

Mitt. Ing.- u. Hydrogeol.	76	Wiss. Beiträge S. 73 – 87	7 Abb. 4 Tab.	Aachen August 2000
--------------------------------------	----	-------------------------------------	------------------	-------------------------------------

Flache und tiefe Grundwässer im Warsteiner Massenkalk

Gerhard Busch* & Silke Ewald*

- 1 Einleitung
- 2 Neue Erkenntnisse zur Hydrogeologie
 - 2.1 Wasserbilanz auf der Basis der oberirdischen Abflüsse
 - 2.2 Hydraulische und hydrochemische Verhältnisse im Warsteiner Massenkalk
- 3 Betrachtungen zum Gesamtsystem
- 4 Hypothesen zum hydraulischen Gesamtsystem
- 5 Literatur

1 Einleitung

Im nordöstlichen Sauerland tritt in der Umgebung von Warstein inmitten der ausgedehnten Tonschieferserien des Karbons im Kern einer Sattelstruktur mitteldevonischer Massenkalk zutage (Abb. 1).

Dieser von Verkarstung geprägte Kalkstein stellt seit mehr als einem Jahrhundert ein steti- ges Objekt geologischer und hydrogeologischer Exploration dar. Zahlreiche Untersuchun- gen seitens Universitäten, Behörden und ansässiger Industriebetriebe haben im Laufe der Zeit eine Fülle an Erkenntnissen über den geologischen Aufbau und das Grundwassersy- stem geliefert. Jedoch traten im Zuge des Erkenntnisgewinns eine Vielzahl neuer Frage- stellungen auf. Dies betrifft in besonderer Weise die Wasserbilanz des Warsteiner Massen- kalks.

* Dipl.-Geol. G. Busch und Dipl.-Geol. S. Ewald: ,GeoConsult Busch, Hammerweg 2-4, 52074 Aachen; www.gcb-ac.de

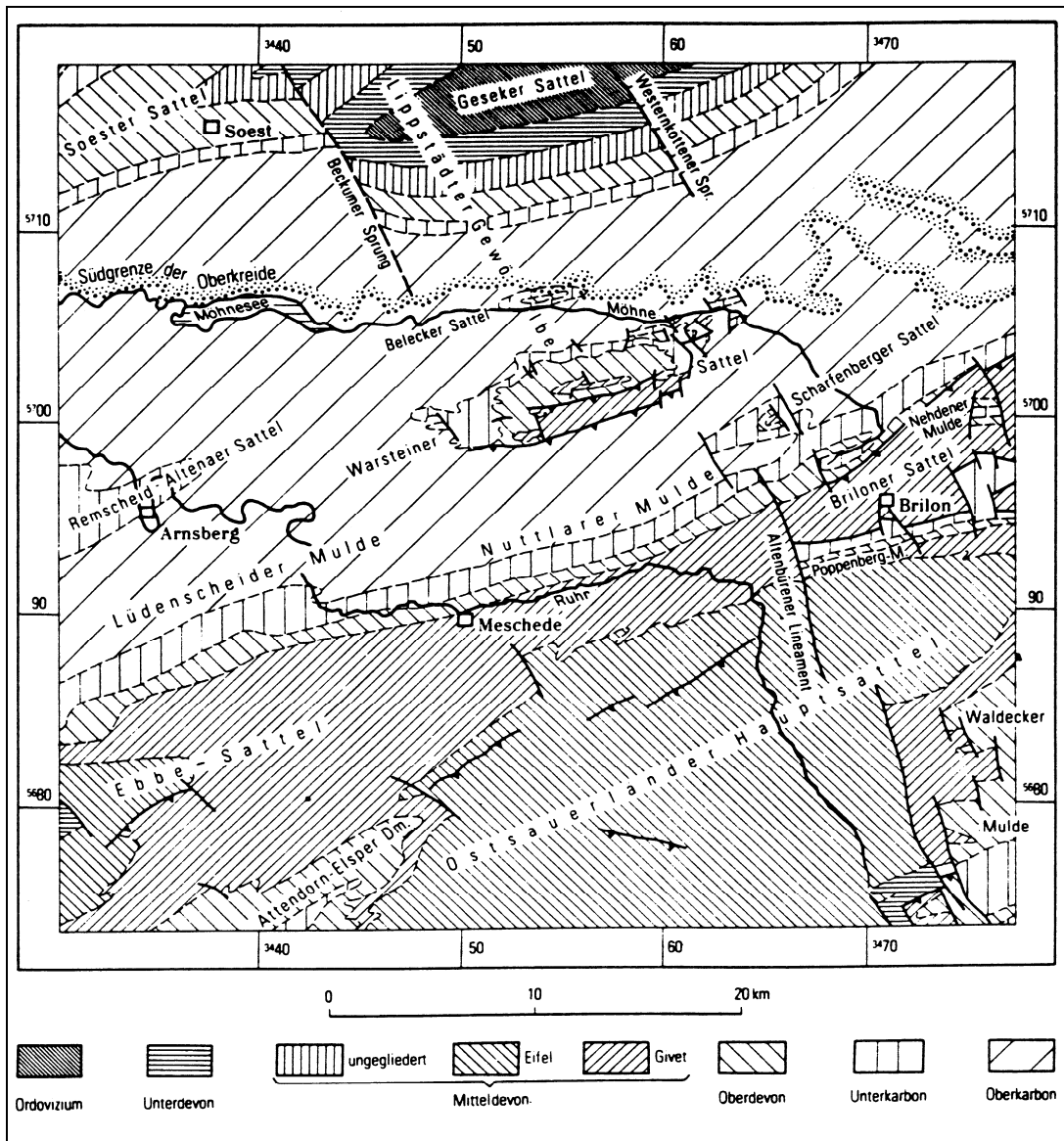


Abb. 1: Geologische Übersicht des Warsteiner Sattels und seiner Umgebung [1]

Der hydrogeologische Kenntnisstand, der vor allem mit den Namen Dr. Koch†, Prof. Dr.-Ing. Michel (beide ehemals GLA NRW) und Dr. Vogel (StUA Lippstadt) verbunden ist, kann wie folgt zusammengefaßt werden (eine weiterführende, umfassende Zusammenstellung des bisherigen Kenntnisstandes kann der Literatur entnommen werden):

- Der Warsteiner Massenkalk wird aus einem W-E streichenden, geschuppten Sattel mitteldevonischer Massenkalke aufgebaut, der an mehreren streichenden Überschiebungen auf die umgebenden paläozoischen Tonschieferserien aufgeschoben wurde. Es lassen sich zwei Kalkzüge (nördlicher und südlicher Kalkzug) abgrenzen, die jeweils durch streichende Störungen im Norden und Süden abgegrenzt sind (s. Abb. 2).

- Der Massenkalk wurde intensiv tektonisch beansprucht und läßt sich durch das in Tab. 1 dokumentierte Trennflächensystem charakterisieren.
- Der Oberflächenausbiß des Kalksteins beträgt ca. 11,3 km². Die Entwässerung ist in der Hauptsache an die beiden Vorfluter Lörmecke im Osten und Wester im Westen gebunden, die den Bereich des Massenkalks in zwei etwa S-N verlaufenden Tälern durchschneiden. In den eingeschnittenen Quertälern der Vorfluter treten im Ausstrich des Massenkalks zahlreiche Quellen zutage, deren Schüttungsmengen zum Teil sehr hoch sind. Aus drei gefaßten großen Karstquellen (Hillenberg II, Lörmecke-, Bullerteich-Quelle), deren Austrittsniveaus z.T. künstlich vertieft wurden, werden vom Wasserwerk Warstein und Wasserwerk Lörmecke derzeit jährlich etwa 5 Mio. m³ Grundwasser für die allgemeine Wasserversorgung entnommen.

Neben der Nutzung als Grundwasserspeicher stellt der Kalkstein aufgrund seines hohen Reinheitsgrades (97-98 % CaCO₃) einen Rohstoff dar, der in zahlreichen Industriezweigen Verwendung findet. Derzeit gewinnen mehrere mittelständische Betriebe jährlich insgesamt ca. 5-7 Mio. t hochwertigen Kalkstein in großflächigen Steinbruchbetrieben oberhalb des Grundwasserspiegels.

- Untersuchungen zur Wasserbilanz des Massenkalks in den Jahren 1971 und 1991 [3, 4] ergaben, daß ein Abflußüberschuß in der Größenordnung von 20,1 bzw. 16,7 Mio m³/a zwischen Zufluß und Gesamtabfluß vorliegt. Dieser Abflußüberschuß soll von einem älteren Karstgrundwasser bestimmt werden, das offensichtlich nicht im Warsteiner Raum entstanden ist und aus diesem Grunde als „Fremdwasser“ bezeichnet wird. Auffallend für dieses „Fremdwasser“ sind erhöhte Natrium- und Chloridgehalte sowie erhöhte Temperaturen des Wassers (bis ca. 15,5 °C).

Der hydrologische Zyklus im Laufe eines Wasserwirtschaftsjahres wird wie folgt beschrieben [5]: „Der base-flow an älterem Karstgrundwasser (= Fremdwasser) wird in den niederschlagsreichen Monaten durch den Abfluß an jungem, im Warsteiner Raum entstandenem Karstgrundwasser überlagert. Dieses hat eine geringe Verweildauer. Im Winter trägt es zur Wiederauffüllung des im Vorjahre leergelaufenen Karstkörpers bei. Im Laufe des Frühjahres und im Sommer überlagert es den Ausfluß des älteren Karstgrundwassers, wobei sich sein Anteil ständig verringert. Schließlich ist im Spätsommer

und Herbst nur noch das ältere Karstgrundwasser am Abfluß des Massenkalkgebietes allein beteiligt.“

- Die bisherigen Untersuchungen ergeben jedoch keine abschließende Antwort zur Herkunft des „Fremdwassers“. Mögliche Erneuerungsgebiete werden sowohl im südöstlich anschließenden Briloner Massenkalk als auch im Norden im Bereich des Münsterschen Beckens gesehen.

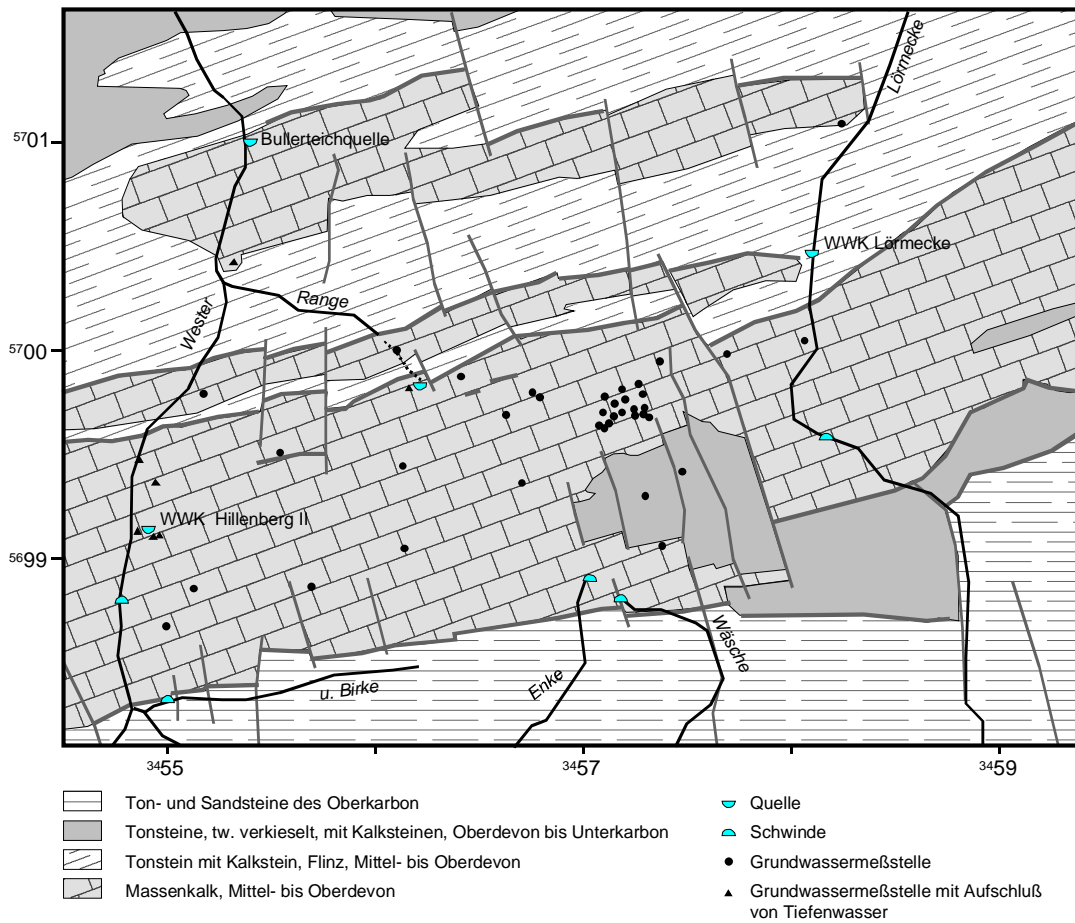


Abb. 2: Geologische Karte des Zentralbereichs des Warsteiner Sattels [1], generalisiert

Tab. 1: Trennflächensystem mit ermittelten Flächenmaxima [2]; Gefügeschreibweise

Schichtung	165-170°/30-38°
Diagonalklüfte (h0l-Klüfte)	335°/33°
Querklüfte (ac-Klüfte)	71°/85°
Diagonalklüfte (hk0-Klüfte)	185°/84°, 125°/87°

2 Neue Erkenntnisse zur Hydrogeologie

Im folgenden werden neue Erkenntnisse zur Hydrogeologie des Warsteiner Massenkalks vorgestellt, die auf umfangreichen Datenanalysen sowie aktuellen Geländeuntersuchungen im südlichen Massenkalkzug beruhen.

Sie bestätigen den Schluß, daß im Warsteiner Massenkalk zwei Grundwasserspezies vorliegen, die aufgrund ihrer „hydrostatischen“ Lage sowie der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung in flache (junge) und tiefe (ältere) Karstgrundwässer unterschieden werden können.

Hinsichtlich der Wiederergänzung dieser Grundwässer wird dargelegt, daß die flachen Karstgrundwässer durch die Neubildung aus dem oberirdischen Einzugsgebiet des Massenkalks bestimmt werden, während für die tiefen Karstwässer (Quellwässer) regionale Fließsysteme aus dem Bereich des Briloner Massenkalks verantwortlich gemacht werden können.

2.1 Wasserbilanz auf der Basis der oberirdischen Abflüsse

Für die Auswertungen des oberirdischen Fließsystems im Raum des Warsteiner Massenkalkzuges liegen bisher keine dauerhaften und kontinuierlichen Meßreihen vor. Die veröffentlichte Wasserbilanz aus dem Jahr 1971 [3] fußt auf nur wenigen Stichtagsmessungen und Interpolationen. Weitere Meßreihen wurden im Rahmen von Diplomarbeiten an der Universität Münster [4] im Zeitraum März 1991 bis März 1992 erhoben.

Auswertungen der Autoren zur Wasserbilanz, die vor allem auf der Basis dieser gemessenen 14-tägigen Abflüsse vorgenommen wurden, sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Das Ergebnis bestätigt, daß ein deutlicher jährlicher Abflußüberschuß in der Wasserbilanz aus dem Bereich des Warsteiner Massenkalks besteht. Für das relative Trockenjahr 1991 ließ sich auf Basis der Abflußbilanzierung ein Überschuß von ca. 13,1 Mio m³/a ermitteln.

Tab. 2: Wasserbilanz des Warsteiner Massenkalks, Zeitraum März 1991 bis März 1992 [4]

		durchschnittlicher Abfluß	durchschnittliche Abflußspende	Menge
		l/s	l/(s·km ²)	Mio. m ³ /a
	Oberflächen-Zufluss aus Bereich südlich Massenkalk	931	18,15	29,37
+	Oberflächen-Zufluß im Bereich des Massenkalk	289	16,05	9,11
-	Oberflächen-Abfluß aus dem Massenkalk	1.553	27,17	48,96
=	Überschuß	-333		-10,48
-	Wasserentnahmen aus dem Massenkalk (Wasserwerke)	173		5,46
+	Einleitung in Oberflächengewässer (Kläranlage)	ca. 90		2,84
=	Bilanz, „Fremdwasser“	-416		-13,1

Es wurde versucht, fehlende Daten zur Verdunstung bei der Aufstellung der Wasserbilanz durch eine Bilanzierung der Abflußregime im Schiefergebirge und im Massenkalk zu kompensieren.

2.2 Hydraulische und hydrochemische Verhältnisse im Warsteiner Massenkalk

2.2.1 Hydraulik

Die Auswertung der langjährigen 14-tägigen Grundwassermessungen (Zeitraum 1978-2000, [6]) im Bereich des südlichen Massenkalkzuges ergibt, daß ein generell nach Norden gerichtetes Potentialgefälle im Grundwasserkörper zu beobachten ist.

Im unverritzten Gebirge am Südrand des südlichen Kalkzuges werden im jahreszeitlichen Gang hierbei Potentialgefälle gegenüber dem Vorflutniveau bis zu 45 m beobachtet. Im Bereich der oberflächlich aufgelockerten Steinbruchbereiche tritt eine „Homogenisierung“ der Trennflächendurchlässigkeit auf, die hier im jahreszeitlichen Gang zu einer Dämpfung der Grundwasserschwankungen führt.

Als Vorflutniveau des flachen Karstwassers dienen die beiden Vorfluter Wester im Westen und Lörmecke im Osten. Die Grundwasserpotentiallinien deuten darauf hin, daß auch das Tal der Range als Vorflut für das oberflächennahe Karstgrundwasser anzusehen ist.

Eine direkte oder ausschließliche Orientierung der Potentiallinien auf die Quellen im Tal der Wester und Lörmecke kann jedoch nicht festgestellt werden. Großflächige Absenkungsfiguren im Bereich der beiden Wasserwerke „Lörmecke Stollen“ und „Hillenberg II“ können ebenfalls nicht beobachtet werden.

Insgesamt ist somit davon auszugehen, daß die Entwässerung der flachen Karstgrundwasser auf die beiden Vorfluter im Tal der Wester und Lörmecke gerichtet ist.

2.2.2 Hydrochemie

Zur Charakterisierung der chemischen Zusammensetzung des Karstgrundwassers erfolgten flächendeckende Grundwasserbeprobungen im zentralen Bereich des südlichen Massenkalkzuges. Die Ergebnisse der Vollanalysen im Frühjahr 2000 sind in Form eines dreilinearen Diagramms (Piper-Diagramm) in Abb. 3 dargestellt. Zur Bewertung des oberflächennahen Grundwassers wurden neben den schon vorhandenen Grundwassermeßstellen im Rahmen der Geländeuntersuchungen zusätzliche temporäre Grundwasseraufschlüsse herangezogen.

Die Auswertungen belegen, daß das flache Karstgrundwasser als Ca-HCO₃-SO₄-Typ charakterisiert werden kann. Die Lösungsinhalte erreichen Gehalte bis zu 520 mg/l bei elektrischen Leitfähigkeiten zwischen 150 bis 500 µS/cm (≤ 15 mg Cl⁻/l). In Bereichen mit oberirdischen Zuflüssen (verkarstete Bereiche) können starke Erhöhungen der Nitrat-Gehalte (bis 150 mg/l) beobachtet werden, die auf einen schnellen Eintrag von Düngemitteln hindeuten und zu deutliche Erhöhungen der elektrischen Leitfähigkeit führen.

Im Gegensatz dazu ist eine zweite Gruppe von Grundwässern zu erkennen, die durch erhöhte Natriumchlorid-Gehalte (140-170 mgCl⁻/l) auffallen und als das typisches „Fremdwasser“ zu charakterisieren sind. Es handelt sich um Wässer des Ca-Na-HCO₃- Cl- Typs.

Diese Wässer sind auf die Quellbereiche im Wester- und Lörmecketal beschränkt, mit Ausnahme der Rangequelle, die ebenfalls zu diesem Typ gezählt werden muß.

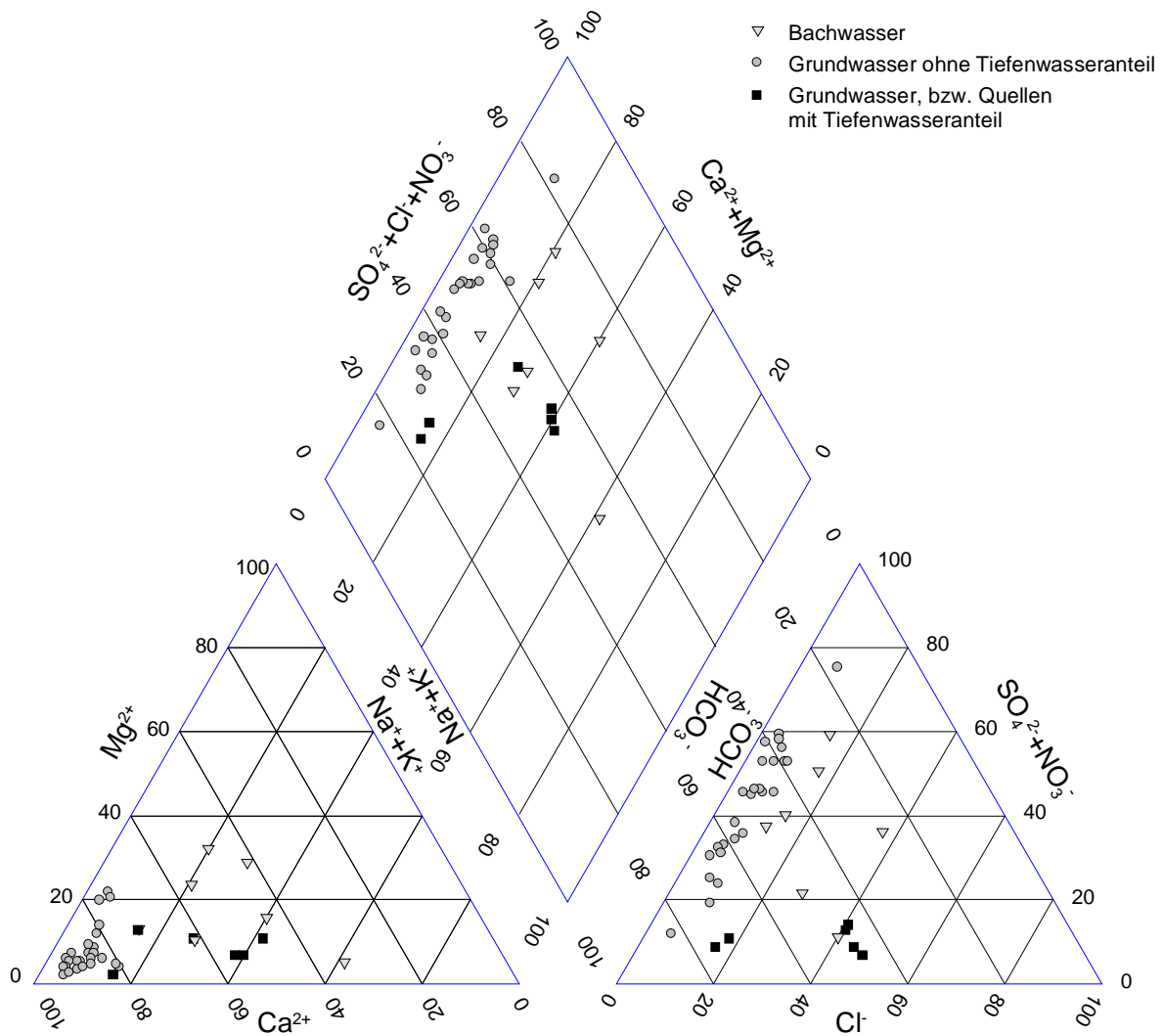


Abb.3: Dreilineares Stoffdiagramm (Piper-Diagramm)

2.2.3 Hydrochemische Abgrenzung Flaches / Tiefes Karstgrundwasser

Bei einer räumlichen Auswertung der Quellbereiche fällt auf, daß sich alle Aufschlüsse des tieferen Karstwassers in Bereichen mit tektonischen Elementen befinden. Zur Abgrenzung der unterschiedlichen Wässer wurden Tiefenlotungen der Parameter Temperatur und el. Leitfähigkeit in allen Grundwasseraufschlüssen (Grundwassermeßstellen und Bohrungen) vorgenommen.

Es wird deutlich, daß eine Trennung der flachen Karstgrundwässer von den höher temperierten und besser elektisch leitenden tiefen Karstgrundwässern vorgenommen werden kann. Erhöhte Leitfähigkeiten $> 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ im „Niveau“ der flachen Karstgrundwässer sind auf erhöhte Nitrateinträge im Grundwasser zurückzuführen.

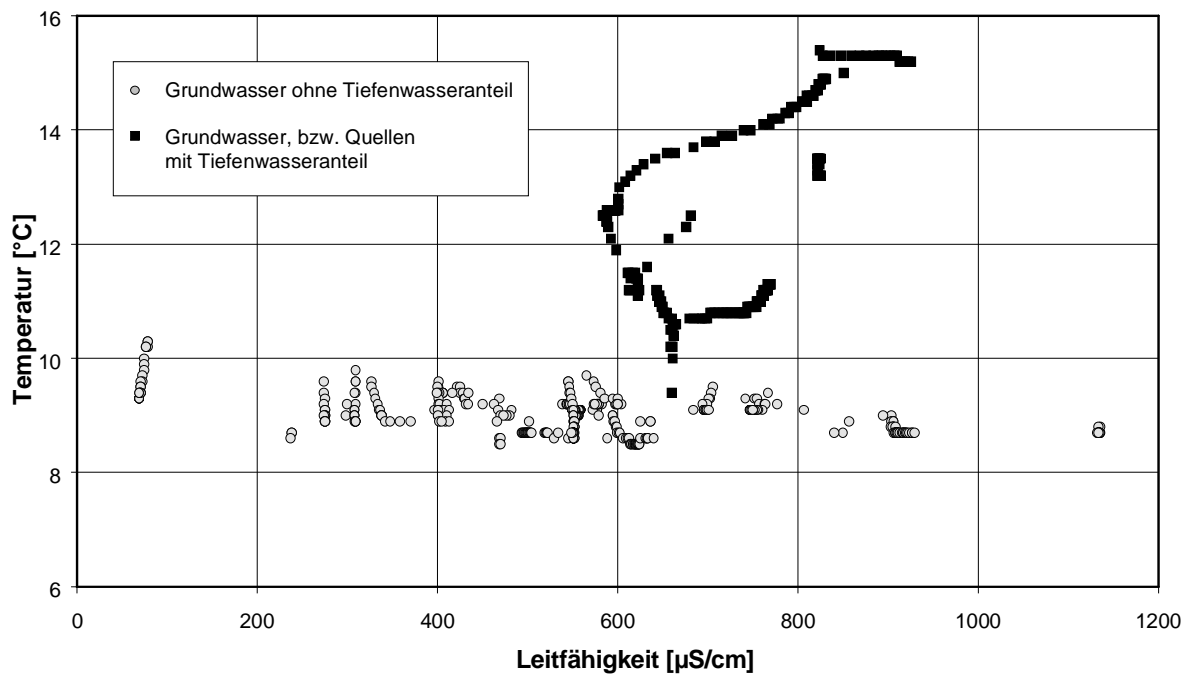


Abb. 4: Cross-Plot „Temperatur/Leitfähigkeit“; Tiefenstufe < 320 mNN

2.2.4 Alterbestimmungen des Grundwassers

Zur weitergehenden Typisierung der Grundwässer können hier erste Ergebnisse von aktuellen Isotopen und FCKW-Untersuchungen vorgestellt werden (Tab. 3).

Tab. 3: Meßergebnisse der Isotopen und FCKW-Messungen

Probe-Nr.	Tritium (TU)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	FCKW-Konz. [pmol/l]		
				F12	F11	F113
1	10,9 ± 1,1	-8,29	-54,9	2,9±0,2	5,4±0,3	0,48±0,05
2	10,7±0,7	-8,95	-61,5	3,1±0,2	5,0±0,3	0,91±0,05
3	12,2±1,3	-8,09	-55,0	3,2±0,2	5,7±0,3	0,51±0,05
4	12,1±1,0	-8,78	-59,9	3,3±0,2	9,0±1,0	1,9±0,2

Es wurden entlang des Fließsystems an 4 Punkten Wasserproben hinsichtlich ihrer Gehalte an ^3H , ^{18}O , ^2H und ausgewählten FCKW untersucht.

Untersuchungspunkte:

- Wäsche; oberirdisches Fließgewässer an der südlichen Grenze des Massenkalks (1)
- Range Quelle (2)
- temporärer Grundwasseraufschluß im südlichen Massenkalk (45 m Bohrung) (3)
- Wasserwerk Hillenberg II im Tal der Wester (4)

Sowohl die Ergebnisse der Tritium- als auch der FCKW-Analysen ergeben, daß die ermittelten Gehalte auf Wässer hindeuten, die durch derzeitige Niederschläge (ca. 12-13 TU) gebildet sein können und nur kurze Verweilzeiten von ca. 5 Jahren aufweisen. Sollten sich die Proben aus verschiedenen alten Grundwasserkomponenten zusammensetzen, müßte ein ^3H - und FCKW-freies Grundwasser (> 40 bis 50 Jahre) dem jungen Wasser zugemischt werden.

Die Auswertung der stabilen Isotope bestätigt das Ergebnis von jungen Wässern, da sich alle Wertepaare (^2H und ^{18}O) auf der sogenannten mittleren Niederschlagsgerade (Bezugsgerade Station Bad Salzuflen) befinden. Die ermittelte Signatur aller vier Proben weist somit auf rezent gebildete Grundwässer aus meteorischen Wässern hin.

3 Betrachtungen zum Gesamtsystem

Die vorgestellten Einzelergebnisse dokumentieren, daß neben dem flachen Karstgrundwasser höher mineralisiertes und temperiertes „Fremdwasser“ vorhanden ist, dessen Herkunft für die Beantwortung von wasserwirtschaftlichen Fragen im Bereich des Warsteiner Massenkalks von großer Bedeutung ist.

Zur Klärung der Herkunft dieses „Fremdwassers“ wurde eine Zeitreihenanalyse für die Parameter Niederschlag sowie Quellschüttung und Chlorid-Gehalt des Lörmecke-Wasserwerkes vorgenommen. Mittels Fourieranalyse lassen sich nachfolgend dargestellte periodische Komponenten aus den langjährigen Zeitreihen (1970 bis 1999) ableiten (Abb. 5).

In allen drei Zeitreihen ist für eine Frequenz von $30 =$ einer Periode von 12 Monaten eine signifikante periodische Schwingung zu erkennen. Dies deutet darauf hin, daß der Jahresgang der Quellschüttung Q und des Chlorid-Gehaltes Cl durch den jährlichen Niederschlagszyklus N (verdunstungskompensiert) beeinflusst wird. Zur weiteren Auswertung wird in Abb. 6 die periodizitätsbereinigte Zeitreihe der drei Ganglinien in Form der glei-

tenden Mittelwerte (1 Jahr) dargestellt. Hierbei wurden die aus der Fourier-Analyse ermittelten Phasenverschiebungen berücksichtigt.

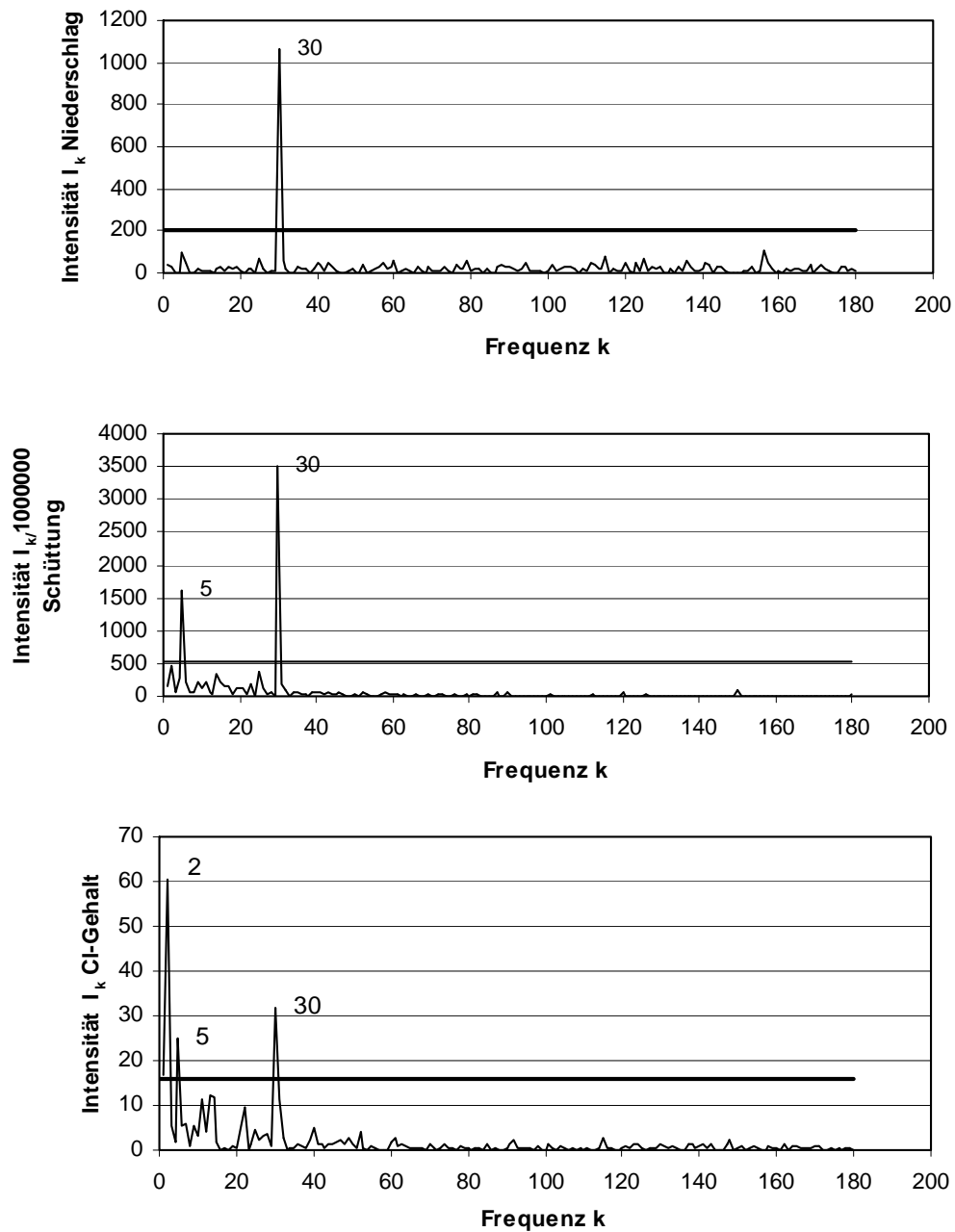


Abb. 5: Periodogramme für die Zeitreihen (monatliche Werte) Niederschlag abzgl. Verdunstungskomponente, Quellschüttung und Chlorid-Gehalt (Signifikanzgrenze 5%)

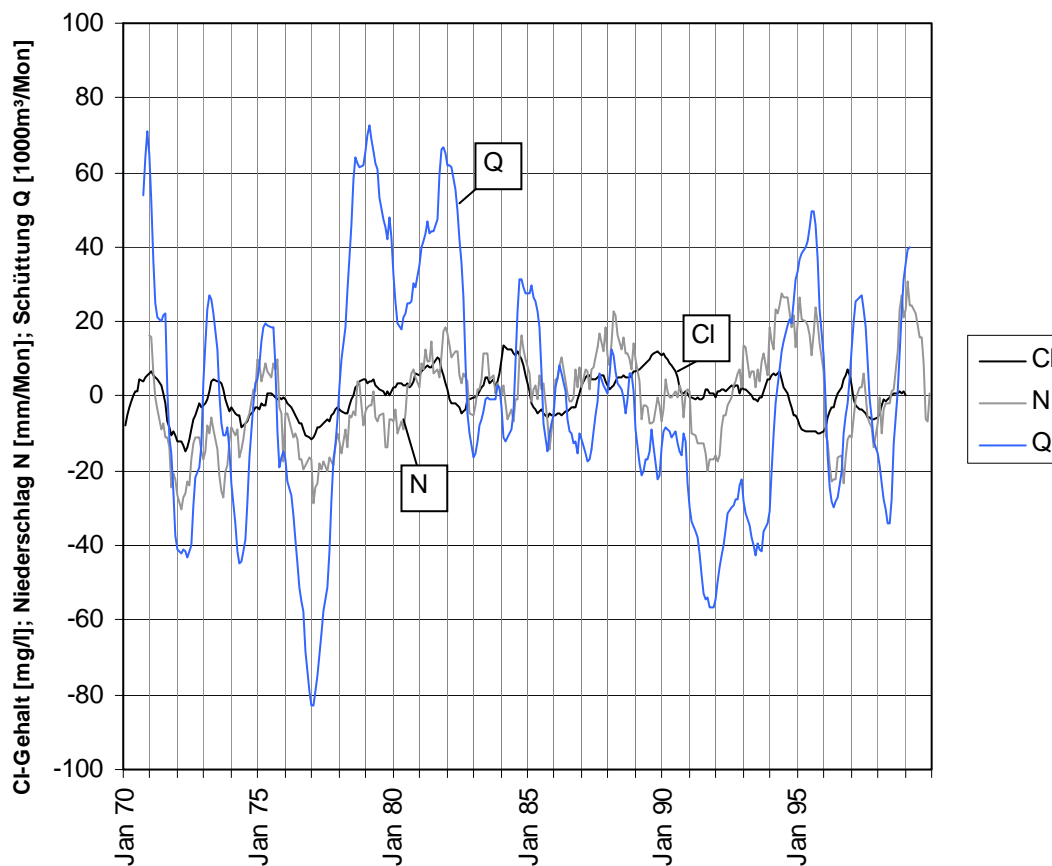


Abb. 6 Periodizitätsbereinigte Zeitreihe der drei Ganglinien (phasenkoriert) in Form der gleitenden Mittelwerte (1 Jahr)

Diese Zeitreihenanalyse erlaubt folgende Interpretationen:

- Es ist eine gute Korrelation der drei Ganglinien festzustellen. Unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung können zeitliche Abhängigkeiten zwischen Niederschlag, Schüttung und Chlorid-Gehalt festgestellt werden. Schüttungsereignisse folgen Niederschlagsereignissen mit einem Verzug von ca. 3 Monaten, während Änderungen des Chloridgehaltes wiederum weitere 8 Monate später folgen.
- Weiterhin kann aus der periodizitätsbereinigten Zeitreihe (Abb. 6) gefolgert werden, daß diese zeitliche Ereignisabfolge, im Zeitraum der letzten 30 Jahre, leichten Schwankungen unterworfen ist. Deutlich kürzere Intervalle in der zeitlichen Ereignisabfolge lassen sich für die Dekade 1980-1990 feststellen.

- ⇒ Im Bereich des Briloner Massenkalks (ca. 10 km südöstlich) ist ein Grundwasserpotentialniveau von 430 mNN vorhanden, welches als ausreichendes hydraulisches Potential für Grundwasserübertritte in den Warsteiner Raum angesehen werden kann.
2. Alle hydrogeologischen Untersuchungen bestätigen, daß im Bereich des Warsteiner Massenkalks ein Abflußüberschuß von 13 bis 20 Mio. m³/a besteht, während für den Briloner Massenkalk ein Abflußdefizit in vergleichbarer Höhe ermittelt wurde [7].
- ⇒ Die Mengenbilanz spricht für ein Grundwasserneubildungsgebiet im Bereich des Briloner Massenkalks.
3. Berechnungen zum Mischungsverhältnis des Quellwassers bzw. zur Ausgangskonzentration des „Fremdwassers“ lassen unter Berücksichtigung der hohen Überschußmengen den Schluß zu, daß keine hochkonzentrierten Salzsohlen im Nahfeld des Warsteiner Massenkalks an den Mischungsprozessen beteiligt sind (s. Tab. 4).
- ⇒ Unter Berücksichtigung einer gleichbleibenden geringen Cl-Konzentration des flachen Grundwassers müßte sich in Zeiten hoher oberflächennaher Grundwasserzuflüsse eine deutliche Konzentrationserhöhung im „Fremdwasser“ einstellen, um die gleichbleibende Auslaufkonzentration an den Quellen zu gewährleisten. Dies kann angesichts der schnellen und starken hohen Abflußzunahme im flachen Karstgrundwasser als unwahrscheinlich angesehen werden. Hieraus folgt, daß dem aufsteigenden „Fremdwasser“ im Jahresgang jeweils nur geringe Mengen (ca. 10 – 20 %) flacher Karstgrundwasser zugemischt werden.
4. Die Altersuntersuchungen der Grundwässer ergeben, daß sowohl das flache Grundwasser als auch das „Fremdwasser“ meteorischen Ursprungs sind und nur geringe Verweilzeiten von wenigen Jahren aufweisen.
- ⇒ Diese Befunde sprechen dafür, daß es sich um Karstwässer handelt, die zum einen oberflächennah dem Warsteiner Massenkalk als flaches Grundwasser zufließen und zum anderen durch tiefgreifende Verkarstungsprozesse aus dem Bereich des Briloner Massenkalks über bisher nicht bekannte hydraulische Verbindungen an tektonischen Elementen im Warsteiner Massenkalk wieder aufsteigen.

Insgesamt kann daher davon ausgegangen werden, daß die im Warsteiner Massenkalk ausfließenden Quellen, die deutlich erhöhte Natrium-Chlorid-Frachten und erhöhte Tempe-

raturen aufweisen, durch bisher unbekannte Verbindungen aus dem Bereich des Briloner Massenkalks gespeist werden. Die derzeitigen Auslaufniveaus der Quellen im Briloner und Warsteiner Massenkalk mit Höhen zwischen 295 und 325 mNN bestätigen diese kaskadenartige Entwässerung.

5 Literatur

- [1] CLAUSEN, C.-D. & LEUTERITZ, K.: Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000 Erl. Blatt 4516 Warstein. - 115 S., 20 Abb., 14 Tab., 3 Taf., Krefeld 1984.
- [2] KAPPEN, V.: Ingenieurgeologische Steinbruchkartierung im Warsteiner Massenkalk zur Erfassung des Trennflächengefüges unter Berücksichtigung der Wasserwirksamkeit. - Dipl.-Kart. RWTH-Aachen (unveröff.), Aachen 1999.
- [3] KOCH, M., MICHEL, G. & SCHRÖTER, H.: Zur Hydrogeologie des Warsteiner Massenkalk-Gebietes (nordöstliches Sauerland). – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., S195 – 214, 4 Abb., 5 Tab., 2 Taf., Krefeld 1974.
- [4] KUNK, S. & SCHÖTTLER, C.: Hydrogeologische Untersuchungen im Warsteiner Massenkalk. Abflußzyklus und hydrochemischer Zyklus. - Dipl. Arb., Universität Münster (unveröff.), Münster 1994.
- [5] KOCH, M. & MICHEL, G.: Der Warsteiner Massenkalk - Hydrogeologie und Wasserwirtschaft. - Aufschluß: Sonderband 29 (Warstein), S. 125-142, 9 Abb., 4 Tab., Heidelberg 1979.
- [6] Grundwasserüberwachung : Grundwassermessungen im Bereich Warstein. – StUA Lippstadt, Stadtwerke Warstein, Lörmecke Wasserwerke, eigene Messungen, 2000
- [7] LEICHTLE, T.: Wasserwirtschaftliche Gesamtdarstellung „Briloner Massenkalk“. - Büro Dr. T. Leichtle (unveröff. Gutachten LUA NRW), Aachen 1994.