Nordabfall des Hochlantschkalkes zeigt deutlich die Liegendgrenze des Hochlantschkalkes. Entsprechend der Lagerung der einzelnen Schichtglieder treten an dieser Überschiebungsgrenze keine Quellen auf.

Die Quelledichte steht in deutlichem Zusammenhang mit der Verbreitung der lithologischen Einheiten. Im Hochlantschkalk ist ein fast völliges Aussetzen der Quellaustritte zu beobachten. Bei der im Einzugsgebiet des Mixnitzbachs am tiefsten gelegene Quelle handelt es sich um den Kaskadenfall, der mit Abstand größten Karstquelle dieses Gebietes (MQ 1987-1988: 275 l/s).

Bei der weiteren statistischen Bearbeitung der Ergebnisse der Quellaufnahmen konnten deutliche Unterschiede bei den Schüttungsspenden einzelner Einzugsgebiete festgestellt werden, die eindeutig mit dem lithologischen Bestand in Einklang zu bringen sind, aber auch möglicherweise Hinweise auf Einzugsgebietsverschiebungen zugunsten des Kaskadenfalls nach S über die Rote Wand beinhalten.

Der Vergleich der durchschnittlichen Quellschüttung einzelner Einzugsgebiete zeigte neben der deutlichen Auswirkung der Verkarstung auch die wesentliche Rolle der periglazialen Schuttkörper, besonders auf der Teichalm.

3.2. Der Abfluß

Der oberirdische Abfluß wurde im Arbeitsgebiet mit zwei Schreibpegeln kontinuierlich registriert, am Hochlantsch Nordabfall an drei, im Tyrnauergraben an zwei Meßstellen vierzehntägig gemessen.

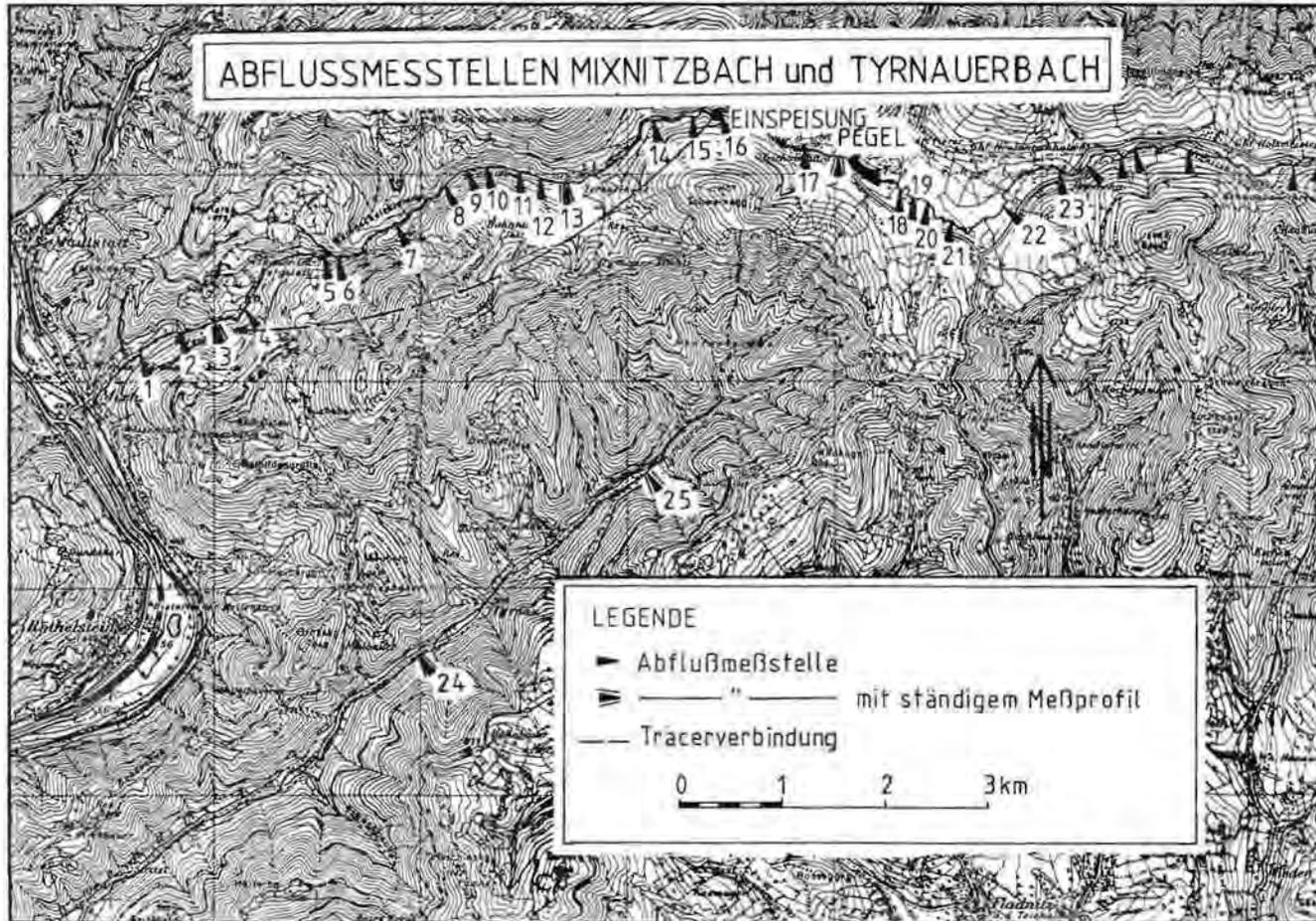


Fig. 5: Abflußmeßstellen am Mixnitzbach und Tyrnauerbach; Einspeisungsort des Tracers.

Der erste Schreibpegel wurde am Kaskadenfall, der zweite am Mixnitzbach auf der Teichalm, direkt abstromig des Stausees, errichtet. Die Fig. 5 zeigt sämtliche Abflußmeßstellen am Mixnitzbach und Tyrnauerbach sowie die Eingabestelle des Tracers.

3.2.1. Trockenwetterfalllinien

3.2.1.1. Kaskadenfall

Es konnten für mehrere niederschlagsfreie Perioden Trockenwetterfalllinien konstruiert werden. Dabei wurde eine deutliche Dreiteilung festgestellt, die wie folgt interpretiert wird:

- Den steilsten Bereich der Trockenwetterfalllinie möchte ich nach W. WUNDT (1953) dem Fallwasser zuordnen. Dieser Anteil des Abflusses ist jener Anteil, der ohne größere zeitliche Verzögerung größtenteils aus dem Mixnitzbach stammt oder aus der näheren Umgebung aus großlumigen Karsthohlräumen ausfließt.
- Der mittlere Bereich der Kurve, jener des Karstwassers, trifft mit einer gewissen Verzögerung am Kaskadenfall ein und kommt zum größten Teil aus einem echten Karstwasserkörper. Die Wasserwegigkeit dürfte in diesem Bereich etwas geringer sein als im obersten Bereich. Auch die Entfernung zum Quellmund nimmt zu. Ein kleiner Teil dieses Abflußanteils dürfte der Abflußspitze des Baseflows angehören.
- Der flachste Kurventeil entspricht jenem unterirdischen Abflußanteil, der die größte Verweildauer besitzt und dessen Einzugsgebiet nicht mehr nur im Hochlantschkalk zu suchen ist. Nach WUNDT (1953) würde dies als Anteil des ungestörten Grundwassers bezeichnet werden. Dieser Terminus würde eine gesättigte Wasserzone im Karst (Karstwasserspiegel) postulieren. Dies sollte jedoch vermieden werden. Daher möchte ich diesen Teil allgemeiner als Baseflow bezeichnen. Damit sei jener Abflußanteil gemeint, der, wie bereits erwähnt, am längsten gespeichert war. Dies kann ein Einzugsgebiet außerhalb des Hochlantschkalks sein, aber auch Karstwasser aus Mikrokluft.

Die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich immer nur auf den Karstwasseranteil und den Baseflow.

Die statistische Auswertung zeigt zum einen eine deutliche Gruppenbildung der α -Werte des Karstwasseranteils, zum anderen eine weite Streuung derselben. Er schwankt zwischen 0,0467 und 0,1599. Um diese Streuung näher zu untersuchen, wurde zwischen den einzelnen Schüttungsdaten und den zugehörigen α -Werten eine lineare Korrelation durchgeführt (Tab. 3).

Aus der obigen Darstellung ist deutlich die Abhängigkeit des α -Werts des Karstwasseranteils von der Schüttung vor Beginn des Ereignisses (vor Beginn der

Tab. 3: Korrelation der α -Werte mit Schüttungsdaten. Verwendete Abkürzungen: KASKvon – Schüttung vor Beginn des Ereignisses in l/s; KASKbis – maximale Schüttung des Ereignisses in l/s; KASKdiff – Differenz von maximaler Schüttung und Schüttung vor Beginn; KASKquot – Quotient aus „diff“ und „von“; KASKk α – α -Wert des Karstwasseranteils für die jeweilige TWL; KASKb α – α -Wert des Baseflow für die jeweilige TWL.

	KASKvon	KASKbis	KASKdiff	KASKquot
KASKb α	-0,0974	0,0825	0,1046	0,3722
KASKk α	-0,7088	0,1526	0,3149	0,7812

Trockenwetterfallinie) zu erkennen. Noch etwas deutlicher ist die Beziehung zum Ausdruck „KASKquot“, der ja eine Beziehung von Karstwasserspiegel am Beginn (Schüttung am Beginn) mit der erreichten Schüttungsspitze darstellt. Dieser Zusammenhang wird noch dadurch hervorgehoben, daß zu den Werten „KASKbis“ und „KASKdiff“ eine äußerst geringe Korrelation besteht.

Durch diese Ergebnisse ist ein deutlicher Hinweis auf das Vorhandensein eines Karstwasserkörpers gegeben. Die Höhe des Karstwasserspiegels steht in deutlicher Abhängigkeit zur Größe des Auslaufkoeffizienten und damit zum nutzbaren (abfließbaren) Wasservolumen.

Es darf jedoch nicht vergessen werden, daß auch im Karst längerfristige Speichermöglichkeiten gegeben sind (Mikroklüfte) und eine zusammenhängende gesättigte Zone unter Umständen nur jene Teile des Karstwassers betrifft, die direkt in großlumigen Hohlräumen gesammelt werden.

Aus Mikroklüften kann Karstwasser nach dem Entleeren der größeren Hohlräume auch langsam nachsickern.

Im gegebenen Fall zeigen jedoch die chemischen Analysen (Verhältnis Calcium zu Magnesium), daß bei NQ-Situationen der Gehalt an Magnesium auf Kosten des Calciums zunimmt. Daher ist der Schluß zulässig, daß der Baseflow-Anteil des Kaskadenfalls ein Einzugsgebiet außerhalb des Hochlantschkalks erschließt. Ein langsames Ausfließen von Karstwasser aus Mikroklüften darf jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Daneben ist auch noch der fehlende Zusammenhang des α -Werts des Baseflows mit den jeweiligen Schüttungsdaten klar erkenntlich. Somit ist ersichtlich, daß dieser Abflußanteil weniger von Einzelereignissen direkt geprägt wird, als vielmehr durch langsame Infiltrationen (Schneeschnmelze, Landregen) ergänzt wird. Es ist daher auch anzunehmen, daß die Verweilzeiten dieses Wassers wesentlich länger sind als die des Karst- und Fallwassers.

Die α -Werte des Baseflows schwanken zwischen 0,01676 und 0,04970. Auffallend dabei ist ebenfalls die Streuung und die Häufung der Werte in der untersten Gruppe (0,0160–0,0260).

Die Korrelation mit den Schüttungsdaten brachte naturgemäß keine hohen Korrelationskoeffizienten. Die größte Gruppenanzahl bei niedrigen Werten gibt einen Hinweis auf das Vorhandensein eines Einzugsgebiets mit größerer Speicherfähigkeit als der Hochlantschkalk. Es könnte sich dabei um Gesteine der Tyrnauer Alm-Formation handeln.

Als Ausgangspunkt zur Berechnung der abflußfähigen Wassermenge dient der nach der MAILLET-Funktion errechnete Auslaufkoeffizient α . Die zu einem bestimmten Zeitpunkt (mit der Schüttung Q_0) noch abflußfähige Grundwassermenge (V_s) ergibt sich demnach aus der Formel (B. HÖLTING, 1984)

$$V_s = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Grundsätzlich kann V_s für jede beliebige Schüttung errechnet werden. Um aber auch wasserwirtschaftlich interessante Aussagen zu erhalten, wird für Q_0 ein Niedrigwasserwert verwendet; üblicherweise MoMNQT oder MoNNQ.

Bezogen auf MoMNQT ergibt sich ein V_s von 737 500 m³, bezogen auf MoMNQ 719 000 m³.

Man kann also ungefähr $7,3 \times 10^5$ m³ abflußfähige Wassermenge, bezogen auf Niedrigwasser, annehmen.

3.2.1.2. Mixnitzbach

Hier könnte nach Konstruktion der Trockenwetterfalllinien nach MAILLET ein α -Wert von 0,03424 errechnet werden. Damit ergibt sich bezogen auf MoMNQ ein Volumen von 251 000 m³, bezogen auf MoMNQT 275 000 m³; also ungefähr $2,6 \times 10^5$ m³ abflußfähige Wassermenge bezogen auf Niedrigwasser.

3.2.2. Korrelationen der Abfluß- und Niederschlagsdaten

Verwendete Abkürzungen

KASK:	Kaskadenfall,
MIXB:	Mixnitzbach,
bis:	maximale Schüttung bei einem Ereignis in l/sec,
diff:	Differenz von maximaler Schüttung und Schüttung vor Beginn des Ereignisses,
quot:	Quotient aus „diff“ und Schüttung vor Beginn des Ereignisses,
150, 200, ...:	Überschreitungsdauer der entsprechenden Schüttungsstufen in Minuten,
nb:	nicht berechenbar (zu wenig Werte),
MW:	Durchschnittswert der Spalten oder Zeilen.

Niederschlagsstationen:

Teich:	Teichalm,
Breit:	Breitenau,
Frohn:	Frohnleiten,
Fladb:	Fladnitzberg,
Tyrna:	Tyrnau,
Rechb:	Rechberg,
Hohen:	Hohenau an der Raab.
NS-Dau:	Dauer des NS der Station Teichalm,
Intens:	Intensität des NS der Station Teichalm,
NS · Zeit:	Produkt aus „NS“ und „NS-Dau“.

Durch diese Berechnungen sollten die Beeinflussung des Kaskadenfalls durch den Mixnitzbach, der Einfluß des Karstwasserspiegels auf den Schüttungsanstieg am Kaskadenfall und die Abhängigkeiten von der regionalen Verteilung der Niederschläge genauer analysiert werden. Dazu wurden die Schüttungsdaten den Originalen der Pegelblätter entnommen. Aus dem Beobachtungszeitraum konnten 33 Ereignisse verwendet werden, bei denen wenigstens an einem Pegel ein deutlicher Schüttungsanstieg erfolgte. Ausgeklammert wurde das Hochwasserereignis am 15. Juli 1987 (Schüttungsspitze am Mixnitzbach ca. 20 000 l/s), da es die Darstellbarkeit der anderen Ereignisse beeinträchtigt hätte.

Direkt abgelesen wurden aus den Pegelblättern die Schüttung vor Beginn des Ereignisses und die Schüttungsspitze. Daraus wurde die Differenz gebildet, man erhält dadurch den relativen Schüttungsanstieg. Um den möglicherweise vorhandenen Karstwasserspiegel am Kaskadenfall in die Berechnungen miteinbeziehen zu können, wurde ebenfalls für jedes Ereignis ein Quotient aus dem relativen Anstieg und der Schüttung vor Beginn des Ereignisses gebildet.

$$\frac{\text{KASK}_{\text{bis}} - \text{KASK}_{\text{von}}}{\text{KASK}_{\text{von}}} = \text{KASK}_{\text{quot}}$$

Bei den Niederschlagsdaten der Station Teichalm handelte es sich um Aufzeichnungen eines automatischen Regensammlers. Daher konnten von dieser Station auch Werte über Intensität und Dauer eines Niederschlagsereignisses zu den Berechnungen herangezogen werden. Von den anderen Stationen lagen nur Tagessummen des Niederschlags vor. Die Station Tyrnau lieferte Niederschlagsdaten zu 14 Ereignissen. Dies muß bei der Interpretation der Korrelationen berücksichtigt werden.

Die so gewonnenen Daten wurden nun mit Hilfe linearer Korrelationen miteinander verglichen.

3.2.2.1. Korrelation der Schüttungsdaten mit den Daten der Niederschlagsstationen

Diese Ergebnisse sind in Tab. 4 dargestellt. Die höchsten Korrelationen wurden mit der Station Teichalm gefunden. Dabei ist auffallend, daß der Kaskadenfall besser korreliert als der Mixnitzbach. Die Station Teichalm liegt für aus NW kommende Niederschläge im Lee von Hochlantsch und Zachenspitz, hingegen sind Teile des Einzugsgebiets des Mixnitzbachs (Saugraben) diesen Niederschlägen sehr wohl ausgesetzt. Trotz der räumlichen Nähe von Pegel und Niederschlagsstation ist diese nur bedingt für das Einzugsgebiet bis zum Pegel repräsentativ. Ferner ist die stark unterschiedliche Verteilung von Gewitterniederschlägen zu berücksichtigen. Für den Kaskadenfall zeigt sich, daß der Karstwasserspiegel (ausgedrückt durch die Zeile „KASKquot“) keinen Einfluß auf den Schüttungsanstieg hat, da „KASKdiff“ ähnlich korreliert.

Tab. 4: Korrelation der Schüttungsdaten mit den Niederschlagsstationen.

	Teich	Breit	Frohn	Fladb	Tyrna	Rechb	Hohen
KASKbis	0,6397	0,4490	0,6334	0,5169	0,4689	0,2955	0,4767
MIXBbis	0,5388	0,1217	0,4940	0,4428	0,6471	0,2865	0,3841
KASKdiff	0,7685	0,5876	0,7260	0,5860	0,5329	0,4019	0,5147
MIXBdiff	0,5449	0,1350	0,5009	0,4541	0,6316	0,3085	0,3892
KASKquot	0,7645	0,6233	0,6639	0,5906	0,5790	0,4356	0,5025
MIXBquot	0,6888	0,3106	0,5689	0,5422	0,5563	0,3757	0,4443

Anders verhält sich die Situation mit Niederschlägen aus dem N-Stau (Station Breitenau). Die Beeinflussung des Mixnitzbachs auf der Teichalm ist äußerst gering (niedrige Korrelationskoeffizienten); hingegen zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit des Kaskadenfalls von diesen Niederschlägen. Dabei wirkt sich anscheinend auch der Karstwasserspiegel zu Beginn des Schüttungsanstiegs geringfügig aus – erkenntlich an dem etwas höheren Koeffizienten für „KASKquot“. Der Kaskadenfall muß also auch ein Einzugsgebiet besitzen, das N-Stau-Niederschläge empfangen kann und verkarstet ist. Am naheliegendsten wäre der N-Abfall der Roten Wand. Es kommen aber auch die N-Hänge des Hochlantsch und der Lantschmauern in Betracht. Als Indiz für die mögliche unterirdische Querung des Mixnitzbachs durch Karstwässer sei das Ochsenbodenloch angeführt, das sich 800 m westlich Kote 1153 befindet und in ca. 80 m Tiefe von der orographisch rechten Seite den Mixnitzbach quert. Laut Auskunft von Höhlenforschern ist es in der Regel nicht wasserführend. Es wären also auch (temporär) wasserführende Karstschläuche denkbar.

Zu bedenken ist allerdings die bereits oben erwähnte Leelage des Pegels bei NW-Stau. Sie trifft jedoch nicht nur für den Pegelstandort, sondern auch für den weiteren Verlauf des Mixnitzbachs, wenigstens bis in den Bereich Burgstall, zu. Somit ist anzunehmen, daß die Wasserführung des Mixnitzbachs durch derartige Niederschläge im genannten Bereich nicht wesentlich beeinflusst wird und die feststellbare Korrelation des Kaskadenfalls mit der Station Breitenau nicht über den Umweg der Wasserführung des Mixnitzbachs erfolgt.

Die Korrelationen mit der Station Frohnleiten weisen zum einen für den Kaskadenfall auf ein Einzugsgebiet mit ähnlicher Exposition wie Frohnleiten (offen für W-Niederschläge) hin, zum anderen zeigt sich deutlich die Unabhängigkeit vom ursprünglichen Karstwasserspiegel durch einen niedrigeren Koeffizienten für „KASKquot“. In Verbindung mit den Korrelationen der Station Fladnitzberg könnte man sich ein nicht verkarstetes Einzugsgebiet im Bereich Tyrnauergraben–Rote Wand vorstellen. Dies würde auch den bisherigen Korrelationen entsprechen. Unterstützt wird diese Theorie noch durch die Daten zur Wasserführung des Tyrnauerbachs (Versickerungsbereiche) sowie durch die Ergebnisse der Quellaufnahme (nördliche Talflanke des Tyrnauerbachs nur eine größere Quelle). Entgegenzuhalten ist dem jedoch die Untersuchung der Sättigungsindizes am Kaskadenfall, die keine Hinweise auf Veränderung des Einzugsgebiets in Richtung nicht verkarsteter Gebiete lieferte. Bei den chemischen Untersuchungen liefert jedoch die Betrachtung des Calcium/Magnesium-Verhältnisses deutliche Hinweise auf Änderungen im Einzugsgebiet in Richtung Tyrnauer Alm-Formation (Dolomit).

Die Korrelationen des Kaskadenfalls mit den Stationen Fladnitzberg und Tyrnau weisen gewisse Parallelen auf. Man darf aber nicht vergessen, daß von der Station Tyrnau nur 14 Ereignisse zur Verfügung standen. Beide Stationen weisen für „KASKquot“ etwas höhere Beziehungen auf als für „KASKdiff“. Dies könnte, ebenso wie bei der Station Breitenau, ein Hinweis auf das Vorhandensein eines Karstwasserkörpers sein, da Niederschläge aus der Richtung beider Stationen die Rote Wand überwinden müssen (Stauniederschläge). Die höheren Anteile der Roten Wand bestehen aus Hochlantschkalk. Höhlenbildungen sind vor allem vom Röthelstein, aber auch im Bereich Bucheben bekannt. Warum die Korrelationsfaktoren für den Mixnitzbach bei den beiden Stationen so unterschiedlich sind, kann nicht eindeutig geklärt werden. Möglicherweise sind sie nur eine Funktion der Entfernung, wie sich das auch bei den Stationen Rechberg und Hohenau gegenüber den anderen Stationen zeigt. Die etwas höheren Koeffizienten für den Kaskadenfall weisen jedoch ebenfalls auf ein Einzugsgebiet hin, das für Niederschläge aus SE bis SW offen ist.

3.2.2.2. Korrelation der Schüttungsdaten mit den Daten der Station Teichalm

Ausgangssituation ist die bereits oben erwähnte etwas bessere Korrelation des Kaskadenfalls mit den Niederschlägen der Station Teichalm. Des weiteren ist die fehlende Korrelation des Mixnitzbachs mit der Dauer, der Intensität und dem Produkt aus Niederschlagsmenge und Dauer des Niederschlags auffallend (siehe Tab. 5). Dies stellt für ein Oberflächengewässer keine Besonderheit dar, da für die Berechnungen einziger oberirdischer Abfluß unmittelbar nach dem Niederschlag herangezogen wurde.

Die weiteren Betrachtungen beziehen sich deshalb nur mehr auf den Kaskadenfall.

Für die Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge zeigt sich, daß die beste Korrelation mit dem relativen Anstieg der Schüttung erfolgt. Die erreichte Schüttungsspitze zeigt eine geringere Abhängigkeit. Dies weist darauf hin, daß die zur

Tab. 5: Korrelation der Schüttungsdaten mit den Niederschlägen der Station Teichalm.

	Station Teichalm			
	NS	NS-Dau	Intens	NS · Zeit
KASKbis	0,6397	0,5305	-0,0925	0,6515
KASKdiff	0,7685	0,3461	-0,0530	0,6102
KASKquot	0,7645	0,1657	-0,0273	0,4450
MIXBbis	0,5388	-0,0190	0,0535	0,1918
MIXBdiff	0,5449	-0,0640	0,0584	0,1645
MIXBquot	0,6888	-0,1597	0,1066	0,1311

Verfügung stehende Niederschlagsmenge ohne größere Zwischenspeicherung am Abfluß teilnimmt. Der hohe Korrelationskoeffizient für „KASKquot“ ist noch kein eindeutiger Beweis für den Einfluß eines Karstwasserspiegels, dazu müßte er deutlich höher liegen als der für „KASKdiff“.

Die Intensität des Niederschlags zeigt keinerlei Abhängigkeiten mit den Schüttungsdaten. Interessant sind aber die Korrelationen der Spalte „NS · Zeit“, da sie zum einen die Unterschiede im Abflußverhalten von Quellen und Oberflächen-gewässern deutlich zeigen und zum anderen darauf hinweisen, daß der Karstwasserspiegel keinen besonderen Einfluß auf das Abflußverhalten nach Niederschlägen besitzt. Die ähnlichen Koeffizienten für „KASKbis“ und „KASKdiff“ sowie ein niedrigerer Wert für „KASKquot“ zeigen, daß nicht so sehr der Karstwasserspiegel vor Beginn des Ereignisses, als viel mehr die erreichte Schüttungsspitze für höhere Korrelationen ausschlaggebend ist.

Außerdem zeigt sich hier, daß der Wert Niederschlagsmenge mal Dauer des Niederschlags ein sicherlich besseres Maß für die für den Abfluß zur Verfügung stehende Niederschlagsmenge ist, als die anderen Werte. Nicht die Intensität eines Niederschlagsereignisses spielt eine wesentliche Rolle, sondern die zeitliche Verteilung der Niederschlagsmenge.

3.2.2.3. Korrelation der Schüttungsdaten Kaskadenfall und Mixnitzbach

Der relativ hohe Korrelationskoeffizient für die beiden Datenpaarreihen „...von“ in Tab. 6 spiegelt nur die Situation vor Beginn eines Ereignisses wider und hat für die hier angestellten Betrachtungen keine größere Bedeutung.

Tab. 6: Korrelation der Schüttungsdaten Kaskadenfall und Mixnitzbach.

	KASKvon	KASKbis	KASKdiff	KASKquot
MIXBvon	0,7774	0,4556	0,0794	-0,2276
MIXBbis	-0,1134	0,3806	0,4826	0,3285
MIXBdiff	-0,1977	0,3324	0,4753	0,3539
MIXBquot	-0,3308	0,3237	0,5383	0,6538

Das wesentlichste dieser Tabelle scheint die Tatsache zu sein, daß zwar ein Zusammenhang zwischen Mixnitzbach und Kaskadenfall besteht (ausgedrückt durch Koeffizienten zwischen 0,32 und 0,54), dieser aber entweder wirklich so gering ist, oder aber von anderen Faktoren wesentlich mitbeeinflusst wird. Die oben erwähnten Korrelationen mit den Niederschlagsstationen, die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen und nicht zuletzt der weiter unten behandelte Markierungsversuch

weisen darauf hin, daß ein direkter Zusammenhang besteht, dieser aber vielfältigen Einflüssen unterliegt.

Ein hoher Anstieg am Mixnitzbach muß nicht unbedingt einen entsprechend hohen Anstieg am Kaskadenfall verursachen. Umgekehrt ist ein hoher Anstieg des Kaskadenfalls nicht unbedingt auf eine hohe Schüttungsspitze des Mixnitzbachs zurückzuführen. Im ersten Fall kann anscheinend nicht immer derselbe Anteil des Abflusses im Bach in den Untergrund gelangen, im zweiten Fall ist auf Einzugsgebiete des Kaskadenfalls zu verweisen, die außerhalb des Mixnitzbachs liegen (siehe oben).

3.2.2.4. Korrelation der Schüttungsstufen von Kaskadenfall und Mixnitzbach

Die zur Berechnung herangezogenen Daten bezeichnen die Dauer (in Minuten), in der die jeweilige Schüttungsstufe (in l/s) überschritten wurde.

Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Datenpunkte für die einzelnen Schüttungsstufen ist unterschiedlich. Dies liegt daran, daß nicht vor Beginn jedes Ereignisses ein Rückgang der Schüttung unter 150 l/s eintrat. Aus diesem Grund wird bei den folgenden Analysen weniger auf die Korrelation der Schüttungsstufen untereinander Bezug genommen, als vielmehr auf die Durchschnittswerte des Kaskadenfalls gegenüber den einzelnen Schüttungsstufen am Mixnitzbach. Die einzelnen Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Korrelation der Schüttungsstufen Kaskadenfall und Mixnitzbach.

		Kaskadenfall					
		150	200	250	300	500	MW
M	150	0,7453	0,6912	0,8319	0,6449	0,7076	0,7242
	200	0,5988	0,8391	0,8297	0,6505	0,6430	0,7122
I	250	0,5729	0,8396	0,7566	0,7780	0,8119	0,7518
X	300	0,5882	0,7983	0,6885	0,7244	0,7833	0,7165
B	500	0,6112	0,4586	0,5634	0,5925	0,6501	0,5752

Dabei läßt sich allerdings eine eindeutige Aussage treffen: die durchschnittlichen Korrelationen liegen bis zur 300 Liter-Schüttungsstufe am Mixnitzbach zwischen 0,71 und 0,75; bei 500 Liter ist ein deutliches Absinken des Koeffizienten auf 0,575 zu beobachten. Daraus läßt sich folgendes ableiten: Bis zu einer Schüttung von ca. 300 l/s am Mixnitzbach besteht ein annähernd lineares Verhältnis zwischen Schüttung (Wasserstand) und Versickerung in den Untergrund, die dem Kaskadenfall zugute kommt. Über diesem Wasserstand scheinen die Versickerungsmöglichkeiten (Spalten, Klüfte, Störungen) nicht weiter zuzunehmen. Dadurch kommt es zum Absinken der Korrelation. In welcher Größenordnung diese Versickerungen liegen können, wird weiter unten noch näher behandelt.

3.2.2.5. Korrelation der Schüttungsstufen mit den Daten der Niederschlagsstationen

Auf Grund der bereits im vorherigen Kapitel erwähnten unterschiedlichen und teilweise geringen Anzahl der Datenpunkte lassen sich bei diesen Korrelationen keine fundierten Aussagen über Zusammenhänge zwischen der Verteilung der NS-Mengen und dem Überschreiten einzelner Schüttungsstufen treffen.

Es soll aber darauf hingewiesen werden, daß zum Beispiel für die Station Breitenau bessere Korrelationen erst für die höheren Schüttungsstufen erreicht wer-

den. Ob dies mit der Wasserwegigkeit des Kalkstocks oder mit dem Übergreifen intensiverer N-Stau-Niederschläge zu tun hat, läßt sich hieraus jedoch nicht ableiten.

Bei der Station Teichalm ist die hohe Korrelation mit der Stufe 150 l/s für den Kaskadenfall bemerkenswert (vergleiche Tab. 8). Dies würde sich mit den Ergebnissen der Abflußmessungen, die noch genauer abgehandelt werden, decken. Bei Niedrigwasser wurden im Mixnitzbach maximale Versickerungsmengen von 50–80 l/s festgestellt.

Tab. 8: Korrelation der Schüttungsstufen mit den Niederschlagsstationen.

	Mixnitzbach					Kaskadenfall				
	150	200	250	300	500	150	200	250	300	500
Teich	0,4200	0,4047	0,5036	0,4971	0,5645	0,7097	0,4816	0,6253	0,5464	0,5472
Breit	0,2167	0,0002	0,3850	0,4494	0,5521	0,1440	0,0927	0,4021	0,4667	0,4620
Frohn	0,4927	0,5465	0,6676	0,6434	0,6363	0,7592	0,6205	0,6855	0,3095	0,5614
Fladb	0,5329	0,3930	0,5352	0,4965	0,5230	0,5721	0,4526	0,5120	0,4416	0,5019
Tyrna	0,2069	0,9026	0,2121	0,0232	-0,1264	nb	0,8026	0,4162	0,4307	0,2088
Rechb	0,1110	0,2869	0,4917	0,4835	0,5007	-0,2994	0,1682	0,3578	0,2987	0,3296
Hohen	0,4719	0,2680	0,4861	0,4894	0,5491	0,6865	0,3112	0,4660	0,4196	0,4898

3.2.2.6. Kritik und Zusammenfassung

Die lineare Korrelation ist eine Methode zur Feststellung der Beziehungen zwischen zwei Datenpaarreihen. Diese werden isoliert von der Gesamtsituation und von möglichen anderen Einflußgrößen nach einem mathematischen Modell analysiert. Eine gleichzeitige Analyse mehrerer Datenreihen (hierarchisch: multiple Regression; Gruppen: Cluster-Analyse) wäre anzustreben. Dies konnte jedoch auf Grund der zu geringen Anzahl der Ereignisse im 18monatigen Beobachtungszeitraum nicht sinnvoll angewandt werden.

Eine für die Tagesmittel der Abflüsse am Mixnitzbach und Kaskadenfall durchgeführte Kreuzkorrelation (mit vorheriger Periodizitäts- und Trendbereinigung) brachte nur das bereits bekannte Ergebnis der Reaktion des Kaskadenfalls innerhalb eines Tages. Auf Grund der zu geringen Auflösung der Pegelblätter (Tageslänge 12 mm) konnten keine genaueren Analysen durchgeführt werden.

Die vorgestellten Ergebnisse dürfen also auf keinen Fall isoliert betrachtet werden und bedürfen außerdem noch der Kontrolle durch andere Methoden. Erst die Zusammenschau aller Ergebnisse, insbesondere die der direkten hydrologischen Methoden in Verbindung mit chemischen Untersuchungen und Isotopenanalysen erlauben fundierte Aussagen. Das Heranziehen mathematischer Modelle kann jedoch, wie gezeigt wurde, erste wertvolle Hinweise bringen.

In diesem Sinne kann folgendes zusammengefaßt werden:

- Es besteht eine direkte Abhängigkeit des Kaskadenfalls vom Mixnitzbach, die jedoch von anderen Faktoren (Niederschlag und seine Verteilung, Vegetationsphasen, usw.) stark beeinflusst wird. Diese beeinflussenden Parameter können nur schwer in ein mathematisches Modell integriert werden.
- Der Kaskadenfall verfügt neben dem Einzugsgebiet, das sich mit dem Mixnitzbach (bis zur Kassahütte) deckt, über andere Einzugsgebiete, die zum Teil verkarstet sind und vor allem N-Stau-Niederschläge erfassen.

- Ein wirklich eindeutiger Hinweis auf einen Karstwasserkörper respektive Auswirkungen des Karstwasserspiegels auf den Schüttungsverlauf am Kaskadenfall nach einem Ereignis konnte mit dieser Methode nicht gefunden werden; wohl aber Hinweise auf einen solchen, speziell bei den Korrelationen mit jenen Stationen, bei denen Niederschläge über die Rote Wand oder den Hochlantsch ziehen. Da aber das Einzugsgebiet des Kaskadenfalls nicht ausschließlich im Hochlantschkalk liegt, sondern auch in der Tyrnauer Alm-Formation, sind auch völlig unterschiedliche hydraulische Verhältnisse gegeben. Dies kann unter Umständen auch zum „Verdecken“ des Karstwasserspiegels bei der hier angewandten Methode führen. Im Kapitel 3.2.1.1. konnte ja gezeigt werden, daß für einen Teil des Abflusses eine eindeutige Beziehung zum Karstwasserspiegel besteht.
- Die Alimentierung des Mixnitzbachs an den Kaskadenfall ist bei jeder Wasserführung gegeben, scheint jedoch deutliche Obergrenzen zu besitzen.
- Die Auswirkungen einer Hochwasserwelle im Mixnitzbach (auf der Teichalm) auf den Kaskadenfall zeigen sich immer innerhalb von 24 Stunden. Diese Zeitspanne schwankt mit der Wasserführung. Das Auftreten einer Hochwasserwelle am Mixnitzbach/Klammausgang kann teilweise schon nach sechs Stunden am Kaskadenfall beobachtet werden.
- Der Kaskadenfall reagiert auf die Herkunft der Niederschläge unterschiedlich. So zeigte sich, daß z.B. Niederschläge vom S (aus Richtung Fladnitzberg, Tyrnau), die auf der Teichalm nur mehr geringe Niederschlagsmengen lieferten, am Kaskadenfall einen sehr langsamen Schüttungsanstieg bewirken.

3.2.3. Die Alimentierung des Kaskadenfalls durch den Mixnitzbach

Die Wasserverluste des Mixnitzbachs zwischen Teichalm und Klammausgang/Kassahütte sind schon lange bekannt. Ziel der weiteren Untersuchungen war festzustellen, wo, wieviel und wohin das Wasser des Mixnitzbachs versickert.

In einem ersten Schritt sollten bei verschiedenen NQ-Situationen die Verlustmengen quantifiziert werden und Versickerungsbereiche und -stellen auch topographisch festgelegt werden. Diese Vorgangsweise schien nur für Niedrigwasser zielführend, da zum einen bei Hochwasser die Fehler der Messungen zu groß wären (vor allem wenn die Verlustmengen relativ klein sind) und zum anderen weite Strecken der Hinterklamm nicht begehbar sind.

Für Hochwasser sollte über Ereignisbeobachtung ein Zusammenhang zwischen Mixnitzbach und Kaskadenfall festgestellt werden. Durch einen glücklichen Zufall konnte eine „künstliche“ Hochwasserwelle im Mixnitzbach beobachtet und beprobt werden. Dieses Hochwasser entstand durch das Absenken des Badesees auf der Teichalm im Zuge des Brückenneubaus der Landesstraße Nr. 320 (Teichalmstraße).

Auf Grund der topographischen Verhältnisse bot sich für das gesamte Arbeitsgebiet die Abflußmessung mittels Tracerverdünnung an. Einzig im Bereich der Regulierung des Mixnitzbachs in Mixnitz wurde eine Schlüsselkurve teilweise durch Flügelmessungen erstellt. Diese konnte allerdings, nachdem festgestellt wurde, daß oberstromig keine Wasserverluste auftreten, durch die Salzmischmethode kontrolliert werden. Weitere Abflußmessungen mit dem hydrometrischen Flügel wurden auf Grund des geringen Gefälles und den damit verbundenen laminaren Strömungsverhältnissen am Mixnitzbach östlich des Badesees auf der Teichalm durchgeführt.

Schwachstelle dieser Meßmethode ist die unbedingt erforderliche vollständige laterale Durchmischung. Um die heute teilweise durchgeführten Vorversuche mit-

tels Farbtracer zu vermeiden, wäre die Einführung einer Zweipunktmessung zu erwägen. Mit zwei Leitfähigkeitssonden, die an unterschiedlichen Positionen des Gerinneprofils situiert werden, könnte gleichzeitig ein Tracerdurchgang gemessen und die laterale Durchmischung im Gerinne kontrolliert werden. Ist die Abweichung der Meßergebnisse der beiden Sonden größer als eine vorher festgelegte Fehler-toleranz, müßte die Messung mit veränderter Durchmischungsstrecke wiederholt werden.

3.2.3.1. Die Wasserführung des Mixnitzbachs

Im Bereich Schwoabauerkreuz–Pegel Teichalm wurden an 11 Meßpunkten Ab-flußmessungen, teilweise mit dem Flügel, durchgeführt.

Die Situation kann folgendermaßen beschrieben werden:

- Es konnten keine Wasserverluste festgestellt werden. Im Bereich Schwoabauerkreuz–Osser sollten jedoch bei NNQ-Kontrollmessungen vorzugsweise mit einem Kleinflügel durchgeführt werden.
- Die Wasserführung des Mixnitzbachs nimmt westlich des Ossers kontinuierlich zu.
- Ein Teil dieser Zunahme geht auf das Konto von Zubringern und Quellen (bei NQ etwa 15 l/s), ein anderer Teil erfolgt ohne sichtbare Austritte direkt ins Bachbett (bei NQ etwa 20 l/s).
- Der Badesee selbst ist dicht. Während der Absenkung des Seespiegels um 2 m konnten im südöstlichen Uferbereich Spuren kleiner Austritte, die 0,5 m unter dem normalen Seespiegel liegen, beobachtet werden. Sie waren jedoch zu dieser Zeit (November 1987) nicht aktiv.
- Die Dichtheit des Sees ist nur durch die Bedeckung des Anstehenden mit Lehmen gegeben.

Im Abschnitt Pegel Teichalm–Mixnitz wurden an 18 Meßstellen (Fig. 5) bei mehreren Meßstouren Abflußmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Abflußmessungen zeigt Fig. 6. Dabei konnte folgendes festgestellt werden (Angabe der Entfernungen ab Pegel Teichalm):

- Die Versickerung beginnt bei km 1,275 (alte E-Brücke). Dies ist jener Bereich, wo sich der Durchbruch des Mixnitzbachs weitet und die Talfüllungen im Bereich Zechnerhube beginnen.
- Bis km 3,075 (Brücke 1123 m) scheint die Versickerung kontinuierlich stattzufinden (auf Grund des geringen Gefälles waren nur wenige Meßpunkte möglich).
- Im Bereich der Hinterklamm (Brücke 1123 m bis Klammausstieg beim Guten Hirten; km 4,5) ist der Wasserverlust nicht mehr gleichmäßig. Es wechseln Verluststrecken mit solchen konstanter Wasserführung ab. Die Ursache dürfte die im Gegensatz zum Bereich Zechnerhube geringe Geschiebeauffüllung über dem Anstehenden sein.
- In der Klamm kommt es zu weiteren Wasserverlusten. Diese konnten jedoch nicht genau lokalisiert werden, da mit der vorhandenen Ausrüstung (kurzes Kabel beim LF-Gerät) nur an einer Stelle (Diensthütte; km 5,0245) gemessen werden konnte. Eine Quantifizierung der Verluste durch Verdunstung und Sprühnebel konnte daher ebenfalls nicht durchgeführt werden.
- Der Punkt mit der in der Regel niedrigsten Wasserführung liegt bei km 5,4 (hinter Kassahütte). Bereits 75 m abstromig (Kassahütte) sind erste Zutritte festzustellen. Dort liegt auch der einzige sichtbare Quellaustritt an der orographisch

linken Seite des Mixnitzbachs, 0,5 m über Gerinnesohle. Leitfähigkeit und Temperatur entsprechen in etwa dem Kaskadenfall; die Schüttung beträgt maximal 0,4 l/s.

- Ab Kassahütte kommt es bis zur Einmündung des Kaskadenfalls zu Schüttungszunahmen, die bei MQ maximal 35 l/s erreichen.
- Die Höhe der Zuflußmenge dürfte auch von der Schüttung am Kaskadenfall (Karstwasserspiegel) abhängig sein. So betrug das Tagesmittel der Schüttung des Kaskadenfalls am 4. März 1988 311 l/s; die Schüttung des Mixnitzbachs ging bis auf 1,9 l/s zurück. Am 28. März 1988 schüttete der Kaskadenfall nur 172 l/s, der Mixnitzbach fiel im Bereich Burgstall auf etwa 200 m trocken. Bei höheren Abflußmengen im Mixnitzbach konnte diese Korrelation jedoch nicht mehr festgestellt werden.

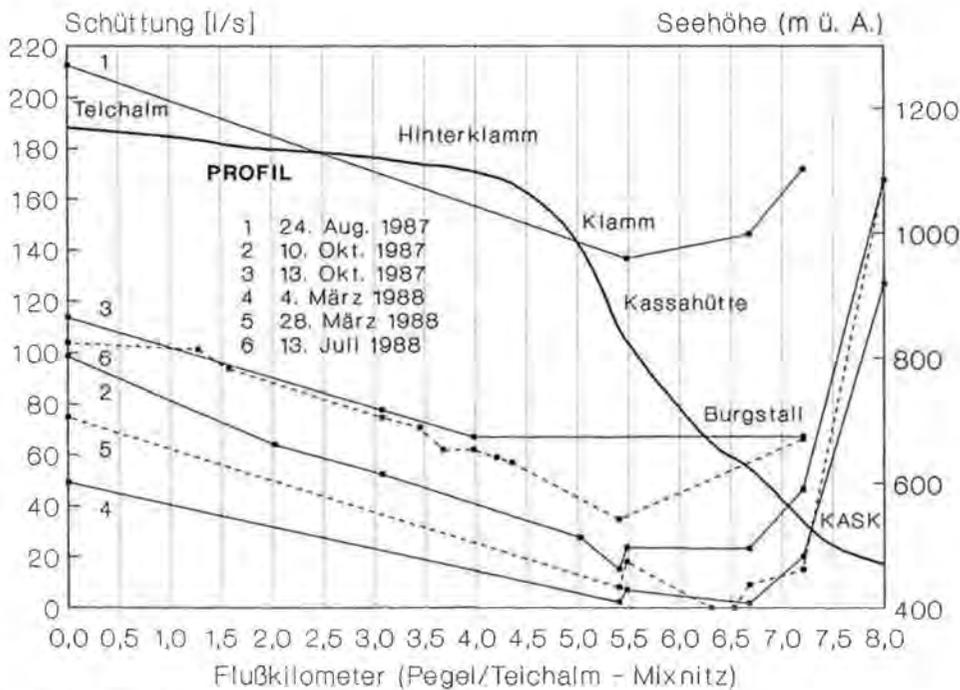


Fig. 6: Wasserführung des Mixnitzbachs.

- Messungen der Leitfähigkeit und Temperatur im Mixnitzbach zeigten mit steigendem Zufluß eine Annäherung beider Parameter an die Werte des Kaskadenfalls. Auch dies bestätigte sich bei weiteren Messungen und chemischen Untersuchungen. Sichtbare Austritte (Klüfte, Spalten) konnten nicht festgestellt werden.
- Die Verlustmengen im gesamten Bereich überschreiten auch bei erhöhtem MQ nicht die 90 l Marke und liegen damit ähnlich wie bei NQ. Das heißt, die Klüftigkeit des Gesteins dürfte diese Obergrenzen festlegen; wenigstens bis zu Schüttungen von etwa 250 l/s im Mixnitzbach. Bei erhöhter Wasserführung des Mixnitzbachs liegen die Verhältnisse anders (siehe weiter unten).

3.2.3.2. Schüttungsanstieg am Kaskadenfall durch Teichabsenkung

Der Zeitpunkt der Teichabsenkung konnte von mir leider nicht beeinflusst werden, lag aber dennoch, die Niederschläge betreffend, relativ günstig. Das letzte größere Niederschlagsereignis brachte am 26. Oktober 1987 9 mm, am 28. Oktober fielen 1,4 mm und am 1. November 2,4 mm bei der Station Teichalm. An den anderen Tagen des Beobachtungszeitraums war kein Niederschlag zu verzeichnen oder er blieb unter 1 mm. Diese Situation brachte auf Grund der bisherigen Beobachtungen die Sicherheit, daß jeder Schüttungsanstieg am Kaskadenfall während dieser Zeit auf die „künstliche“ Hochwasserwelle im Mixnitzbach zurückzuführen ist. Die Schüttungsverhältnisse lagen vor allem für den Kaskadenfall nicht besonders günstig. Der Schüttungsanstieg nach dem Niederschlag am 26. Oktober war noch im Abklingen, TMQ betrug noch 346 l/s. Der zeitliche Verlauf der Schüttungen und Leitfähigkeit sind in Fig. 7 dargestellt.

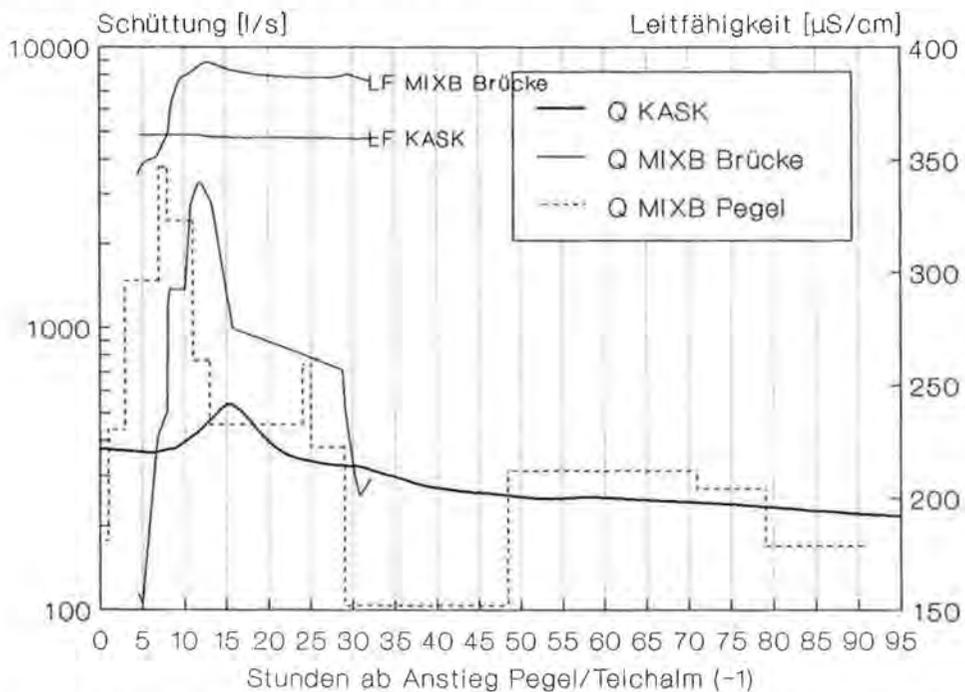


Fig. 7: Schüttungsanstieg am Kaskadenfall und Mixnitzbach durch Teichabsenkung sowie Gang der Leitfähigkeit.

Auf der Teichalm wurde die Schleuse am 28. Oktober um 6.00 Uhr zuerst soweit geöffnet, daß die Schüttung auf 439 l/s anstieg. Von 8.00 bis 12.00 Uhr betrug die Schüttung 1472 l/s. Die Spitze wurde zwischen 12.00 und 13.00 Uhr erreicht und lag bei 3752 l/s. Im Verlauf des Tages wurde die Schüttung in mehreren Stufen reduziert. Die Absenkung war am 30. Oktober beendet, der Schleusenbetrieb wurde bis zur Beendigung der Bauarbeiten am 28. November 1987 weitergeführt.

Der Anstieg am Mixnitzbach/Brücke 1 begann fünf Stunden und 40 Minuten nach dem ersten Öffnen der Schleuse. Durch die erhöhte Fließgeschwindigkeit im

Mixnitzbach sank die Durchlaufzeit, wie auch im Diagramm ersichtlich, deutlich ab. Bei der Schüttungsstufe 3752 l/s (Teichalm) lag der Zeitunterschied nur mehr bei zwei Stunden und 50 Minuten.

Die höchste Schüttung lag bei 3287 l/s und damit um 465 l/s niedriger als auf der Teichalm. Abgesehen von kleineren Ungenauigkeiten der Schlüsselkurve bei Brücke 1 ist der Unterschied zum einen auf die Alimentierung des Kaskadenfalls zurückzuführen, zum anderen auf die Verflachung der Hochwasserwelle auf der 7,2 km langen Fließstrecke.

Am Kaskadenfall konnte das erste Ansteigen um 13.10 Uhr (sieben Stunden und 10 Minuten) nach dem Öffnen der Schleuse beobachtet werden. Die Schüttungsspitze wurde um 20.00 Uhr (14 Stunden nach dem Öffnen, bzw. sechs Stunden und 50 Minuten nach dem ersten Ansteigen) mit 532 l/s erreicht. Der relative Anstieg betrug damit 170 l/s. Dieser Anstieg kann als eindeutiger Beweis der Alimentierung des Kaskadenfalls durch den Mixnitzbach bei HQ angesehen werden.

Die Änderungen der Leitfähigkeiten am Mixnitzbach/Brücke 1 zeigen den bereits bekannten Verlauf, jedoch ohne einem deutlichen Absinken der Leitfähigkeit nach der Schüttungsspitze. Da aber keinerlei Verdünnung durch Niederschläge stattfand, ist dies nicht verwunderlich. Das leichte Absinken muß auf die Infiltrationen von Karstwasser in den Mixnitzbach (Bereich Kassahütte–Burgstall) zurückgeführt werden.

Am Kaskadenfall kam es bis zum 2. November zu keinen wesentlichen Veränderungen der Leitfähigkeit, sie lag immer bei $360 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}/25^\circ \text{C}$ (± 1). Erst am 3. November setzte ein leichter Anstieg ein ($366 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}/25^\circ \text{C}$), der sich, dem jahreszeitlichen Verlauf entsprechend, weiter fortsetzte. Daher mußte auch auf die Berechnung des Wasservolumens verzichtet werden. Die Berechnung dieses Volumens auf Grund korrelierter Schüttungsspitzen während des gesamten Beobachtungszeitraums brachte keine aussagekräftigen Ergebnisse.

Durch die Teichabsenkung und die damit verbundene Hochwasserwelle konnte der eindeutige Beweis der Alimentierung des Kaskadenfalls durch den Mixnitzbach bei Hochwasserereignissen erbracht werden. Der Anstieg am Kaskadenfall betrug 170 l/s.

3.3. Isotopenmessungen

Durch die Messungen des stabilen Sauerstoffisotops ^{18}O sollten Aussagen über die mittlere Höhe von Einzugsgebieten und verschiedenartige hydraulische Mechanismen der Karstentwässerung, im speziellen der Alimentierung des Mixnitzbachs an den Kaskadenfall, ermöglicht werden.

Als Beprobungspunkte wurden der Kaskadenfall sowie der Mixnitzbach oberstromig der Einmündung des Kaskadenfalls, beim Pegel Teichalm und vor der Einmündung in den Stausee auf der Teichalm gewählt.

Während der Dauerbeobachtung wurden 14tägig vom 25. April bis 27. Oktober 1988 Proben gezogen. Des weiteren wurden zwei Einzelereignisse beprobt.

3.3.1. Beprobung von Einzelereignissen

Vom 6. bis 9. September 1987 wurde der Schüttungsanstieg am Kaskadenfall und am Mixnitzbach/Klammausgang-Brücke nach einem Gewitterereignis beprobt. Die Ergebnisse sind in Fig. 8 dargestellt.

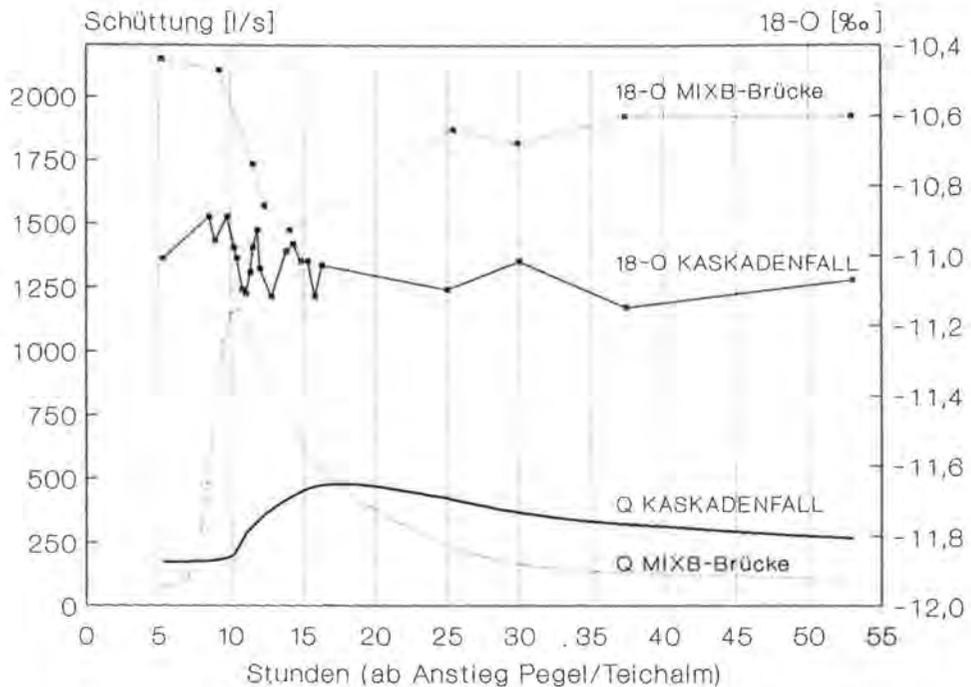


Fig. 8: $\delta^{18}\text{O}$ und Schüttung Kaskadenfall und Mixnitzbach, 6. bis 9. September 1987.

Am Mixnitzbach oberstromig der Einmündung des Kaskadenfalls konnte mit dem Erreichen der Schüttungsspitze ein deutliches Absinken des ^{18}O -Gehalts beobachtet werden. Es wird hier also leichteres Wasser ausgedrückt. Das Minimum wird noch im abfallenden Teil der Schüttungskurve bei 714 l/s, das ist sieben Stunden nach Beginn des Schüttungsanstiegs, erreicht. Dann verringert sich der Anteil des leichteren Wassers rasch wieder, um sich in den nächsten Tagen bei einem höheren Wert einzupendeln, doch wird der Gehalt an ^{18}O -Isotopen vor Schüttungsanstieg nicht mehr erreicht.

Der Anteil des leichteren Wassers kann nicht von jenen Niederschlägen stammen, die den Schüttungsanstieg ursächlich auslösten, da diese wesentlich schwerer waren (siehe Tab. 9). Dieses leichtere Wasser muß von leichteren Niederschlägen stammen.

Tab. 9: $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Niederschläge am 6. September 1987.

Station	Seehöhe [m]	NS-Menge [mm]	$\delta^{18}\text{O}$ Niederschlag $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$
Teichalm	1170	26,6	-9,62
Fladnitzberg	1070	28,6	-8,03
Tyrnau	600	20,2	-8,81
Frohnleiten	440	18,0	ng

Auf Grund der gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte dieser Niederschläge können tieferliegende Einzugsgebiete in diesem Fall nicht beteiligt gewesen sein. Die hier aus-

gedrückten Wassermengen müssen also von generell leichteren Niederschlägen stammen.

Der Gang der Leitfähigkeit am Mixnitzbach während des Schüttungsanstiegs zeigt eine sehr gute negative Korrelation zum Isotopengang. Während die Leitfähigkeit um maximal $60 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}/25^\circ \text{C}$ stieg, sank der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert deutlich ab. Dies muß, ebenso wie die Isotopendaten, als Hinweis auf eine längere Verweilzeit dieses Wasseranteils gewertet werden.

Generell ist bei Niederschlägen das Minimum des ^{18}O -Gehalts während der kalten Jahreszeit zu erwarten. Einzelne Niederschlagsereignisse können davon stark abweichen. Wegen des Temperatureffekts können natürlich auch bei Kaltfrontdurchgängen relativ leichte Niederschläge angetroffen werden. Es kann also im vorliegenden Fall nicht direkt auf das Ausdrücken von Winterniederschlägen (Schneesmelzwasser) geschlossen werden, da auch während des Jahres unter Umständen ähnliche Werte erreicht werden können.

Die dem Arbeitsgebiet nächstliegende Station, von der Isotopendaten der Niederschläge zur Verfügung stehen, ist die Station Tanneben, die vom Institut für Geothermie und Hydrogeologie der Forschungsgesellschaft Joanneum betreut wird. Sie liegt etwa 20 km südlich. Es handelt sich dabei um Sammelproben der Niederschläge, die in etwa monatlichen Abständen genommen wurden.

Bei der Betrachtung zeigt sich, daß die letzten derart leichten Niederschläge vor dem 6. Februar 1987 ($\delta^{18}\text{O} = -13,47$) oder in der Zeit bis zum 6. März 1987 ($\delta^{18}\text{O} = -10,15$) gefallen sind.

Zieht man diese Daten hier heran, müßten die jetzt abfließenden leichten Wasseranteile aus dem Winter 1986/87 oder dem Frühjahr 1987 stammen.

Bei derartigen Vergleichen ist aber eine gewisse Vorsicht angebracht. Zum einen, da es sich um Sammelproben handelt, zum anderen, da besonders bei Gewitterniederschlägen (wie in diesem Fall) auch kleinräumig größere Unterschiede im Isotopengehalt auftreten können.

Bei der Beprobung von Niederschlagsereignissen zur Isotopenbestimmung könnte unter Umständen eine Probenahme nach einer den lokalen Gegebenheiten entsprechenden Versickerungspassage (ähnlich einem Lysimeter) Probleme der Isotopenfraktionierung während einzelner Ereignisse verringern.

Am Kaskadenfall ist bei diesem Ereignis keine derart deutliche Veränderung des $\delta^{18}\text{O}$ festzustellen gewesen. Allerdings korreliert auch hier der Isotopengang in etwa mit der Leitfähigkeit. Dies kann in erster Linie als hydraulischer Effekt interpretiert werden. Ausgelöst durch den steigenden hydrostatischen Druck sowohl durch den Schüttungsanstieg im Mixnitzbach als auch durch die Niederschläge im primären Einzugsgebiet selbst kommt es zur Vermischung von leichteren und schwereren Wässern mit deutlich wechselndem Verhältnis. Mit Absinken des hydrostatischen Drucks kommt es auch hier wieder zum Abklingen dieses Vorgangs. Die in weiterer Folge gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte liegen nur geringfügig unter den Werten vor Beginn des Ereignisses.

Am 28. Oktober 1987 begann die Absenkung des Teichalmstausees wegen eines Brückenneubaus. Dies geschah durch das Öffnen eines Grundablasses. Dieses „künstliche“ Hochwasser konnte ebenfalls isotonenmäßig beprobt werden.

Die Fig. 9 zeigt die Schüttungs- und $\delta^{18}\text{O}$ -Veränderungen in den ersten 24 Stunden des Schleusenbetriebs am Mixnitzbach, sowohl beim Pegel Teichalm (direkt abstromig der Schleuse) als auch am Klammausgang/Brücke (kurz vor der Einmündung des Kaskadenfalls).

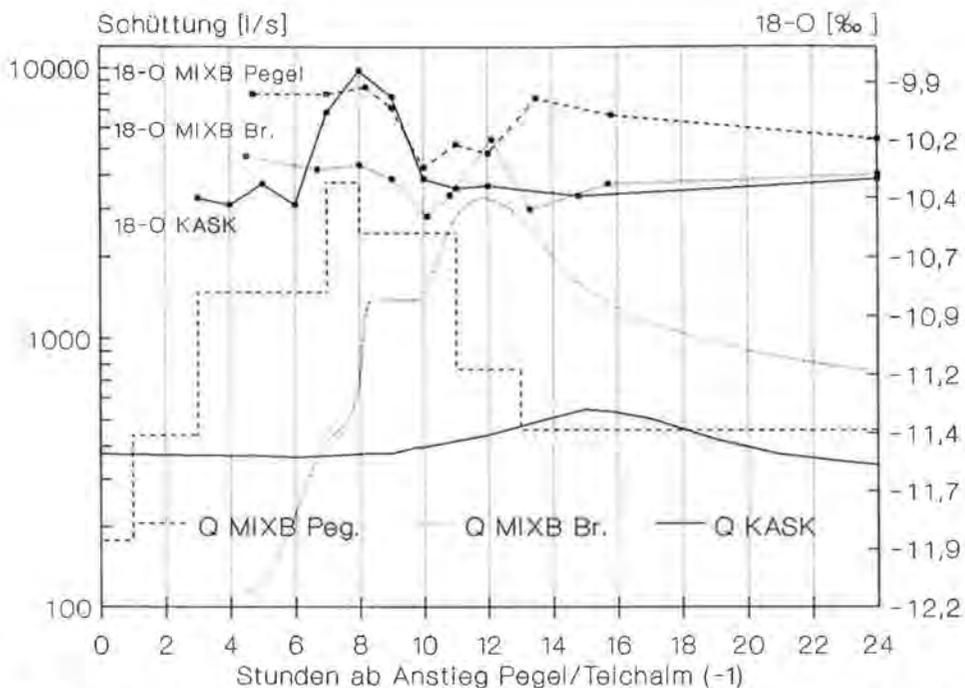


Fig. 9: $\delta^{18}\text{O}$ und Schüttung Kaskadenfall und Mixnitzbach bei Teichabsenkung am 28. Oktober 1987.

Beim Pegel/Teichalm zeigt sich, daß bei stark erhöhten Schüttungen (Maximum etwa 3700 l/s) deutlich schwerere Wässer durch den Grundauslaß aus dem See abfließen als bei niedrigeren Schüttungen. Diese Wässer stammen mit großer Wahrscheinlichkeit von Sommerniederschlägen. Auch bei Messungen der Leitfähigkeit bei anderen Ereignissen zeigte sich, daß sich Veränderungen der Leitfähigkeit im Zufluß erst mit einer zeitlichen Verschiebung von etwa zwei bis drei Wochen am Abfluß bemerkbar machen. Die Leitfähigkeitsänderungen am Pegel sind jedoch von teilweise starken anthropogenen Verschmutzungen überlagert, so daß bezüglich der Zeitspanne keine genaueren Angaben gemacht werden können. Außerdem ist anzunehmen, daß die Leitfähigkeitsänderungen in erster Linie eine Funktion des zufließenden Wasservolumens und seiner Änderungen sind.

Die Verweildauer dieser Wässer im See kann nicht genau abgeschätzt werden, möglicherweise existiert auch eine Schichtung des Seewassers.

Interessant ist der $\delta^{18}\text{O}$ -Verlauf am Klammausgang (Mixnitzbach Brücke). Hier zeichnet sich zu Beginn des Schüttungsanstiegs vorerst wiederum (wie im vorherigen Kapitel beschrieben) das Ausdrücken leichter Wässer ab, jedoch wird dieser Vorgang mit zunehmender Schüttung von den schwereren Wässern, die aus dem See stammen, überlagert. Daß dieser Effekt so deutlich sichtbar wird, hat im wesentlichen folgende Ursache:

Das Ausdrücken leichter Wässer wird vor allem durch den steigenden hydrostatischen Druck, der nun anscheinend in verstärktem Umfang in den Untergrund eindringenden Verlustmengen des Mixnitzbachs von der Teichalm bis zur Hinterklamm, ausgelöst. Dieser Effekt wird mit zunehmender Schüttung am

Klammausgang durch den gestiegenen Anteil der schwereren Teichwässer überlagert, da die Verlustmengen durch die geologische Situation Obergrenzen aufweisen. Mit abnehmender Schüttung pendelt sich der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert wiederum auf einem etwas höheren Niveau als vor Beginn des Ereignisses ein.

Am Kaskadenfall ist ein völlig anderes Verhalten als nach dem Niederschlagsereignis vom 6. September 1987 anzutreffen. Es kommt mit steigender Schüttung zum Ausdrücken leichter Wässer, die nicht direkt aus dem See stammen können (siehe oben). Das Minimum wird schon im ersten Drittel des Schüttungsanstiegs erreicht. Kurz vor Erreichen der Schüttungsspitze werden wieder ähnliche $\delta^{18}\text{O}$ -Werte erreicht wie vor Beginn des Ereignisses, allerdings mit deutlich sinkender Tendenz. Dieses Absinken der Werte verflacht mit sinkender Schüttung deutlich. Nach 53 Stunden wird das Minimum des $\delta^{18}\text{O}$ -Werts erreicht. In weiterer Folge kommt es zu einem geringfügigen Anstieg.

Die relativ schweren Wässer aus dem Seeabfluß (Mixnitzbach/Pegel) zeigen sich am Kaskadenfall während des Beobachtungszeitraums (72 Stunden) nicht. Es fließen also relativ leichte Wässer am Kaskadenfall ab, die schon länger gespeichert waren. Eine Durchmischung mit dem „Seewasser“ erscheint ebenfalls möglich, da keinerlei Anzeichen dieser schweren Wässer gefunden werden konnten.

Hingewiesen werden soll noch auf die minimale Anreicherung des abfließenden Wassers vor Beginn des eigentlichen Schüttungsanstiegs, die mit einem langsamen Anstieg (ab etwa sechs Stunden) und einem etwa einstündigen Gleichbleiben der Schüttung zusammenfällt. Dieses Abflußverhalten beim Beginn des Schüttungsanstiegs, oftmals noch mit einem kurzzeitigen Absinken der Schüttung vor dem Anstieg verbunden, konnte am Kaskadenfall mehrmals bei rasch einsetzenden Schüttungsanstiegen beobachtet werden. Bei langsamer ansteigenden Schüttungen ist dies nicht der Fall. Dieses kleine Charakteristikum des Kaskadenfalls muß auf hydraulische Bedingungen innerhalb der Karsthohlräume zurückgeführt werden.

Ob der kleine Anstieg innerhalb dieses Minimums (etwa bei der 11. Stunde) auf eine Vermischung mit dem im Mixnitzbach abfließenden Teichwasser zurückzuführen ist, kann wegen des nur einmal auftretenden Werts nicht gesagt werden.

3.3.2. Dauerbeobachtung der ^{18}O -Konzentrationen

Für die Probenahmepunkte Kaskadenfall und Mixnitzbach/Klammausgang ist der Gleichlauf der $\delta^{18}\text{O}$ -Ganglinie auffallend. Gegenüber einem üblichen Jahresgang des ^{18}O -Isotops in Niederschlägen fällt besonders das erste Maximum Ende Mai (Probe am 25. Mai 1988) auf. Dies scheint indirekt noch mit der Schneeschmelze in Zusammenhang zu stehen. Zwar wird im Regelfall das Minimum der Anreicherung in den Winterniederschlägen erreicht, doch scheint hier, wie auch in den weiter oben behandelten Fällen bei der Schneeschmelze, älteres und damit schwereres Wasser abzufließen. Im Vergleich mit den Werten vom Mixnitzbach auf der Teichalm scheint sich dort ein Maximum vor Beginn der Probenahme abzuzeichnen. Damit wäre eine Verschiebung dieser Maximums von etwa einem Monat gegeben. Dieses erste Maximum fällt aber auch mit einem deutlichen Warmlufteinbruch zusammen. Die damit verbundenen Niederschläge könnten bereits schwerer gewesen sein als Niederschläge während der kälteren Jahreszeit.

Im weiteren Verlauf kommt es zur Ausbildung des Sommermaximums, das am Kaskadenfall weniger deutlich als am Mixnitzbach/Klammausgang ausgeprägt ist. Am Pegel Teichalm ist das Sommermaximum mit schwerem Wasser – bedingt durch

die stärkere Verdunstung von der Seeoberfläche – besonders deutlich ausgeprägt. Wiederum zeigt sich hier eine „Laufzeitverschiebung“ zwischen Pegel/Teichalm und Kaskadenfall beziehungsweise Mixnitzbach/Klammausgang von etwa einem Monat.

Das am Seezufluß besonders deutlich ausgeprägte Minimum der Probe vom 13. September 1988 ist auf eine Probenahme während des Schüttungsmaximums nach einem Gewitterregen zurückzuführen. Am Seeabfluß erscheint dieses Minimum erst bei der nächsten Probenahme und weist somit darauf hin, daß die Verweilzeit des Wassers im See etwa zwei Wochen beträgt.

Für die beiden Probenahmepunkte auf der Teichalm fällt auf, daß beim Pegel bis auf eine Ausnahme schwerere Wasser abfließen als zufließen. Besonders deutlich ist dieser Unterschied in den Sommermonaten (Mitte Juli bis Mitte September). Diese Anreicherung am Abfluß muß auf die Verdunstung von der Seeoberfläche, bei der es zu Isotopenfraktionierungen kommt, zurückgeführt werden.

Korrelationen des ^{18}O -Werts mit den jeweiligen Tagesmitteln der Schüttungen brachten nur geringe lineare Abhängigkeiten zu Tage. Lediglich am Zufluß zum See ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $-0,532$. Die lineare Korrelation mit den Leitfähigkeiten ergab ein ähnliches Bild. Am Zufluß besteht eine Korrelation mit dem Faktor $0,6947$.

Die bereits angedeuteten Laufzeitverschiebungen der Isotopenwerte wurden mittels Kreuzkorrelationen genauer untersucht. Zwischen Mixnitzbach/Pegel und Kaskadenfall wurden die höchsten Korrelationen bei einer Verschiebung von drei Phasen (etwa sechs Wochen) erreicht. Markante Einzelereignisse weisen nur etwa vier Wochen Laufzeitverschiebung auf. Zwischen Seezufluß und Kaskadenfall besteht keine Beziehung der Isotopenwerte. Dies kann ebenfalls als Indiz für die Dichtigkeit des Sees gewertet werden. Zwischen Zufluß und Abfluß des Sees liegt die Verschiebung bei einer Phase, die Korrelation ist jedoch wegen des ausgeprägten Verdunstungseffekts nicht besonders deutlich. Der Mixnitzbach am Klammausgang korreliert bezüglich des $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes mit dem Kaskadenfall besser als mit dem Mixnitzbach beim Pegel; dies ohne zeitliche Verschiebung.

Auf der Grundlage der Werte der Dauerbeobachtung wurde versucht, die mittlere Höhe der Einzugsgebiete des Kaskadenfalls und im Vergleich dazu des Mixnitzbachs zu berechnen. Als Ausgangspunkt zur Kalibrierung dieses Modells diente der Mittelwert des ^{18}O -Gehaltes des Mixnitzbachs am Seezufluß. Aufgrund der geologischen und morphologischen Situation kann für dieses Einzugsgebiet angenommen werden, daß sich das orographische und das tatsächliche Einzugsgebiet nahezu decken und keine wesentliche Diskrepanz zur rechnerisch ermittelten mittleren Seehöhe (1290 m) auftritt. Des weiteren wurde eine Abreicherung von $0,25\%$ pro 100 Höhenmetern angenommen.

Für den Kaskadenfall ergibt sich nach diesen Berechnungen eine mittlere Seehöhe seines Einzugsgebiets von etwa 1040 m.

3.4. Der Markierungsversuch

Durch einen Markierungsversuch sollte endgültig bewiesen werden, daß zwischen Mixnitzbach und Kaskadenfall bei jeder Schüttungshöhe eine Verbindung besteht.

- Durch die Korrelation der Schüttungsstufen ist eine gute Korrelation zwischen Kaskadenfall und Mixnitzbach bis etwa 300 l/s erwiesen.

- Bei Hochwasser existiert eine Verbindung.
- Die chemischen Untersuchungen weisen bei NQ-Situationen auf dolomithältiges Einzugsgebiet hin. Dies muß allerdings nicht unbedingt den Mixnitzbach betreffen.

Des weiteren sollte untersucht werden, ob vom Mixnitzbach auch Verbindungen zu anderen Quellaustritten vorhanden sind.

Da keine direkten Einspeisungsmöglichkeiten in den Untergrund im Mixnitzbach gefunden werden konnten, mußte direkt in den Mixnitzbach eingespeist werden. Als Einspeiseort wurde die Brücke (Kote 1153) der alten Forststraße zur Tyrnaueralm, 1250 m westlich des Stausees gewählt.

Dieser Punkt liegt noch im Bereich des Durchbruchs des Mixnitzbachs und somit oberstromig der ersten Versickerungsbereiche. Das Ochsenbodenloch, die einzige Karstgroßform in unmittelbarer Nähe des Mixnitzbachs, liegt 700 m abstromig an der orographisch rechten Seite. Es handelt sich dabei um einen ca. 100 m tiefen Karstschlot, der etwas nach S einfällt und somit den Mixnitzbach quert.

Direktproben zur Berechnung der Tracerausbringung wurden neben dem Kaskadenfall auch am Mixnitzbach am Klammausgang oberstromig der Einmündung des Kaskadenfalls gezogen.

Mittels Aktivkohle wurden beprobt:

- am Hochlantsch-N: Lantschbach und Gerinne nördlich Windhakl;
- im Einzugsgebiet des Mixnitzbachs Quellen beim Schwaigerbauer und am Burgstall;
- der Heuberggraben;
- Quellen und Teileinzugsgebiete im Tyrnauergraben;
- weiters der Schremserbach, der Toberbach und die Raab.

Als Tracer kamen 3 kg URANIN ap conc. zum Einsatz.

3.4.1. Durchführung und Ergebnisse

Die Einspeisung erfolgte am 9. August 1988 von 17.15 Uhr bis 18.00 Uhr.

Die Abflusssituation während des Markierungsversuchs kann als ausgeprägte NNQ-Situation gewertet werden, die sich bis nach dem ersten Auftreten des Tracers am Kaskadenfall noch weiter verstärkte.

Zum Zeitpunkt der Einspeisung betrug die Schüttung am Kaskadenfall 117 l/s, am Pegel Mixnitzbach 77 l/s. Am 20. August lagen diese Werte bei 81 und 42 l/s. Die Schüttung des Mixnitzbachs beim Kassahaus sank auf 0,5 l/s.

Am 20. August wurden auf der Teichalm 58,5 mm Niederschlag registriert, der natürlich einen starken Schüttungsanstieg an beiden Probenahmepunkten bewirkte.

Ein eindeutiger Tracerdurchgang konnte nur am Kaskadenfall und am Mixnitzbach/Klammausgang festgestellt werden.

3.4.1.1. Kaskadenfall

Das erste Auftreten des Tracers wurde am 18. August um 17.45 Uhr (± 90 Minuten, Mischproben) registriert. Das wären also 214 bis 217 Stunden (etwa neun Tage) nach Beginn der Einspeisung. Den Verlauf des Tracerdurchgangs und die Schüttungsveränderungen zeigt Fig. 10.

Diese Zeitpanne läßt jedoch noch keine Aussagen über die tatsächliche Verweildauer des Tracers im Untergrund zu. Der Bereich der Wasserverluste im Mix-

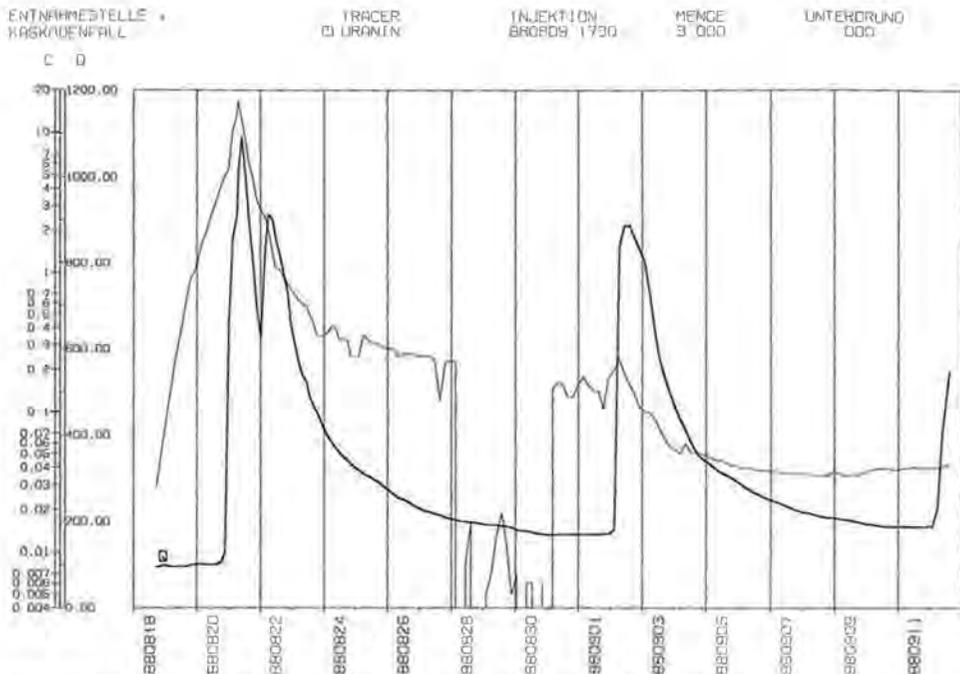


Fig. 10: Schüttung und Tracerkonzentration am Kaskadenfall vom 18. August bis 11. September 1988.

nitzbach beginnt 300 m abstromig der Einspeisestelle und ist etwa 4,5 km lang. Es ist anzunehmen, da keine anderen Austritte des Tracers nachgewiesen werden konnten, daß die Verluste der gesamten Strecke dem Kaskadenfall zugute kommen. Davon ausgenommen sind lediglich die Austritte von Karstwasser in den Mixnitzbach zwischen Kassahütte und Klammausgang/Brücke. Da auch die Fließgeschwindigkeit des Mixnitzbachs aufgrund der niedrigen Wasserführung sehr langsam war, ist die Versickerung in den Untergrund auf eine entsprechend lange Zeit ausgedehnt.

Wesentlich am Tracerdurchgang ist aber die Tatsache, daß er etwa 41 Stunden vor Beginn des Niederschlags, der den Schüttungsanstieg am 20. August ab 23.00 Uhr bewirkte, einsetzte und somit auch nicht auf stark geänderte hydraulische Bedingungen zurückzuführen ist. Diese Tatsache beweist eindeutig, daß auch bei extremen NQ-Verhältnissen eine direkte Verbindung zwischen Kaskadenfall und Mixnitzbach existiert.

Der Schüttungsanstieg begann etwa 54 Stunden nach dem ersten Auftreten des Uranins. Die höchste Konzentration wurde am 21. August zwischen 9.00 und 10.30 Uhr erreicht. Die Schüttungsspitze am selben Tag um 12.45 Uhr mit 1092 l/s. Die Konzentrationsspitze wurde also etwa zwei Stunden vor der Schüttungsspitze erreicht. Dies kann so interpretiert werden, daß das in den Untergrund eingedrungene und in Hohlräumen befindliche markierte Wasser durch den steigenden Druck ausgepreßt wurde (Piston-flow Modell). Bei zunehmender Schüttung kommt es dann zu einer raschen Verdünnung, die durch den nächsten Schüttungsanstieg etwas verzögert wird. Durch die Mischproben kommt dies nicht sehr gut zur Geltung.

Durch den Schüttungsanstieg, der am 2. September einsetzt, erhöht sich die Konzentration des Tracers nur mehr geringfügig, um anschließend deutlich abzusinken. Auch hier folgt die Schüttungsspitze dem Peak der Konzentration.

Der am 13. September beginnende Schüttungsanstieg bringt keine deutlichen Konzentrationsänderungen mehr.

Bis zur Beendigung der Direktbeprobung am 13. September um 14.00 Uhr (Handprobe) wurde eine Ausbringung von etwas mehr als 30% erreicht.

Vom 14. November bis zum 12. Dezember wurde nochmals ein Kohlesäckchen am Kaskadenfall eingehängt, das ebenfalls noch Uranin aufnahm.

3.4.1.2. Mixnitzbach/Klammausgang-Brücke 1

An diesem Punkt, der etwa 300 m oberstromig der Einmündung des Kaskadenfalls liegt, begann der Tracerdurchgang am 17. August zwischen 00.40 Uhr und 03.30 Uhr, also 175 bis 178 Stunden (etwa sieben Tage und sieben Stunden) nach Beginn der Injektion. Ab dem 10. August war der Mixnitzbach im Bereich Burgstall trocken gefallen. Das hier austretende Uranin muß also bereits aus dem Untergrund stammen.

Der Schüttungsanstieg, der hier bereits um 21.00 Uhr (am 20. August) begann, bewirkte hier sofort eine rasche Verdünnung des Uranins. Allerdings fällt ein weiterer, jedoch wesentlich niedrigerer Peak während dieser Verdünnung auf, der der Schüttungsspitze unmittelbar vorausgeht. Die Probe unmittelbar davor war eine Handprobe mit nur einmaliger Befüllung. Möglicherweise läge hier eine höhere Spitze vor, wäre sie nicht durch die Mischproben verschliffen. Dieser Peak würde, ebenso wie am Kaskadenfall, das Wasser anzeigen, das durch den steigenden hydrostatischen Druck aus den Karsthohlräumen ausgepreßt wird.

Für diese Möglichkeit spricht die Analyse der Aktivkohlesäckchen. Am Mixnitzbach waren während der Untersuchungen immer zwei Stück eingehängt. Eines befand sich oberhalb der in diesem Bereich sichtbaren Karstwasseraustritte (so wie der Probensammler), ein zweites unterhalb dieser Austritte. Von den in der Zeit vom 15. bis 25. August eingehängten Säckchen zeigte die Analyse des unteren eine 4,8mal höhere Intensität bei der Bestrahlung. Das heißt, daß hier wesentlich mehr Uranin durch Wasser aus dem Karst transportiert wurde, als rein oberflächlich durch den Mixnitzbach. Es ist aber noch dazu zu sagen, daß Karstwasseraustritte schon ab dem Bereich Burgstall in den Mixnitzbach zufließen, allerdings nur nach Starkregen. Eine genauere Interpretation kann wegen der Mischproben und der interpolierten Schüttungsdaten nicht erfolgen.

Der Schüttungsanstieg, der am 21. August ab Mittag einsetzt, bringt nur mehr eine geringe Erhöhung der Tracerkonzentration.

Bis zum Abbruch der Direktbeprobung am 27. August um 17.40 Uhr wurde eine Ausbringung von 3% erreicht. Dieser Wert ist aber auf Grund der interpolierten Schüttungswerte mit einiger Unsicherheit behaftet.

An den restlichen Probenahmepunkten konnte kein eindeutiger Beweis eines Tracerdurchgangs erbracht werden.

3.5. Bemerkungen zum Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes

Die Berechnung von Wasserhaushaltsgrößen ist besonders aus wasserwirtschaftlicher Sicht von Interesse. Problematisch dabei sind jedoch die in diesen Berechnungen enthaltenen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten. Sie beruhen zum

einen auf den Ungenauigkeiten der Formeln selbst und zum anderen auf dem dabei verwendeten Datenmaterial.

Bei den zur Verwendung kommenden Berechnungsgrundlagen sind in erster Linie gemittelte oder interpolierte Werte zu nennen, die in den seltensten Fällen die reale Situation des betrachteten Gebiets widerspiegeln können, da dieses eben von Natur aus sehr unterschiedlich aufgebaut ist. Es sind dabei vor allem der geologische und morphologische Aufbau, der Einfluß einzelner Wetterlagen, Höhenabhängigkeit von Niederschlag, Temperatur und Verdunstung sowie Exposition, Hangneigung und die biogenen Faktoren als wichtigste zu nennen.

Die Verwendung von punktuellen Meßergebnissen ist mit ähnlichen Unsicherheiten behaftet.

Die erzielbare Genauigkeit dieser Berechnungen steigt jedoch mit der Dauer des Beobachtungszeitraums. Die Berechnung von Wasserhaushaltsgrößen ist jedoch trotzdem, besonders bei Verwendung der gebräuchlichen Formeln nach TURC oder HAUDE, eine gute Möglichkeit, um verschiedene Einzugsgebiete miteinander vergleichen zu können. Es dürfen dabei allerdings nicht die oben erwähnten Ungenauigkeiten vergessen werden.

In Karstgebieten bieten sich derartige Berechnungen besonders zur Abschätzung tatsächlicher Einzugsgebiete an. Wegen der Unschärfe der erzielbaren Ergebnisse müssen jedoch die Unterschiede zwischen orographischen und tatsächlichen Einzugsgebieten groß genug sein. Analoges gilt bei Wasserverlusten eines Gerinnes.

Aus diesen Gründen ist bei spezielleren Fragestellungen und der Möglichkeit detaillierter Untersuchungen der Abgrenzung von Einzugsgebieten mit anderen hydrologischen Methoden der Vorzug zu geben.

Nichtsdestotrotz bieten Bilanzierungsberechnungen bei Zugrundelegung langfristiger Untersuchungszeiträume brauchbare Vergleichsmöglichkeiten verschiedener geologischer Einheiten oder Einzugsgebiete.

4. Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse

Die Berechnung von Schüttungsspenden und Quelldichte brachte deutliche Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten zutage, die nicht nur auf verschiedenartige lithologische Bedingungen zurückzuführen sind, sondern auch auf Unterschiede zwischen tatsächlichem und orographischem Einzugsgebiet.

Aus den digitalisierten Abflußganglinien der beiden Pegel (Kaskadenfall und Mixnitzbach/Teichalm) konnten die Abflußdauerlinien und die Trockenwetterfalllinien erstellt werden. Diese Trockenwetterfalllinien konnten am Kaskadenfall dreigeteilt werden, wobei der steilste Kurventeil dem Fallwasser, der mittlere dem Karstwasser und der flachste dem Baseflow zugeordnet wurde. Die Berechnung der α -Werte nach der MAILLET-Funktion brachte für den Kaskadenfall Hinweise auf einen möglichen Karstwasserspiegel und auf ein teilweise nichtverkarstetes Einzugsgebiet.

Die Korrelation einzelner Ereignisse am Kaskadenfall und am Mixnitzbach untereinander und mit den Daten der Niederschlagsstationen zeigte die Abhängigkeit des Kaskadenfalls vom Mixnitzbach und auch die Tatsache, daß diese Verbindung verschiedensten Einflüssen unterliegt und eine deutliche Obergrenze bei etwa 200–250 l/s aufweist.

Die Korrelation mit Niederschlagsdaten brachte die unterschiedliche Abhängigkeit von der Niederschlagsverteilung der beiden Pegel zutage und für den Kaskadenfall Hinweise auf die Lage seines verkarsteten Einzugsgebiets.

Als durchschnittliche Verlustmengen des Mixnitzbachs konnten 50–70 l/s bei MNQ festgestellt werden. Durch ein „künstliches“ Hochwasser im Mixnitzbach wurde am Kaskadenfall ein Schüttungsanstieg von 170 l/s erzielt.

Die Beprobung des Sauerstoff-18-Isotops brachte Aufschlüsse über die hydraulischen Verhältnisse und Beziehungen zwischen Mixnitzbach und Kaskadenfall. Die Beprobung von Einzelereignissen zeigte, daß am Kaskadenfall immer bereits länger gespeichertes Wasser ausgedrückt wird. Das hydraulische Verhalten ist bei hohem Wasserdargebot im primären Einzugsgebiet des Kaskadenfalls völlig anders als bei hohem Wasserdargebot in seinem sekundären Einzugsgebiet.

Die mittlere Höhe des Einzugsgebiets des Kaskadenfalls wurde mit etwa 1050 m berechnet. Der Vergleich mit dem Mixnitzbach am Klammausgang zeigte dessen starke Beeinflussung durch Karstwässer. Der Stausee auf der Teichalm wirkt sich durch Isotopenanreicherung deutlich aus.

Zwischen den Probenahmepunkten Mixnitzbach/Pegel und Kaskadenfall konnten mittels Kreuzkorrelation Laufzeitverschiebungen von vier bis sechs Wochen festgestellt werden.

Die Abflusssituation während des Markierungsversuchs war günstig. Bis etwa 40 Stunden nach dem ersten Auftreten von Uranin am Kaskadenfall herrschte eine ausgeprägte NNQ-Situation, bei der der Mixnitzbach im Bereich Burgstall trocken fiel. Die langsame Fließgeschwindigkeit im Mixnitzbach erhöhte jedoch die Uraninverluste durch UV-Bestrahlung. Erst nach diesen 40 Stunden setzte ein deutlicher Schüttungsanstieg, der durch ein heftiges Gewitter ausgelöst wurde, ein. Dadurch wurde bereits fast die gesamte in den Untergrund eingedrungene Uraninmenge am Kaskadenfall ausgedrückt. Die Ausbringungsmenge am Kaskadenfall betrug etwa 30%.

Am Mixnitzbach/Klammausgang wurden etwa 3% des eingesetzten Uranins nachgewiesen. Es kam dabei sowohl Oberflächenwasser als auch Karstwasser zum Abfluß.

Eindeutige Uranindurchgänge konnten an keinem der anderen Probenahmepunkte nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse des Markierungsversuchs zeigen, daß zwischen Mixnitzbach und Kaskadenfall bei jeder Abflusssituation eine Verbindung besteht. Die Verlustmengen des Mixnitzbachs kommen ausschließlich dem Kaskadenfall und den Karstwasseraustritten im Mixnitzbach zwischen Kassahütte und Brücke 1 zugute.

Literatur

- ABEL, O. & G. KYRLE (1931): Die Drachenhöhle bei Mixnitz. – 953 S., 1 Tafelband, Wien.
- AIGNER, A. (1926): Die geomorphologischen Probleme am Ostrand der Alpen. – Zeitschr. f. Geomorph., 105–153, Berlin.
- BENISCHKE, R. & T. HARUM (1984): Computergesteuerte Abflussmessungen in offenen Gerinnen nach der Tracerverdünnungsmethode (Integrationsverfahren). – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 36, 127–137, Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM, F. GRAF, Ch. DUTTER & H. ZOJER (1985): Wasserhöffigkeit Eisenerzer Alpen. Erfassung der Wasserreserven in den Eisenerzer Alpen, Teil IV. – Unveröff. Bericht, FGJ Ges.m.b.H., 80 S., Graz.

- BENISCHKE, R., J. FANK, T. HARUM, H. P. LEDITZKY & H. ZOJER (1986): Wasserhöflichkeit Eisenerzer Alpen. Erfassung der Wasserreserven in den Eisenerzer Alpen, Teil V. – Unveröff. Bericht, FGJ Ges.m.b.H., 43 S., Graz.
- BENISCHKE, R., T. HARUM, E. STROBL & H. ZOJER (1989): Wasserhöflichkeit Eisenerzer Alpen. Erfassung der Wasserreserven in den Eisenerzer Alpen, Fertigstellung. – Unveröff. Bericht, FGJ Ges.m.b.H., 32 S., Graz.
- GOLLNER, J. & Ch. ZIER (1985): Zur Geologie des Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark). – Jb. Geol. B.-A., 128, 43–73, Wien.
- GOLLNER, J. (1983): Die Geologie des Hochlantschstocks. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 251 S., Graz.
- HACKER, P. (1972): Beiträge zur Hydrologie des Passailer Beckens und seiner Umrahmung. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 267 S., Graz.
- HARUM, T. & H. P. LEDITZKY (1984): Hydrogeologie Osterhorngruppe – Tauglbach (St. Koluman). Endbericht. – Unveröff. Bericht, FGJ Ges.m.b.H., 76 S., Graz.
- HARUM, T. (1984): Quellaufnahme Hochlantsch-West. – Unveröff. Bericht., Amt d. Steierm. Landesreg., Referat f. WWR., Graz.
- HÖLTING, B. (1984): Hydrogeologie. – 370 S., Stuttgart.
- HUBAUER, N. (1984): Die Geologie des Gebietes zwischen Tyrnauergraben und Schremserbach. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 257 S., Graz.
- KOREN, St. (1980): Die Formenwelt des Hochlantsch mit besonderer Berücksichtigung des Karstformenschatzes. – Unveröff. Hausarbeit am Inst. f. Geographie, Univ. Graz, 149 S., Graz.
- KREPS, H. (1975): Praktische Arbeit in der Hydrographie. – 227 S., Wien.
- LANGGUTH, H.-R. & R. VOIGT (1980): Hydrogeologische Methoden. – 486 S., Berlin/Heidelberg/New York.
- LOUIS, H. (1979): Allgemeine Geomorphologie. – 1, 814 S., Berlin/New York.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1960): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. – Beitr. z. alpinen Karstforschung, 12, 184 S., Wien.
- RANK, D. (1989): Die Fingerabdrücke des Wassers. – Arsenal aktuell, 6, Jg., H. 1/89, 12–15., Wien.
- RICHTER, W. & W. LILICH (1975): Abriß der Hydrogeologie. – 281 S., Stuttgart.
- SAPUSEK, W. (1985): Die Geologie der östlichen Hochlantschgruppe. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 256 S., Graz.
- SCHAFFERNAK, F. (1960): Hydrographie. – 438 S., Graz.
- SCHWARZ, R. (1979): Morphologische Untersuchungen im Murchbruch zwischen Bruck und Graz. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 354 S., 1 Bildband, Graz.
- SÖLCH, J. (1924): Alte Flächensysteme im ostmurischen Randgebirge Steiermarks. – Zur Geographie der deutschen Alpen, Festschrift für Prof. R. Sieger, 1–21, Wien.
- SÖLCH, J. (1928): Die Landformung der Steiermark. – 221 S., Graz.
- STADLER, H. (1990): Hydrogeographie des Hochlantschgebietes (Mittelsteiermark). – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 318 S., Graz.
- STICHLER, W. & H. ZOJER (1986): Umweltisotopenmessungen und hydrochemische Untersuchungen als Hilfsmittel für die Erfassung von Quelleinzugsgebieten. – Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 38, H. 11/12, 261–266, Wien/New York.
- STUMMER, G. & V. WEISSENSTEINER (1983): Höhlenverzeichnis des Bundeslandes Steiermark. Stand 1983. – Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk., 12, Jg., H. 1, 100 S., Graz.
- THURNER, A. (1967): Hydrogeologie. – 350 S., Wien/New York.
- UNTERSWEIG, Th. (1979): Morphologie des Schöcklgebietes. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 315 S., Graz.
- UNTERSWEIG, Th. (1984): Quellaufnahme Hochlantsch-West. – Unveröff. Bericht., Amt d. Steierm. Landesreg., Referat f. WWR., Graz.
- UNTERSWEIG, Th. (1985): Quellaufnahme Rote Wand – Hintertyrnau. – Unveröff. Bericht., Amt d. Steierm. Landesreg., Referat f. WWR., Graz.
- VORMAIR, F. (1938): Studien im mittelsteirischen Karst. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 120 S., Graz.
- WAKONIGG, H. (1970): Witterungsklimatologie der Steiermark. – 255 S., Wien.
- WILHELMI, H. (1972): Geomorphologie in Stichworten. – II, 223 S., Kiel.

- WINKLER-HERMADEN, A. (1957): Geologisches Kräftespiel und Landformung. – 822 S., Wien.
- WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde. – 320 S., Berlin (Springer).
- ZIER, Ch. (1982): Die Geologie des Gebietes zwischen Bärenschützklamm und Tyrnauergraben. – Unveröff. Diss., Univ. Graz, 364 S., Graz.
- ZÖTL, J. (1957): Der Einzugsbereich von Quellen im Karstgebirge. – Österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 9, H. 4, 77–86, Wien.
- ZÖTL, J. (1958): Beitrag zu den Problemen der Karsthydrographie mit besonderer Berücksichtigung der Frage des Erosionsniveaus. – Festschrift Hans Spreitzer, 101–130, Wien.
- ZÖTL, J. (1974): Karsthydrogeologie. – 291 S., Wien/New York.
- ZSCHUCKE, W. (1950): Hydrogeologische Studie im Gebiet der Gemeinde Breitenau. – Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 4, 19–25, Graz.

Summary

The field of activity is located on the northern boundary of the Graz Paleozoic. The tectonic structure is characterised by neppes und wedges, which can be assigned to three lithostratigraphic units: Hochlantsch Group, Laufnitzdorf Group and „Kalkschiefer Folge“.

In the Hochlantsch Area talus deposits dating from the upper Neogene are widely distributed.

Especially the Hochlantsch Group, which mainly consists of limestones, is an area of covered karst and is drained by the spring Kaskadenfall. Within the limestones there is only one stream, the Mixnitzbach.

The surface runoff in the Mixnitzbach was ascertained by means of the tracer dilution method and a measuring weir. Operational wastes were located. Mathematical computations showed a relation between Kaskadenfall and Mixnitzbach.

A tracing experiment manifested the connection between the Mixnitzbach and the Kaskadenfall.

The investigations of the Oxygen-18 Isotope yield information on the average altitude of the catchment area of the Kaskadenfall.

Finally, hydrological book-keeping equations for the upper catchment area of the spring Kaskadenfall were realized.