

Landesgrundwasserdienst

– Analyse der Schüttung ausgewählter Quellen im nordosthessischen Ringgau

W

BENEDIKT TOUSSAINT



1 Problemstellung

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie, die seit Dezember 2000 für die Mitgliedstaaten verbindlich ist, fordert u.a. einen guten Zustand des Grundwassers, der spätestens bis 2015 erreicht sein muss. Besser als eine nachsorgende Sanierung von verunreinigtem Grundwasser ist dessen vorsorgender Schutz. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist ein Grundwassermonitoring, das die Mitgliedsstaaten spätestens ab Anfang 2007 durchführen müssen. Aus Sicht der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) kann das sog. Überblicksmonitoring gleichgesetzt werden mit den Aktivitäten der Landesgrundwasserdienste der Bundesländer. In Hessen besteht der Landesgrundwasserdienst seit 1912 (TOUSSAINT 2001), gegenwärtig umfasst er 994 Messstellen, davon 77 Quellen (Stand Januar 2004).

Am Beispiel des nordosthessischen Ringgaus, an dem auch Thüringen einen kleinen Flächenanteil hat, mit seinen teilweise großen Quellen sollen die Aufgaben eines Landesgrundwasserdienstes beleuchtet werden. Dazu werden die Messwerte der Kressenteichquelle 410503 Breitau (R 35 70 26, H 56 59 27, Höhenlage 241 m ü. NN), die die stärkste Einzelquelle Hessens ist, der Lüderbachquelle 410507 Lüderbach (R 35 79 24, H 56 60 27, Höhenlage 310 m ü. NN), der Quellengruppe 410511 Röhrda (R 35 74 17, H 56 63 80, Höhenlage 271 m ü. NN), der Grundwassermessstelle (i.e.S.) 410053 Grandenborn (R 35 71 30, H 56 60 32, Höhenlage 399 m ü. NN) sowie des Lysimeters 4611 Renda (R 35 75 56,

H 56 59 90, Höhenlage 398 m ü. NN) ausgewertet. Damit anthropogene Einflüsse auf den quantitativen Status des Grundwassers erkannt und bewertet werden können, legt die EU-Wasserrahmenrichtlinie größten Wert darauf, dass die natürliche Dynamik in einem Grundwasserkörper recherchiert wird. Die maßgebenden Wirkfaktoren sind in erster Linie niederschlagsbürtige Grundwasserneubildungsereignisse und die hydrogeologischen Verhältnisse. Mit beiden Komponenten, die die Grundwasserdynamik widerspiegelnde Schüttungsverhalten von Quellen entscheidend bestimmen, befasst sich dieser Aufsatz. Da das Grundwasser am Wasserkreislauf teilnimmt und daher nicht nur Transport-, sondern auch Lösungsmedium für natürliche und auf menschliche Tätigkeit zurückzuführende Inhaltsstoffe ist, müssen quantitative und qualitative Messwerte im Zusammenhang gesehen und ausgewertet werden. In vielen Fällen erleichtert oder ermöglicht erst die Bewertung der Daten der Grundwasserbeschaffenheit das Erkennen und Verstehen hydrologischer oder geohydraulischer Wirkmechanismen. Umgekehrt lassen sich häufig erst mittels quantitativer Messwerte, die Aussagen z.B. hinsichtlich des Strömungsfeldes von Grundwasservorkommen zulassen, die richtigen Schlüsse im Hinblick auf das hydrochemische Muster und die Genese eines bestimmten Grundwassertyps ziehen. In diesem Sinne soll die Charakterisierung des Schüttungsverhaltens der Ringgau-Quellen verstanden werden.

2 Überblick über die wesentlichsten Einflussfaktoren auf die unterirdische Entwässerung des Ringgaus

Die sinnvolle Interpretation gewässerkundlicher Messwerte setzt gute Kenntnisse über die Wirkfaktoren voraus, die das unterirdische Abflussgeschehen maßgeblich beeinflussen. An dieser Stelle können nur knappe Hinweise gegeben werden, die Fachliteratur (Thüringer Ministerium für Landwirtschaft usw. 1997; TOUSSAINT 1979, 1985) informiert ausführlicher.

Morphologie: Für den Ringgau, ein NW–SO-gestreckter westlicher Ausläufer der Thüringer Senke, ist eine schwach reliefierte, im Wesentlichen ackerbaulich genutzte Hochfläche in etwa 420 m ü. NN charakteristisch (Abb. 1). Die Hochfläche fällt in bewaldeten Stufenabhängen nach fast allen Seiten steil ab, nur nach Norden geht sie allmählich in die Weitung des nach Westen entwässernden Tals der Netra bzw. des nach Osten entwässernden Iftabaches über.

Geologie/Hydrogeologie: Die sich über Ton- und Schluffsteinen des Oberen Buntsandsteins (Röt) erhebende auffällige Schichtstufe ist im Wesentlichen bedingt durch den 100–120 m mächtigen Unteren Muschelkalk, darüber folgen Gesteine des Mittleren und Oberen Muschelkalks. Im zentralen Ringgau ist der gesamte Muschelkalk mindestens 186,5 m mächtig. Auf der Hochfläche des Ringgaus steht der Untere Keuper in schmalen Streifen an, die graben- oder muldenartig in den Muschelkalk eingesenkt sind. Diese NW–SO streichenden Gräben verlaufen parallel zum Netra-Graben im Norden und Sontra-Graben im Süden des Ringgaus, die wegen ihrer aus leicht erodierbaren Keupergesteinen (in Thüringen steht auch der unterste Lias an) bestehenden Füllung morphologisch als breite Senken in Erscheinung treten. Im nordwestlichen Abschnitt ist der Ringgau eine in sich wieder gegliederte Großmulde,

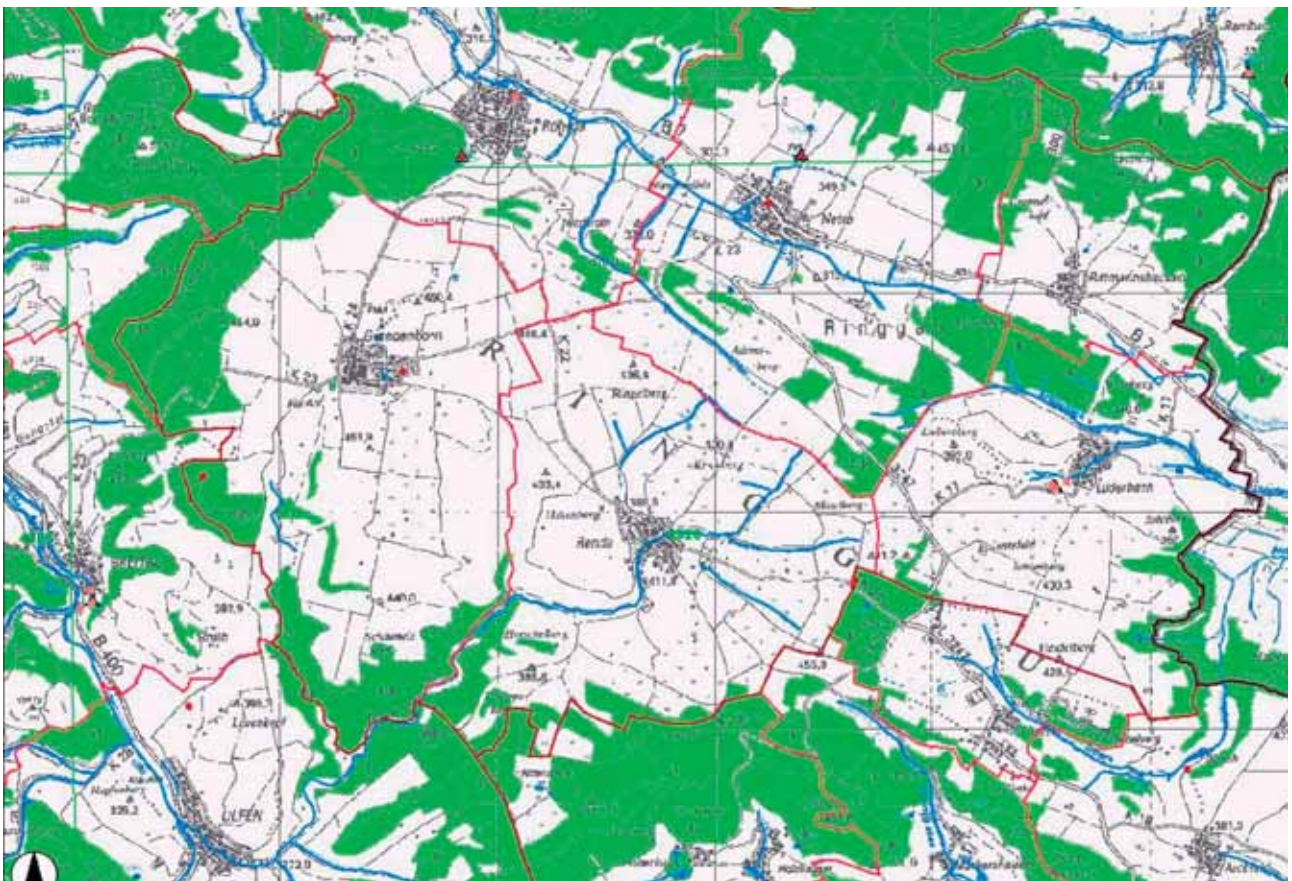


Abb. 1: Übersichtskarte des Ringgaus; die roten Punkt- oder Dreieck-Symbole markieren die Standorte von gewässerkundlichen Messstellen (Abstand zwischen Gitterlinien = 1 km); der aus Muschelkalk bestehende Kernbereich des Ringgaus (Breitau–Grandenborn–Renda–Ulfen) gehört dem Grundwasserkörper 4180_5402 an, die östlichen Abschnitte den Grundwasserkörpern 4170_5402 (Bereich Lüderbach-Willershausen) und 4150_5201 (Bereich Holzhausen-Herleshausen).

nach Südosten zu treten immer stärker Grabenelemente in Erscheinung. Das hat zur Folge, dass die Muschelkalkplatte bei Ulfen etwa 7,5 km breit ist (gemessen in SW–NO-Richtung), bei Archfeld ca. 3 km und bei Willershausen nur noch knapp 2 km.

Bemerkenswerter oberirdischer oder Zwischenabfluss ist im Bereich der Ringgau-Hochfläche entweder an die Nichtkarbonatgesteine in den Grabenfüllungen oder an Lösslehmflächen (insbesondere im Raum Renda) gebunden. Die in der Regel nur im Gefolge von Starkregen existierenden Gerinne versickern nach mehr oder weniger langem Lauf meist vollständig in den Untergrund.

Das gesamte Muschelkalk-Paket stellt einen in sich wieder differenzierten Kluftgrundwasserleiter dar, der lokal Verkarstungsmerkmale aufweist und dessen Sohlschicht die Gesteinsgrenze Oberer Buntsandstein/Unterer Muschelkalk bildet. Das schließt jedoch insbesondere an den Trochitenkalk des Oberen Muschelkalks oder an geringmächtige Dolomit- und Sandsteine des Unteren Keupers gebundene schwebende Grundwasserleiter nicht aus, die kleine episodische Quellen auf der Hochfläche speisen. Wegen ihrer starken tektonischen Zerrüttung werden diese schwebenden Grundwasserleiter nicht als Puffer oder Barriere zwischen von der Geländeoberfläche ausgehenden möglichen Verunreinigungen und tiefer liegendem Hauptgrundwasserleiter (Unterer Muschelkalk) eingeschätzt; daher wird das gesamte Einzugsgebiet der wasserwirtschaftlich genutzten Quellen und Brunnen der Engeren Trinkwasserschutzzone (Zone II) zugeordnet (WIEGAND & KAUFMANN 1983).

Für die unterirdische Entwässerung ist die erwähnte sog. Grandenborner Mulde wesentlich, deren Achse auf Breitau zielt. Im Bereich der Kressenteichquelle liegt die Muldenachse höhenmäßig am tiefsten, wenn die Grenze Oberer Buntsandstein/Unterer Muschelkalk als Bezugshorizont genommen wird. Im Bereich Renda–Altefeld wird diese Muldenlagerung der Schichten, der die Kressenteichquelle ihre starke Schüttung verdankt, durch an die schmalen Keupergräben und -halbgräben gebundene und in die Sohlschicht des Grundwasserleiters eingesenkte rinnenförmige Sammel- und Abflusssysteme für das Grundwasser ersetzt, die über querschlägige SW–NO streichende Störungen teilweise in hydraulischer

Verbindung miteinander stehen (WIEGAND & KAUFMANN 1983). Für die unterirdische Entwässerung des zentralen Ringgaus spielt vermutlich auch eine flache Aufsattelung der Schichten etwa auf der Linie Archfeld–Ifta eine Rolle, die dadurch zu erkennen ist, dass einerseits das hier SW–NO verlaufende Tal des Ölbachs in den insgesamt als Geringleiter zu sehenden Mittleren Muschelkalk eingeschnitten ist und andererseits im Tal der Werra weiter östlich die Gesteine des Muschelkalks nach Osten bis Nordosten einfallen.

Die Kressenteichquelle ist eine frei auslaufende Schichtgrenzquelle, die höhenmäßig im Niveau des Ulfenbaches an der Grenze Unterer Muschelkalk/Oberer Buntsandstein entspringt. Dagegen sind die anderen hier näher betrachteten Quellen als Überlaufquellen an die tektonische Grenze Muschelkalk (Ringgau)/Keuper (Netra-Graben) gebunden, die Basis des Grundwasserleiters liegt unterhalb des Talbodens der Netra und anderer kleiner Fließgewässer. Die unterirdische Wasserscheide zwischen Kressenteichquelle einerseits und den Quellen in Röhrda und Lüderbach andererseits dürfte zwischen Grandenborn und Röhrda liegen; aufgrund der sich auch hydrogeologisch auswirkenden tektonischen Gegebenheiten wird eine NW–SO-Orientierung vermutet (WIEGAND & KAUFMANN 1983).

Klima/Grundwasserneubildung: Die in 395 m ü. NN gelegene Station Renda des Deutschen Wetterdienstes (DWD) spiegelt das Niederschlagsgeschehen im Bereich der Hochfläche des Ringgaus repräsentativ wider. Demnach sind im langjährigen Jahresmittel des internationalen Bezugszeitraums 1971/2000 799 mm Niederschlag gefallen (bezogen auf das hydrologische Jahr, das im November des Vorjahres beginnt und im Oktober endet). Davon entfielen auf das langjährige Winterhalbjahr rd. 46 % und auf das Sommerhalbjahr entsprechend rd. 54 %. Bezogen auf die beiden letzten Dekaden, die wegen der Gesamtdatenlage am besten dokumentiert sind, war die mittlere Jahressumme des Niederschlags mit 825 mm etwas höher, weil insbesondere der Zeitraum 1981/1990 mit 879 mm mittlerem Jahresniederschlag erheblich über dem Durchschnitt lag. In der Periode 1981/2000 waren vor allem die Jahre 1981 (mit 1060 mm das niederschlagsreichste Jahr) bis 1984 (mit 202 mm war der Mai 1984 der niederschlagsreichste Monat überhaupt), 1987, 1994 und

1995 ausgesprochen nass. Umgekehrt waren insbesondere die Jahre 1991 (mit nur 559 mm fällt in diesem Jahr am wenigsten Niederschlag) und 1996 extrem trocken.

Wird die Differenz aus Niederschlagshöhe und am Lysimeter Renda gemessener Sickerwasserhöhe als Höhe der realen Verdunstung V_{real} interpretiert, hatte diese im Bereich der Hochfläche des Ringgaus im Zeitraum 1981–2000 eine mittlere Größenordnung von 544 mm/a. Die jährliche Verdunstungshöhe kann zwischen 292 mm/a (1982) und 676 mm/a (1998) schwanken. Aufgrund der vergleichsweise starken Windströmungen, denen die exponierte Hochfläche ungeschützt ausgesetzt ist, erfolgt ein rascher Austausch der Wasserdampf-gesättigten Luftmassen und somit eine Beschleunigung bzw. Verstärkung des Verdunstungsprozesses. Insofern erscheint die Höhe der Verdunstung als realistisch, auch wenn die Jahresdurchschnittstemperatur in rd. 400 m ü. NN auf nur etwa 7,1 °C geschätzt wird (TOUSSAINT 1979).

Die höchsten monatlichen Temperaturmittelwerte fallen mit dem sommerlichen Niederschlagsmaximum zusammen, der Juli ist der wärmste Monat. Am kältesten ist der Januar, gefolgt vom Februar. Im Ringgau fällt der Niederschlag von Dezember bis Februar in der Regel als Schnee, der im März abschmilzt.

Sofern man aus der Höhe des Sickerwasseranfalls an Lysimetern auf die Höhe der Grundwasserneubildung schließen kann, wurden im Bereich der Ringgau-Hochfläche mit ihren i. Allg. flachgründigen und wasserdurchlässigen Böden überwiegend vom Rendzina-Typ im langjährigen Durchschnitt 1981–2000

pro Jahr 281 mm Grundwasser neu gebildet, in der nassen Periode 1981–1990 350 mm/a, in der wesentlich trockneren Periode 1991–2000 211 mm/a. Das Jahr 1991 leistete mit 544 mm den größten Beitrag zur Grundwasserneubildung, das Jahr 1996 mit 75 mm den kleinsten. Mit Ausnahme der Jahre 1981 und 1984–1987 trug kein Sommerhalbjahr wesentlich zur Grundwasserneubildung bei (es sei denn zeitversetzt, da das 1,60 m unter Geländeoberfläche registrierte Sickerwasser in der ungesättigten Zone des Kluftgrundwasserleiters u. U. erst nach Wochen oder Monaten in den Grundwasserraum übertritt).

Bezogen auf das Einzugsgebiet der Kressenteichquelle kann deren mittlere Schüttung im Zeitraum 1981–2000 von etwa 318 l/s, die einer auf die Fläche von rd. 28 km² bezogenen Spende von ca. 11,3 l/s·km² entspricht, einer langjährigen niederschlagsbürtigen Grundwasserneubildung in Höhe von etwa 355 mm/a gleichgesetzt werden. Insofern bestätigt dieser Wert die Höhe der Grundwasserneubildung, die mittels der Lysimeter-Methode ermittelt wurde. Sie ist jedoch etwas höher, als im Durchschnitt für die Muschelkalk-Gebiete der Thüringer Senke weiter östlich berechnet wurde (GABRIEL & ZIEGLER 1989; Thüringer Ministerium für Landwirtschaft usw. 2001), die allerdings weniger Niederschlag erhält. Das bedeutet, dass rd. 40 % des langjährigen mittleren Jahresniederschlags versickerungswirksam sind bzw. in der Kressenteichquelle zum Abfluss gelangen. Dieser vergleichsweise hohe Prozentsatz ist jedoch nur relevant für diese Großquelle und nicht für die Quellen am Nordrand des Ringgaus. Deren Einzugsgebiete sind nämlich überwiegend bewaldet und weisen ein viel ausgeprägteres Relief auf, was zusammengenommen eine geringere Grundwasserneubildung zur Folge hat.

3 Analyse der Quellschüttung

Der Schwerpunkt der nachfolgenden Charakterisierung des Schüttungsverhaltens ausgewählter Quellen aus geohydrologischer Sicht liegt auf der im Jahr 1938 gefassten und der Trinkwasserversorgung dienenden Kressenteichquelle in Breitau, weil die Datenreihe am längsten ist (beginnend mit dem Abflussjahr 1944). Von den Quellen in Röhrda und Lü-

derbach liegen dagegen erst seit 1982 bzw. 1979 Messwerte vor. Die in der Grundwasser-Datenbank Hessen (GruWaH) des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (Dezernat W 3) gespeicherten Daten der Quellschüttung wurden mittels einer sog. Pegel-Bezugskurve aus den in einem Messgerinne (Venturigerinne) wöchentlich gemessenen bzw. seit

dem Abflussjahr 1983 kontinuierlich mittels Vertikalschreiber registrierten jeweiligen Wasserständen abgeleitet.

Im Gegensatz zu den Wasserständen bzw. Schüttungen wurden die Wassertemperaturen nur an der Kressenteichquelle und in Lüderbach regelmäßig gemessen, allerdings nur im Wochenturnus und nur im Zeitraum 1985–1993. Die ebenfalls hier ausgewertete elektrische Leitfähigkeit wurde an der Kressenteichquelle im Zeitraum 1985–1992 nur in größeren zeitlichen Abständen und danach bis 1999 in monatlichen Abständen erfasst, an den beiden anderen Quellen nur sehr vereinzelt.

Zwischen 1984 und 2000 wurden alle drei Quellen beprobt, um Hinweise auf die chemische Beschaffenheit der Quellwässer zu erhalten, die Beprobungsfrequenz war unregelmäßig einmal jährlich bis einmal in zwei Jahren. Davon abweichend wurde im Falle der Kressenteichquelle im Zeitraum Mai 1995–Februar 1998 ein monatlicher Turnus gewählt, um Abhängigkeiten zwischen Schüttung und Grundwasserchemismus besser erkennen zu können.

3.1 Kressenteichquelle

Im langjährigen Durchschnitt beginnt im Falle der Kressenteichquelle (Abb. 2) die Speicherung im Grundwasserleiter im Oktober, die Rücklage hat ihren höchsten Wert im Dezember, ab März beginnt der Verbrauch (TOUSSAINT 1979). Im April, z.T. noch Anfang Mai, schüttet die Quelle am stärksten, da bei noch vergleichsweise niedriger Verdunstungshöhe sich Schneeschmelze und Niederschlagsereignisse in ihrer hydrologischen Wirksamkeit verstärkend überlagern. Danach geht verdunstungsbedingt trotz starker Sommerregen die Schüttung stetig zurück und erreicht im September ihr Minimum. Die prozentuale Verteilung der mittleren monatlichen Schüttung (als mm/Monat berechnet) mit Schwankungen zwischen 5 und 12 % der Höhe der Jahreschüttung spricht dafür, dass im Einzugsgebiet der Quelle die unterirdische Verkarstung nicht extrem ist. Für diese Annahme spricht auch, dass der das Auslaufen eines Speichers charakterisierende Leerlaufkoeffizient α nach MAILLET selbst im Falle größerer Schüttungen während niederschlagsarmer Zeiten im Mittel nicht größer als $0,033 \text{ d}^{-1}$ ist und un-



Abb. 2: Venturigerinne in der Nähe des Austritts der Kressenteichquelle 410503 Breitau; zu sehen sind der Überfall, die Pegellatte und der Vertikalschreiber zur kontinuierlichen Erfassung des Wasserstandes.

terhalb der mittleren monatlichen Niedrigstschüttung (MoMNO) eine bestimmte Schüttung erst nach knapp einem Monat auf die Hälfte des Ausgangswertes zurückgegangen ist (TOUSSAINT 1985). Die Schüttung im Winterhalbjahr verhält sich zu der im Sommerhalbjahr wie etwa 1,3:1 und ist somit umgekehrt wie beim Niederschlag.

In kürzeren Zeiträumen und noch mehr in Einzeljahren bleibt zwar das vorstehend skizzierte Grundmuster des Schüttungsverhaltens erhalten, in Abhängigkeit von der Größenordnung des Sickerwasseranfalls kann es jedoch z.T. signifikant modifiziert werden (Abb. 3). Sogar in Sommermonaten mit weit überdurchschnittlichen Niederschlägen nimmt die Schüttung in der Regel ab, da das Sickerwasser fehlt, das die Grundwasservorräte regeneriert.

Etwa 1,5 km nordwestlich der Kressenteichquelle befindet sich die 184 m tiefe und im unteren Muschelkalk verfilterte Grundwasser(stands)messstelle 410053 Grandenborn. Werden die Schüttung (ab-

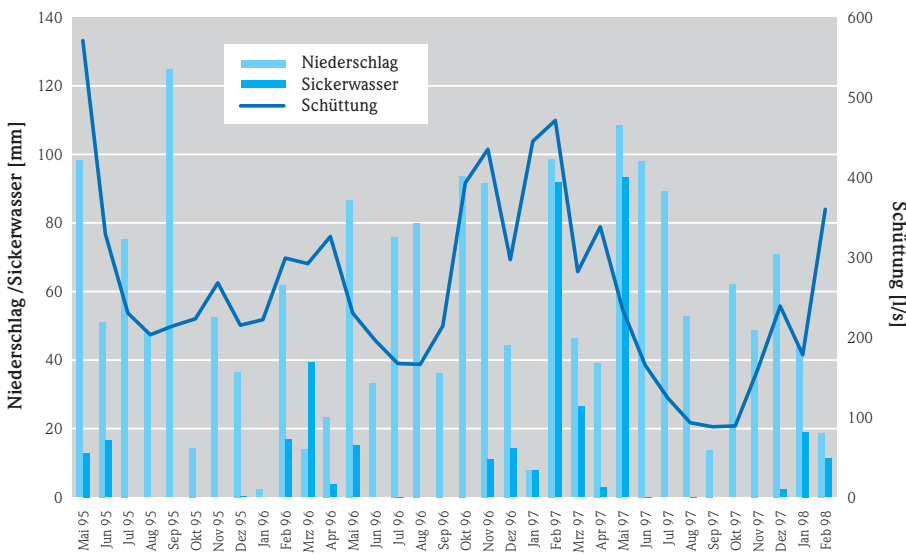


Abb. 3: Abhängigkeit der Schüttung der Kressenteichquelle 410503 Breitau von der Sickerwasserhöhe im Zeitraum Mai 1995–Februar 1998; dokumentiert sind die Monatssummen der Niederschlagshöhe (DWD-Station Renda) und Sickerwasserhöhe (Lysimeter 4611 Renda) sowie die Monatsmittel der Schüttung.

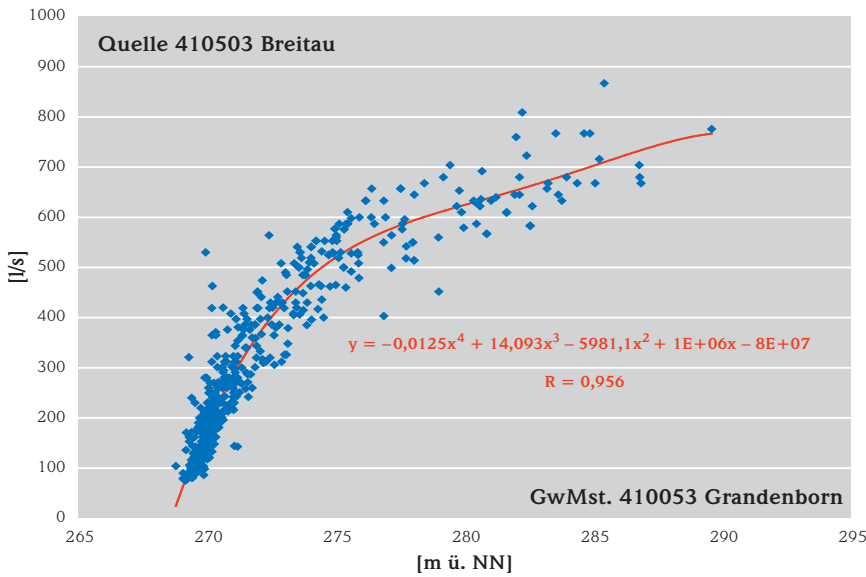


Abb. 4: Polynome Korrelationsbeziehung zwischen Schüttung der Kressenteichquelle 410503 Breitau und Wasserstand in der Messstelle 410053 Grandenborn; Wochenwerte der Jahresreihe 1990–2002.

hängige Variable) der Kressenteichquelle und der Wasserspiegel (unabhängige Variable) in dieser Messstelle miteinander korreliert (Jahresreihe 1989–2003 mit jeweils wöchentlichen Messungen), lässt der Korrelationskoeffizient $R=0,875$ erkennen, dass eine Wassersäule >271 m ü. NN in den Klüften

bzw. Karströhren des Grundwasserleiters nicht unerwartet einen signifikanten Einfluss auf die Schüttung > 300 l/s der Quelle hat; bei tieferen Grundwasserständen ist der Korrelationskoeffizient nach PEARSON mit 0,834 etwas kleiner (Abb. 4).

Da die Messung eines Abstichs von zeitweilig 130 m mit dem verwendeten 200 m-SEBA-Kabellichtlot technisch nicht einfach und auch fehlerträchtig ist, kann umgekehrt aus der Schüttung der Kressenteichquelle der Wasserstand in der Referenzmessstelle abgeleitet werden. Im Falle einer polynomischen Korrelationsbeziehung 4er-Ordnung ist der diesbezügliche Korrelationskoeffizient R mit 0,956 am höchsten.

Das nach einem längeren Zeitraum ohne nennenswerte Grundwasserneubildung im Untergrund in Feinklüften gespeicherte Grundwasser ist wegen ausreichender Aufenthalts- und somit Reaktionszeit sowie großer Kontaktfläche mit den Gesteinen im Untergrund entsprechend mineralisiert. Im Zusammenhang mit einem abflusswirksamen Niederschlagsereignis fließt neu gebildetes Grundwasser überwiegend auf weiter geöffneten Klüften rasch ab (und kann daher nur wenige Bestandteile aus dem Gestein herauslösen) und füllt den unterirdischen Speicher auf bzw. verdrängt je nach Füllungsgrad dieses Speichers eine entsprechende Wassermenge aus diesem. In der Quelle tritt somit nicht nur aus hydrogeochemischer Sicht ein Mischwasser aus. Unter extremen hydrologischen Bedingungen kann im Grund-

wasserspeicher während Nassperioden weitgehend nur die schnelle Abflusskomponente und während längerer Trockenperioden ausschließlich die langsame Abflusskomponente für die Schüttung verantwortlich sein (SCHULTZE et al. 1990).

Unter anderem aufgrund der signifikanten Korrelation insbesondere zwischen hohen Wasserständen im Grundwasserleiter und starker Quellschüttung wird davon ausgegangen, dass die Schnelligkeit des Schüttungsanstiegs nach einem größeren Grundwasserneubildungsereignis hauptsächlich von der Höhe der auflastenden Wassersäulen in den größeren Klüften abhängt. Dabei tritt ganz am Anfang das länger gespeicherte Grundwasser in der Quelle zu Tage, trotz großer Flurabstände von z.T. 150 m und mehr im zentralen Ringgau folgt das neu gebildete Grundwasser nur Stunden oder wenige Tage später. Ein Markierungsversuch im oberen Eistal bei Grandenborn hatte das Ergebnis, dass ein Farbracer spätestens zwei Tage nach Eingabe in eine Versickerungsstelle in der in 3,5 km Luftlinie entfernten Kressenteichquelle wieder zum Vorschein kam (zit. in TOUSSAINT 1979). Werden Niederschlagsereignisse in den weitgehend verdunstungsfreien Monaten November bis Februar mit der entsprechenden Schüttung der Kressenteichquelle korreliert, ergibt sich nach einer Zeitverschiebung von zwei Tagen der größte Korrelationskoeffizient (aber auf einem niedrigen Niveau). Auch wenn im Einzugsgebiet der Kressenteichquelle offensichtlich Karströhren als schnell entwässernde Drainsysteme existieren, wie auch häufige Trübungen des Rohwassers und Echerichia coli-Befunde nach starken Regenfällen vermuten lassen, spricht die Schüttungscharakteristik der Quelle nicht dafür, dass der Muschelkalk im Ringgau ein ausgeprägt verkarsteter Kluftgrundwasserleiter ist.

Um zu überprüfen, ob ein Schüttungsanstieg während oder kurz nach einem Großregenereignis

zunächst im Wesentlichen auf einem Herauspressen von schon länger gespeichertem Wasser aus dem Grundwasserleiter beruht, wurde im Zeitraum März 1995–Februar 1998 die elektrische Leitfähigkeit des Quellwassers gemessen (Abb. 5), die eine Aussage über den Mineralisationsgrad zulässt. Aufgrund organisatorischer Probleme konnte leider nur im monatlichen Abstand gemessen werden und nicht in flexibler Anpassung an einen beginnenden Schüttungsanstieg während oder nach einem größeren Niederschlagsereignis. Trotzdem lässt sich erkennen, dass nach Niedrigwasserphasen auftretende Schüttungsspitzen vielfach nach kurzer Zeit einen signifikanten Anstieg der Leitfähigkeit zur Folge hatten. Höher mineralisiertes Quellwasser wurde aber auch nach einer längeren Phase geringer Schüttung nachgewiesen. Beide Phänomene stützen die vorstehend genannte Vermutung.

Auch anhand der Temperatur des Quellwassers lassen sich Aussagen machen zur Schüttungscharakteristik der Kressenteichquelle (Abb. 6). Die Temperatur des Wassers wird wesentlich bestimmt von den Änderungen der Lufttemperatur im Einzugsgebiet, von der für den Grundwasserspeicher maßgebenden Temperatur, die von der mittleren Jahrestemperatur an der Erdoberfläche und der im Falle des Ringgauer nur unerheblichen geothermischen Tiefenstufe ab-

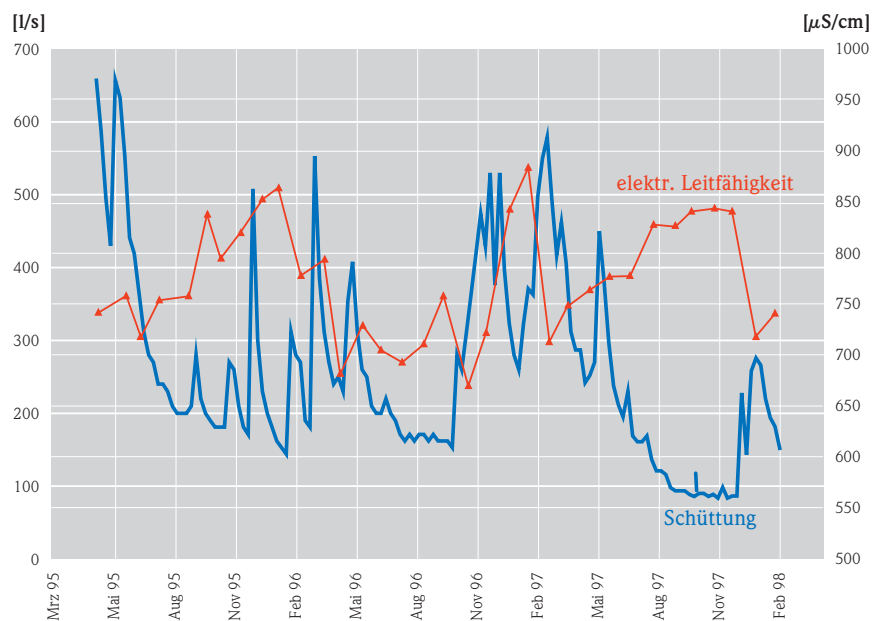


Abb. 5: Schüttung und elektrische Leitfähigkeit des Wassers der Kressenteichquelle 410503 Breitau.

teristik der Kressenteichquelle (Abb. 6). Die Temperatur des Wassers wird wesentlich bestimmt von den Änderungen der Lufttemperatur im Einzugsgebiet, von der für den Grundwasserspeicher maßgebenden Temperatur, die von der mittleren Jahrestemperatur an der Erdoberfläche und der im Falle des Ringgauer nur unerheblichen geothermischen Tiefenstufe ab-

hängig ist, und dem Niederschlagsgeschehen. Ausgehend von einem Jahresmittel von 8,5 °C an der in 218 m ü. NN gelegenen DWD-Station Eschwege und einer vertikalen Temperaturabnahme von etwa 0,7 °C/100 m (TOUSSAINT 1985) wird für den von der Kressenteichquelle entwässerten Grundwasserspeicher eine Temperatur zwischen 8 und 9 °C angenommen.

Der Temperatureintrag aus der Luft und den oberflächennahen Bodenschichten findet nicht durch echte Wärmeleitung über die Deckschichten statt, sondern durch den mehr oder weniger schnellen Transport der Wärme durch das Sickerwasser. Wenn

chen Schwankung der Schüttung) weist trotz der nachgewiesenen Verkarstungsphänomene auf längere Verweilzeiten im Untergrund (z. B. wegen langer Sicker- und Fließwege) und auf einen ausgleichenden Temperatureaustausch zwischen Grundwasser und Gestein hin; das länger gespeicherte Grundwasser hat einen dominierenden Einfluss auf die Temperatur des Quellwassers.

Von der Beantwortung der Frage, wie stark sich Schüttungsschwankungen auf die chemische Beschaffenheit des Quellwassers auswirken, hängt auch die Planung des Beprobungsturnus, dem u. a. im Zusammenhang mit der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie eine große Bedeutung zukommt, und somit auch die Bereitstellung personeller und finanzieller Ressourcen ab. Aus diesem Grund wurden in den Jahren 1995 bis 1998 im monatlichen Turnus insgesamt 34 Beprobungen vorgenommen. Durch Vergleich von Schüttungskurve und Ionen-Diagrammen (Abb. 7) lässt sich schnell feststellen, dass der Mineralisierungsgrad des Grundwassers vom Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Typ von im Durchschnitt rd. 17 mmol(eq)/l in Abhängigkeit von der Schüttung schwankt, jedoch nicht extrem.

Bei starker Schüttung ist die Mineralisation geringer (Verdünnung der Wasserinhaltsstoffe durch neu gebildetes Grundwasser), bei zurückgehender Schüttung steigt die Mineralisation an (längerer Kontakt des Grundwassers mit dem Speichergestein), außerdem verändert sich das Verhältnis der Kationen und Anionen zueinander etwas. Die hohe Gesamthärte bis 25 °dH spiegelt die Herkunft des Grundwassers aus dem Muschelkalk im Kontakt mit dem Gips führenden Röt wider. Außerdem ist zu erkennen, dass die aus der landwirtschaftlichen Nutzung der Hochfläche des Ringgaus resultierenden Nitratgehalte zwischen 21,0 und 30,3 mg/l schwanken, meistens oberhalb des halben Grenzwertes der relevanten

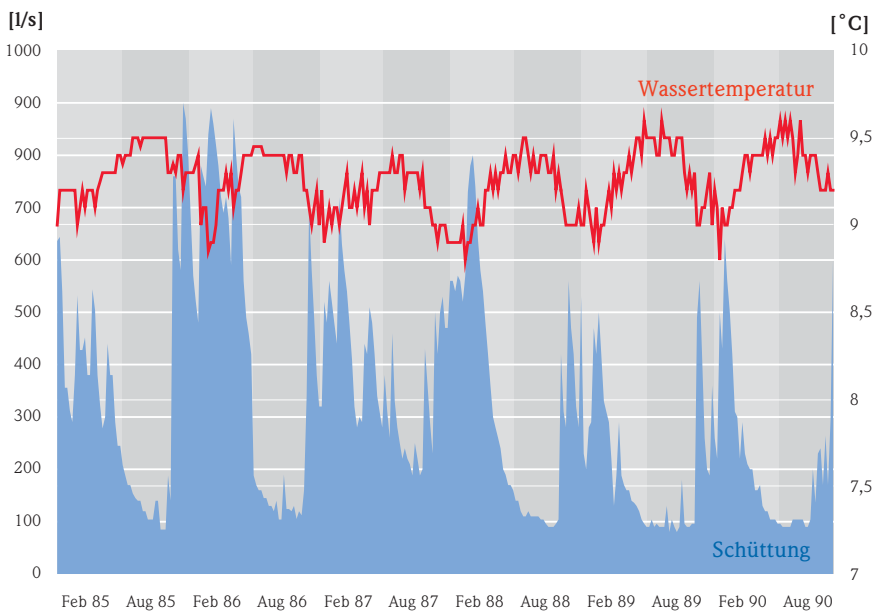


Abb. 6: Schüttung und Wassertemperatur (jeweils wöchentliche Messung) der Kressenteichquelle 410503 Breitau, Messreihe Februar 1985–Januar 1991.

eine Trockenwetterperiode länger andauert und somit kein Niederschlagswasser absickert, bleibt die Grundwassertemperatur praktisch konstant.

Im Diagramm lassen sich die Sommer- und Winterhalbjahre aus dem Temperaturgang ableiten. Sommerliche Niederschüttung und höhere Temperaturen bis 9,6 °C fallen zusammen, umgekehrt ist hohe Quellschüttung im Spätwinter und Frühjahr gekoppelt mit relativ niedrigen Temperaturen von 8,8 °C; die Temperaturspanne beträgt somit lediglich 0,8 °C und ist ausgesprochen gering. Diese starke Dämpfung der Temperaturkurve (im Gegensatz zur deutli-

EU-Verordnung liegen und damit viel zu hoch sind (Gemeinde Ringgau – EAM Wasserversorgung GmbH 2001). Aus der Ganglinie der Nitratkonzentration im Quellwasser lässt sich weiterhin ableiten, dass die häufig geäußerte Auffassung, dass Niederschlags- bzw. Neubildungsereignisse eine verdünnende Wirkung auf Schadstoffe im Sicker- und letztlich im Grundwasser haben, zu pauschal ist.

Die vorstehende Abbildung erlaubt schließlich auch die Schlussfolgerung, dass eine Beprobung in einem Durchschnittsjahr oder bei einer Schüttung, die in etwa dem langjährigen Mittel nahe kommt, im Falle der Kressenteichquelle somit bei Größenordnungen zwischen 250 und 300 l/s, genügt, wenn es lediglich darum geht, eine allgemeine Bewertung des chemischen Grundwasserstatus vorzunehmen. Inwieweit diese Aussage, die ein Kosten sparendes und trotzdem den Forderungen der EU-Wasser- rahmenrichtlinie gerecht werdendes Monitoring beinhaltet, verallgemeinert werden kann, soll hier nicht weiter diskutiert werden.

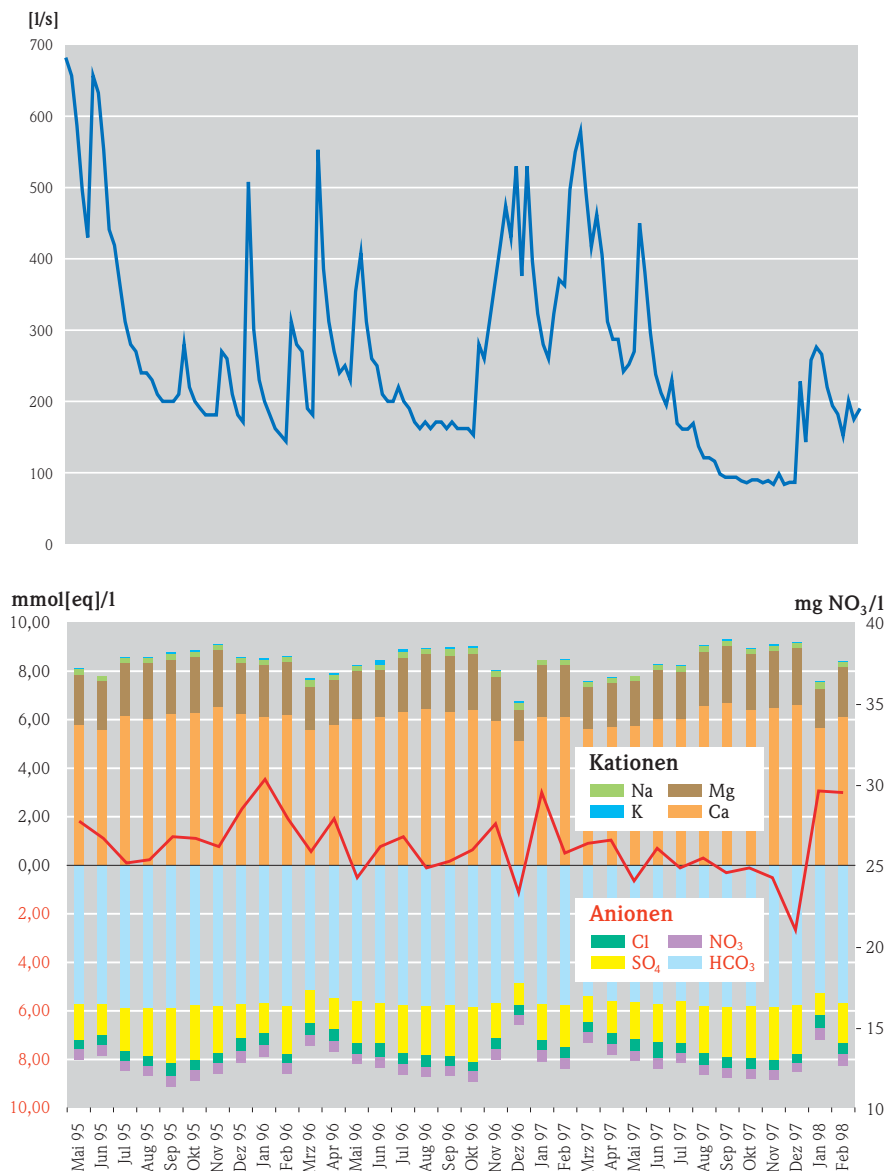


Abb. 7: Beschaffenheit (monatliche Beprobung) des Wassers der Kressenteichquelle 4109503 Breitau und Schüttung im Zeitraum Mai 1995–Februar 1998; die rote Linie gibt die Nitratkonzentrationen wieder.

3.2 Quellen bei Röhrda und Lüderbach

An der Messstelle im Schindgraben unterhalb Röhrda werden u.a. auch die Abflüsse des Aschenborn, der stärksten Quelle in diesem Bereich, erfasst. Die Messwerte sind zeitweise anthropogen etwas beeinflusst, weil seit August 1981 im näheren Oberstrom der Quellen ein örtlicher Versorgungsbrunnen in Betrieb ist und außerdem einige Straßenentwässerungsflächen an den Bach angeschlossen sind. Mit Ausnahme von gelegentlichen Temperaturmessun-

gen direkt im Aschenborn wurde auf eine kontinuierliche Erfassung am Venturigerinne verzichtet, weil die Wassertemperatur auf der ca. 530 m langen Laufstrecke zwischen Quellengruppe und Messstelle verfälschenden Einflüssen ausgesetzt ist.

Ebenso wie die Quellen bei Röhrda gehen auch die natürlichen Grundwasseraustritte in Lüderbach auf die stauende Wirkung der südlichen Randverwer-

fung des Netra-Grabens mit seinen wenig wasser-durchlässigen Schichten zurück. Ein geringer Teilabfluss der gefassten Hauptquelle dient der Wasserversorgung benachbarter Gemeinden; der Einfluss der nur stundenweise laufenden Pumpen auf die Schüttungsganglinie ist jedoch unbedeutend.

Weil es sich aufgrund der geologischen Gegebenheiten um Überlaufquellen handelt, könnte zunächst vermutet werden, dass wegen ihres Speicherraums auch unterhalb des Talniveaus der Netra der Schüttungsgang relativ gedämpft ist. Andererseits ist aus Bohrungen bekannt (WIEGAND & KAUFMANN 1983), dass die Grenze Oberer Buntsandstein/Unterer Muschelkalk zwischen Grandenborn und Röhrda schwach aufgebogen ist und im Bereich des Versorgungsbrunnens Röhrda (R 35 73 68, H 56 63 25) bei etwa 270 m ü. NN und somit etwa 40 m unterhalb des Quellmundes des in ca. 308 m ü. NN austretenden Aschenborn liegt (in einem unmittelbar nördlich des Brunnens zu folgernden Spezialgraben liegt die Muschelkalkbasis bei etwa 260 m ü. NN). Weiterhin wird im Gegensatz zum zentralen Ringgau mit Grundwasserflurabständen von 150 m und teilweise auch mehr an seinem nördlichen Rand die Grundwasseroberfläche bereits in 20 m Tiefe angetroffen, weiter südlich ist ausweislich des Wasserstandes in

der Messstelle 410050 Altefeld der Grundwasserflurabstand weniger als 40 m.

Je weiter man im Ringgau nach SO kommt, desto anisotroper und heterogener wird der Grundwasserleiter. Im Gegensatz zum Zustrombereich der Quellen in Röhrda dominieren im Einzugsgebiet der Quellen in Lüderbach die bereits angesprochenen schmalen Keupergräben, -halbgräben und -mulden. Das bedeutet, dass wegen dieser tektonischen Strukturen das auf querschlägigen Störungen und Klüften nach N abströmende Grundwasser immer wieder zu Umwegen gezwungen wird, die Aufenthaltszeiten in diesen hintereinander geschalteten Speicherräumen wird größer; es lässt sich vermuten, dass dadurch das Retentionsvermögen des Muschelkalks regional verbessert wird. Da das Grundwasser im SO-Teil des Ringgaus wegen der Stauwirkung der grabenartig eingesenkten Keuperschichten wiederum näher an der Geländeoberfläche steht, ist davon auszugehen, dass sich Grundwasserneubildungsereignisse rascher und stärker im Schüttungs- und Temperaturverhalten der Quelle Lüderbach bemerkbar machen als bei Quellen, in denen Grundwasser aus dem zentralen Ringgau zu Tage tritt.

Wenn man die Schüttungsganglinien der Kressen-

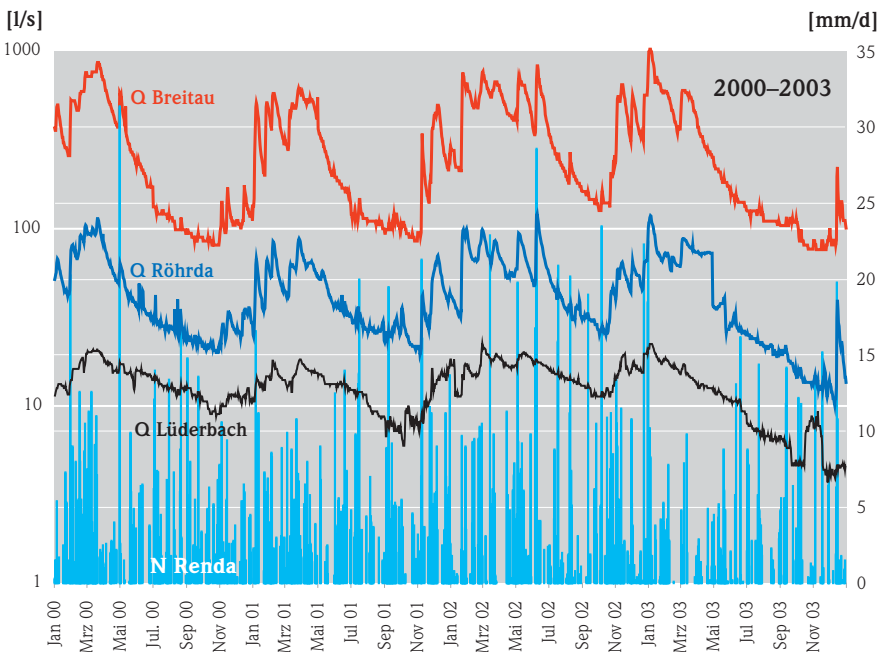


Abb. 8: Schüttung (Tagesmittelwerte) der Quellen 410503 Breitau, 410511 Röhrda und 410507 Lüderbach (Ganglinien von oben nach unten) sowie Niederschläge (Tageswerte) an der DWD-Station Renda in den Jahren 2001–2003.

teichquelle in Breitau einerseits und diejenigen der Quellen in Röhrda und Lüderbach andererseits miteinander vergleicht, erkennt man auf den ersten Blick keine wesentlichen Unterschiede (Abb. 8). Im Hinblick auf eine Reaktion auf größere Niederschlags- bzw. Grundwasserneubildungsereignisse oder längere Trockenwetterphasen ähneln sich die Ganglinien, im Detail sind aber Unterschiede nicht zu übersehen.

Die wenigsten Unterschiede bestehen zwischen Kressenteichquelle in Breitau und den Quellen in Röhrda: die Temperaturen sind vergleichbar, das Verhältnis von größter zu kleinster Schüttung

(HQ/NQ) beträgt im Zeitraum 2000–2003 etwa 13,6 bzw. 12,1, und der auf die Schüttung bezogene Korrelationskoeffizient $R_{\text{Kressenteich/Röhrda}}$ ist mit 0,967 sehr hoch (bezogen auf die Jahresreihe 1982/99). Im Falle der Lüderbachquelle ist das Verhältnis HQ/NQ ca. 10,0, die Schüttung ist somit – wie mit den hydrogeologischen Verhältnissen begründbar – etwas ausgeglichener als bei den beiden anderen Quellen. Der auf die Schüttung bezogene Korrelationskoeffizient $R_{\text{Röhrda/Lüderbach}}$ ist mit 0,867 immer noch hoch, spiegelt aber auch einige Abweichungen in der Schüttungscharakteristik wider, die unter Berücksichtigung des Schüttungskoeffizienten $R_{\text{Kressenteich/Lüderbach}}$ von nur noch 0,692 noch evidenter werden. Es ist somit offensichtlich, dass sich am Nordrand des Ringgaus von NW nach SO die für das Schüttungsverhalten maßgebenden geohydraulischen Verhältnisse ändern und eine in dieser Richtung zunehmende Dämpfung der Quellschüttung zur Folge haben.

Gegensätzlich zum Schüttungsgang verhält sich der Gang der Wassertemperatur der Lüderbachquelle bei Temperaturschwankungen zwischen 6 und 11 °C (Abb. 9). In der Regel sind Niedrigwasserzeiten durch höhere Temperaturen und Perioden mit stärkerer Schüttung durch niedrigere Temperaturen gekennzeichnet. Im Vergleich zur Kressenteichquelle bei Breitau, wo die gleiche Abhängigkeiten zu beobachten ist, sind die Temperaturen im Mittel wesentlich geringer und der Temperaturgang weist deutliche Amplituden

auf (Abb. 10). Es lässt sich eine Parallelität mit dem Gang der Lufttemperatur (Mittelwert aus dem aktuellen Tagesmittel und den sechs vorausgegangenen Tagesmitteln) der zum Vergleich herangezogenen DWD-Station 1541 Sontra-Heyerode in 265 m ü. NN

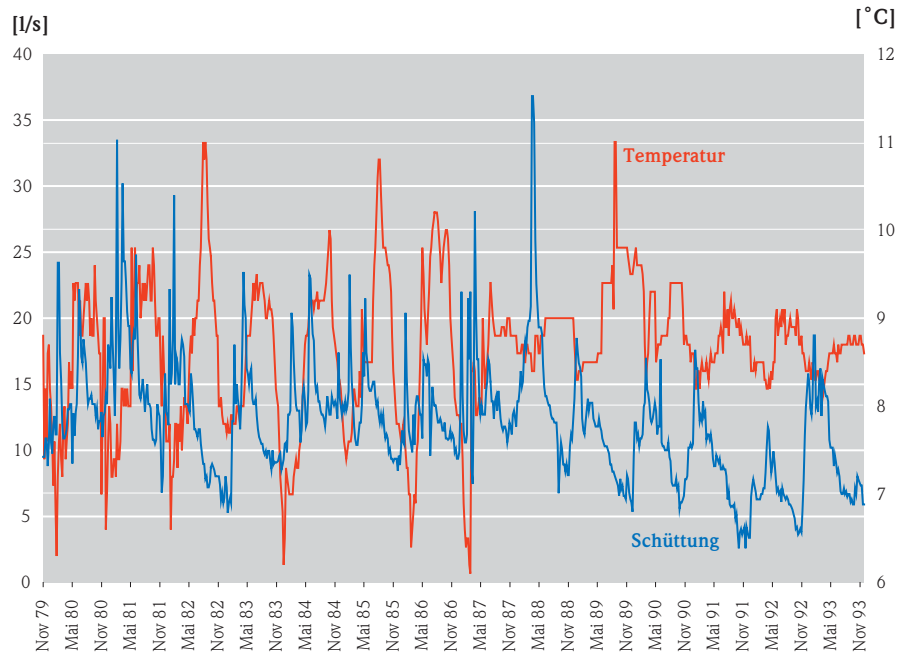


Abb. 9: Schüttung und Wassertemperatur (jeweils wöchentliche Messung) der Quelle 410507 Lüderbach, Messreihe November 1979 – Anfang Dezember 1993.

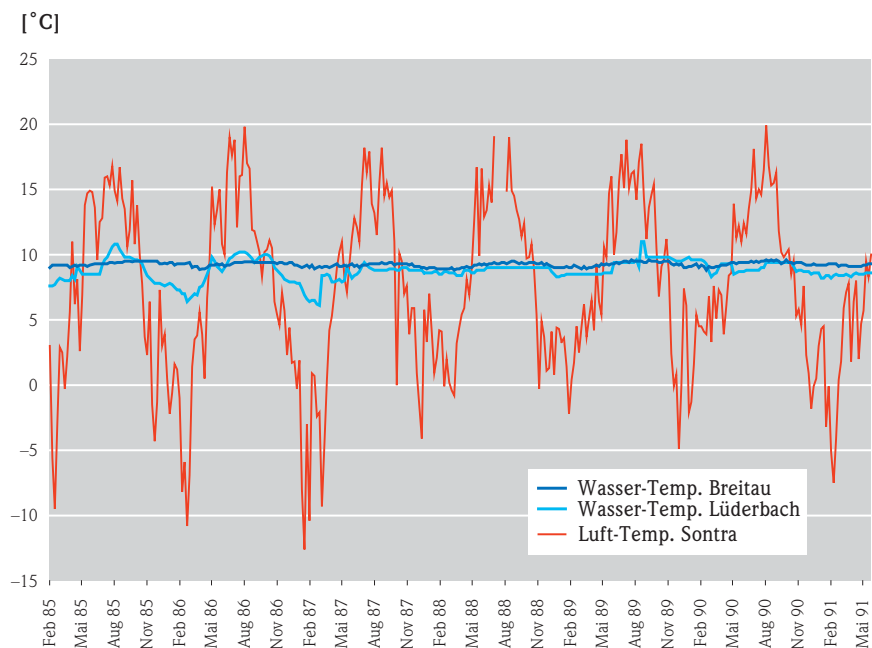


Abb. 10: Wassertemperaturen (Wochenturnus) der Quellen 410503 Breitau und 410507 Lüderbach im Zeitraum Februar 1985 - Mai 1991 im Vergleich zur Lufttemperatur (Wochenmittel) an der DWD-Station Sontra-Heyerode.

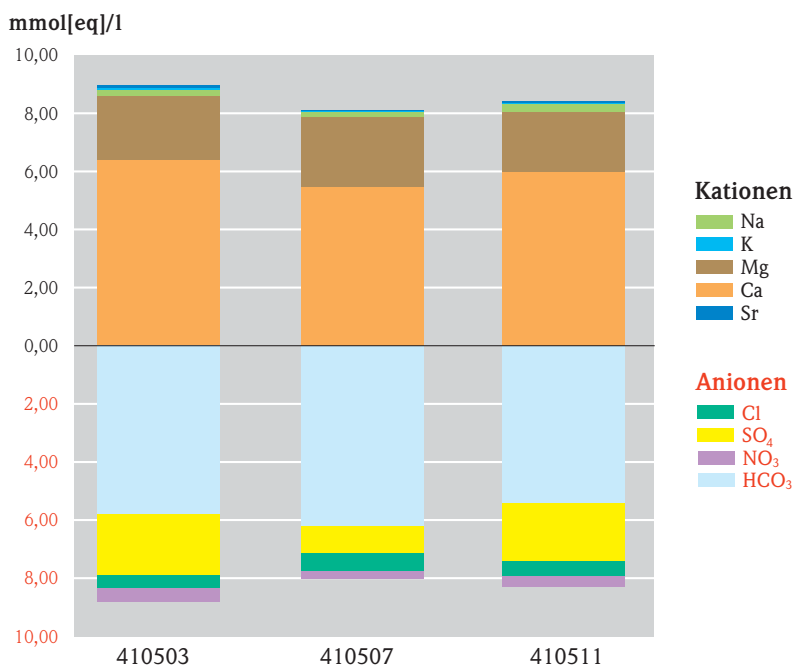


Abb. 11: Kationen/Anionen-Diagramm der Wasserbeschaffenheit der Kressenteichquelle in Breitau (410503), der Lüderbachquelle (410507) und der Quellen in Röhrda (410511), Beprobung September 1992.

im Gegensatz zu den beiden anderen Quellenbezirken in Breitau und Röhrda relativ oberflächennah befindet, worauf bereits hingewiesen wurde. Diese Situation ist nicht nur morphologisch begründet, sondern geht auch auf die Stauwirkung der Keuper-schichten in den kleinen tektonischen Gräben zurück.

Auch hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit zeigen alle Quellen Gemeinsamkeiten, im Detail gibt es aber genau so wie beim Schüttungsverhalten Unterschiede (Abb. 11). Wegen des vergleichbaren, jedoch nicht identischen petrologischen Backgrounds des Grundwasser-

auf. Im relevanten Zeitraum schwankten die Tagesmittel der Lufttemperatur zwischen 24,6 °C und -18,8 °C bei einem längerjährigen Tagesmittel von 7,5 °C, die Wochenmittel zwischen 19,9 °C und -12,6 °C. Signifikante Änderungen der Quellwassertemperatur vollziehen sich innerhalb einer Woche, wie sich aus einer Kreuzkorrelation mit einem maximalen $R = 0,86$ ableiten lässt. Im Gefolge von großen Niederschlagsereignissen oder während der Schneeschmelze können sich die Wassertemperaturen innerhalb weniger Tage um 0,5–1 °C ändern.

Solche raschen Temperaturänderungen des Quellwassers gelten als Indikator für ausgeprägtere Grundwasserneubildungsprozesse in einem gering dimensionierten Einzugsgebiet, das auf ca. 1 km² geschätzt wird, bzw. für ein relativ kleines Speichervolumen. Die Lüderbacher Quellen sind aber ein gutes Beispiel dafür, dass sich ein kleines Einzugsgebiet und ein vergleichsweise gutes Speichervermögen nicht ausschließen müssen. Die Wassertemperaturen sagen weiterhin aus, dass sich ihr unterirdisches Reservoir

erleiters ist der geohydrochemische Typ jeweils der gleiche (Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Typ), der Mineralisationsgrad und die Relation von Kationen und Anionen zueinander differieren jedoch etwas (insbesondere wegen wechselnder Mg- und SO₄-Gehalte vor allem im Mittleren Muschelkalk und im Bereich der von Gesteinen des Röt gebildeten Grundwassersohlfäche). Die Quellwässer in Breitau und Röhrda sind etwas höher mineralisiert als diejenigen in Lüderbach; eine mögliche Ursache könnte sein, dass die im Einzugsgebiet der Lüderbacher Quellen häufiger als weiter im Westen vorhandenen Schichten des Unteren Keupers beim Kontakt mit dem Grundwasser weniger in Lösung gehen als die Kalksteine im übrigen Ringgau. Auffällig sind messbare Strontiumgehalte insbesondere im Wasser der Kressenteichquelle (0,09 mmol(eq)/l bzw. 4 mg/l), das darüber hinaus die relativ höchste Stoffkonzentration aufweist und wegen eines Einzugsgebietes überwiegend im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Hochfläche des Ringgaus auch am meisten Nitrat enthält.

4 Literatur

- GABRIEL, B. & ZIEGLER, G.: Lithofaziesseinheiten – ein neues Konzept zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Festgesteinsbereich.- Wasserwirtschaft – Wassertechnik, **39**: 163–165, 3 Abb.; Berlin 1989.
- Gemeinde Ringgau – EAM Wasserversorgung GmbH: Pilotprojekt Ringgau 1998–2001: Grundwasserschutzorientierte Landbewirtschaftung im „Wasserschutzgebiet Ringgau“, Abschlussbericht, unveröff.-49 S., 16 Abb., 6 Tab., 5 Anlg.; Ringgau 2001.
- SCHULTZE, M., FISCHER, H. & GABRIEL, B.: Verknüpfung von Wasserbeschaffenheit und Wassermenge für das Grundwasser des Festgesteinsbereiches. – Acta hydrochim. hydrobiol., **18**: 673-681, 1 Abb., 2 Tab.; Weinheim/Bergstr. 1990.
- Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (Hrsg.): Grundwasser in Thüringen – Bericht zu Menge und Beschaffenheit. – 163 S., 141 Abb., 42 Tab., 10 Ktn., 8 Anl.; Erfurt 1997.
- TOUSSAINT, B.: Der Ringgau, ein natürliches Groß-Lysimeter – dargestellt am Wasserhaushalt der Breitauer Kressenteichquelle unter besonderer Berücksichtigung der Karsthydrogeologie.– Geol. Jb., **C 21**: 99–135, 10 Abb., 11 Tab.; Hannover 1979.
- TOUSSAINT, B.: Die Karsthydrogeologie des nordosthessischen Ringgauer. – Karst und Höhle, **1984/85**: 71–98, 18 Abb., 6 Tab.; München 1985.
- TOUSSAINT, B. Der staatliche Grundwasserdienst in Hessen. – Jb. Nass. Ver. Naturkde., **122**: 115–137, 13 Abb.; Wiesbaden 2001.
- WIEGAND, K. & KAUFMANN, E.: Hydrogeologisches Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zur Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für den Brunnen Röhrda der Gemeinde Ringgau, Werra-Meißner-Kreis, 21.3.1983, Az. 341-160/82-Ka-Wg/Zz, unveröff. – 7 S., 1 Anlg.; Wiesbaden 1983.