

# Flache und tiefe Grundwässer im Warsteiner Massenkalk

Dipl.-Geol. Gerhard Busch\* und Dipl.-Geol. Silke Ewald\*

\* Dr. NEUMANN & BUSCH CONSULTING • Harscampstr. 3 • 52062 Aachen • www.NBCConsulting.de

## 1 Einleitung

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

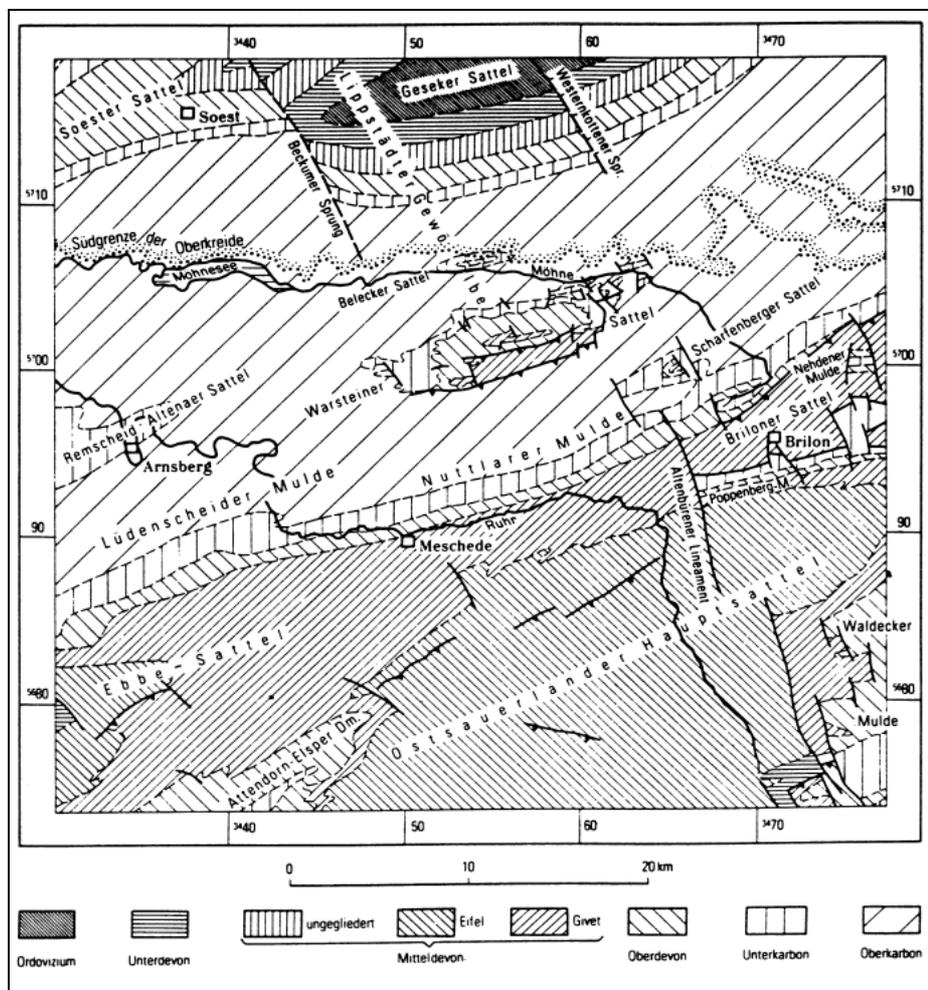


Abb. 1: Geologische Übersicht des Warsteiner Sattels und seiner Umgebung [1]

Dieser von Verkarstung geprägte Kalkstein stellt seit mehr als einem Jahrhundert ein stetiges Objekt geologischer und hydrogeologischer Exploration dar. Zahlreiche Untersuchungen seitens Universitäten, Behörden und ansässiger Industriebetriebe haben im Laufe der Zeit eine Fülle an

Erkenntnissen über den geologischen Aufbau und das Grundwassersystem geliefert. Jedoch traten im Zuge des Erkenntnisgewinns eine Vielzahl neuer Fragestellungen auf. Dies betrifft in besonderer Weise die Wasserbilanz des Warsteiner Massenkalks.

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<sup>1</sup>:

- 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).

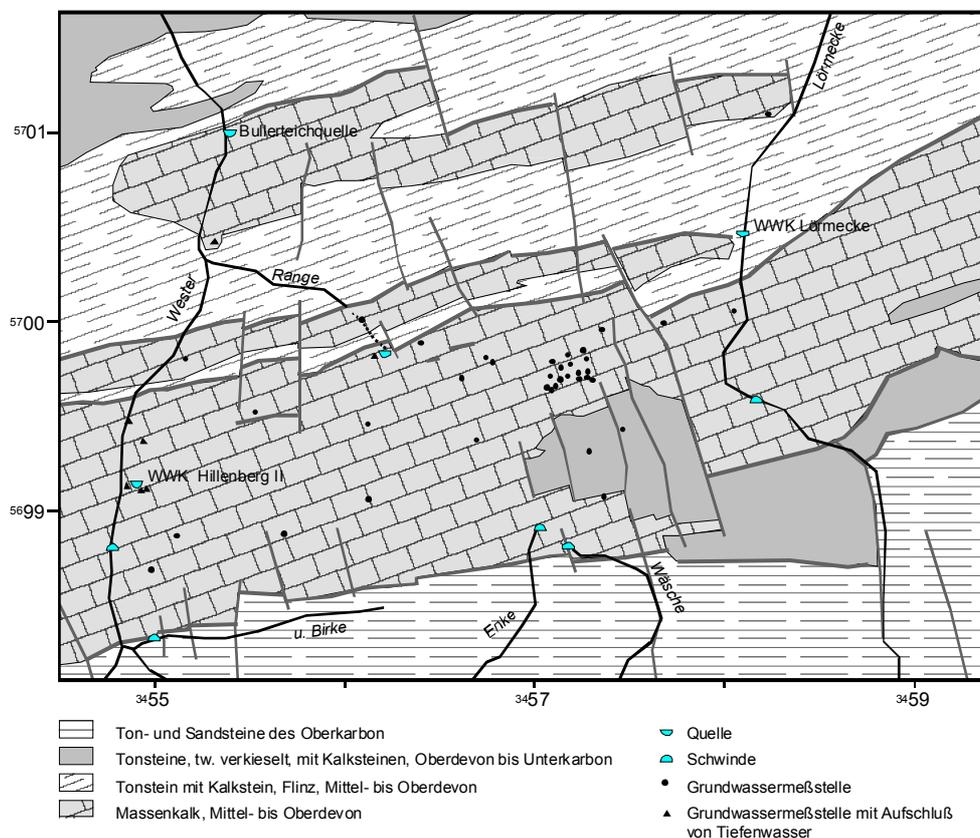


Abb. 2: Geologische Karte des Zentralbereichs des Warsteiner Sattels, [1] generalisiert

- Der Massenkalk wurde intensiv tektonisch beansprucht und läßt sich durch das folgende Trennflächensystem charakterisieren (s. Tab. 1).

<sup>1</sup> Eine weiterführende, umfassende Zusammenstellung des bisherigen Kenntnisstandes kann der Literatur entnommen werden

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°

- Der Oberflächenausbiß des Kalksteins beträgt ca. 11,3 km<sup>2</sup>. Die Entwässerung ist in der Hauptsache an die beiden Vorfluter Lörmecke im Osten und Wester im Westen gebunden, die den Bereich des Massenkalkes in zwei etwa S-N verlaufenden Tälern durchschneiden. In den eingeschnittenen Quertälern der Vorfluter treten im Ausstrich des Massenkalkes zahlreiche Quellen zutage, deren Schüttungsmengen zum Teil sehr hoch sind. Aus drei gefassten großen Karstquellen (Hillenbergr II, Lörmecke-, Bullerteich-Quelle), deren Austrittsniveaus z.T. künstlich vertieft wurden, werden vom Wasserwerk Warstein und Wasserwerk Lörmecke derzeit jährlich etwa 5 Mio. m<sup>3</sup> Grundwasser für die allgemeine Wasserversorgung entnommen.

Neben der Nutzung als Grundwasserspeicher stellt der Kalkstein aufgrund seines hohen Reinheitsgrades (97-98 % CaCO<sub>3</sub>) 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 Massenkalkes in den Jahren 1971 und 1991 [3 + 4] ergaben, dass ein Abflußüberschuß in der Größenordnung von 20,1 bzw. 16,7 Mio m<sup>3</sup>/a zwischen dem 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 Karstgrundwasser, 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.

## 2 Neue Erkenntnisse zur Hydrogeologie

Im folgenden werden neue Erkenntnisse zur Hydrogeologie des Warsteiner Massenkalkes 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 Massenkalkes bestimmt werden, während für die tiefen Karstwässer (Quellwässer) regionale Fließsysteme aus dem Bereich des Briloner Massenkalkes 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 keiner 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, können hier wie folgt zusammengefaßt werden (Tab. 2):

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

		durchschnittlicher Abfluß	durchschnittliche Abflußspende	Menge
		l/s	l/(s*km <sup>2</sup> )	Mio. m <sup>3</sup> /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 (Wasswerke)	173		5,46
+	Einleitung in Oberflächengewässer (Kläranlage)	ca. 90		2,84
=	<b>Bilanz, „Fremdwasser“</b>	<b>-416</b>		<b>-13,1</b>

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

Das Ergebnis bestätigt, dass ein deutlicher jährlicher Abflußüberschuß in der Wasserbilanz aus dem Bereich des Warsteiner Massenkalkes besteht. Für das relative Trockenjahr 1991 ließ sich auf Basis der Abflußbilanzierung ein Überschuß von ca. 13,1 Mio m<sup>3</sup>/a ermitteln.

## 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 Karstgrundwässer 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.

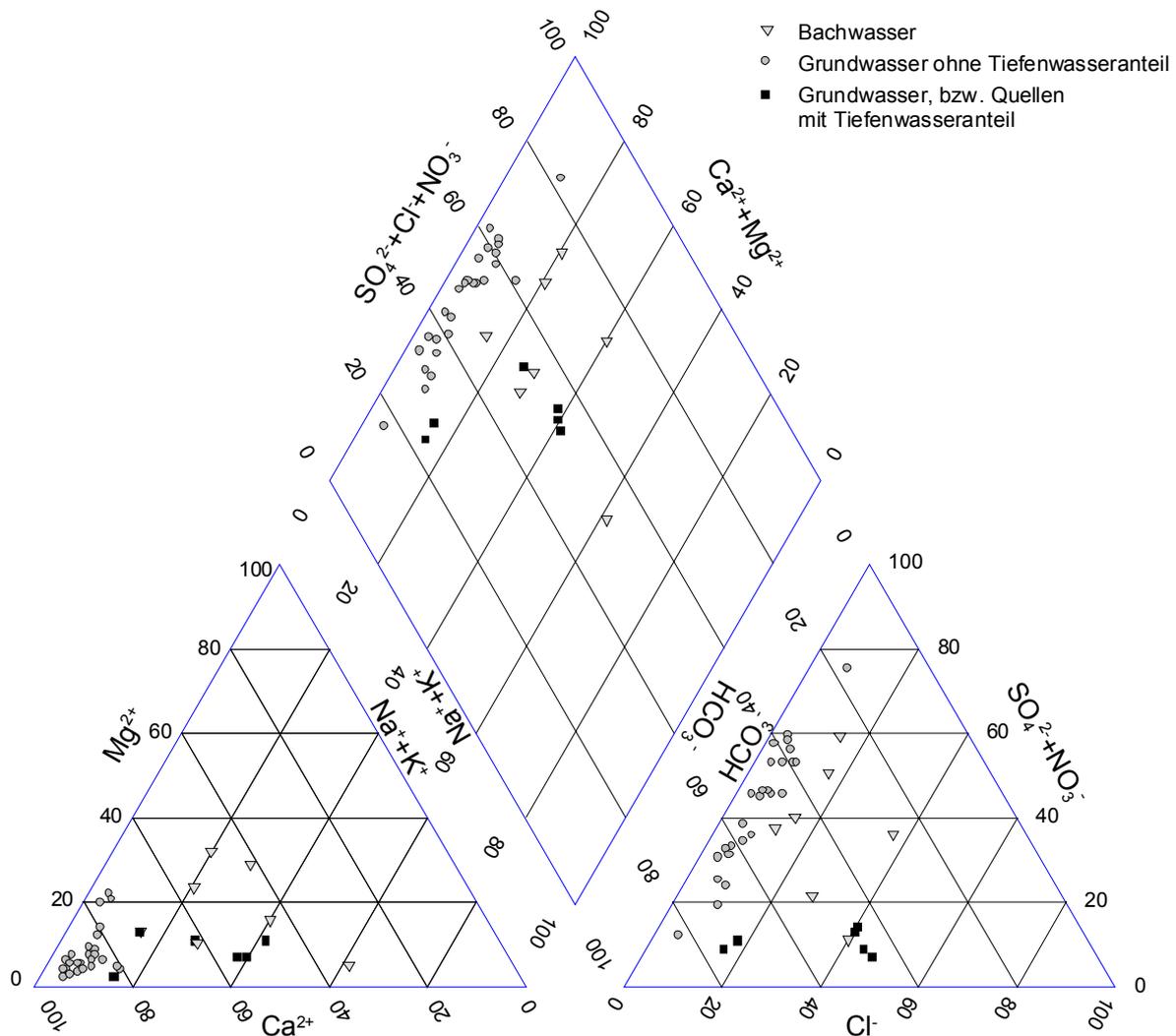


Abb.3: Dreilines Stoffdiagramm (Piper-Diagramm)

Die Auswertungen belegen, dass das flache Karstgrundwasser als Ca - HCO<sub>3</sub> – SO<sub>4</sub> Typ charakterisiert werden kann. Die Lösungsinhalte erreichen Gehalte bis zu 520 mg/l bei elektrischen Leitfähigkeiten zwischen 150 bis 500 µS/cm (Cl ≤ 15 mg/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 (Cl 140-170 mg/l) auffallen und als das typisches „Fremdwasser“ zu charakterisieren sind. Es handelt sich um Wässer des Ca – Na – HCO<sub>3</sub> – 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.

### 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.

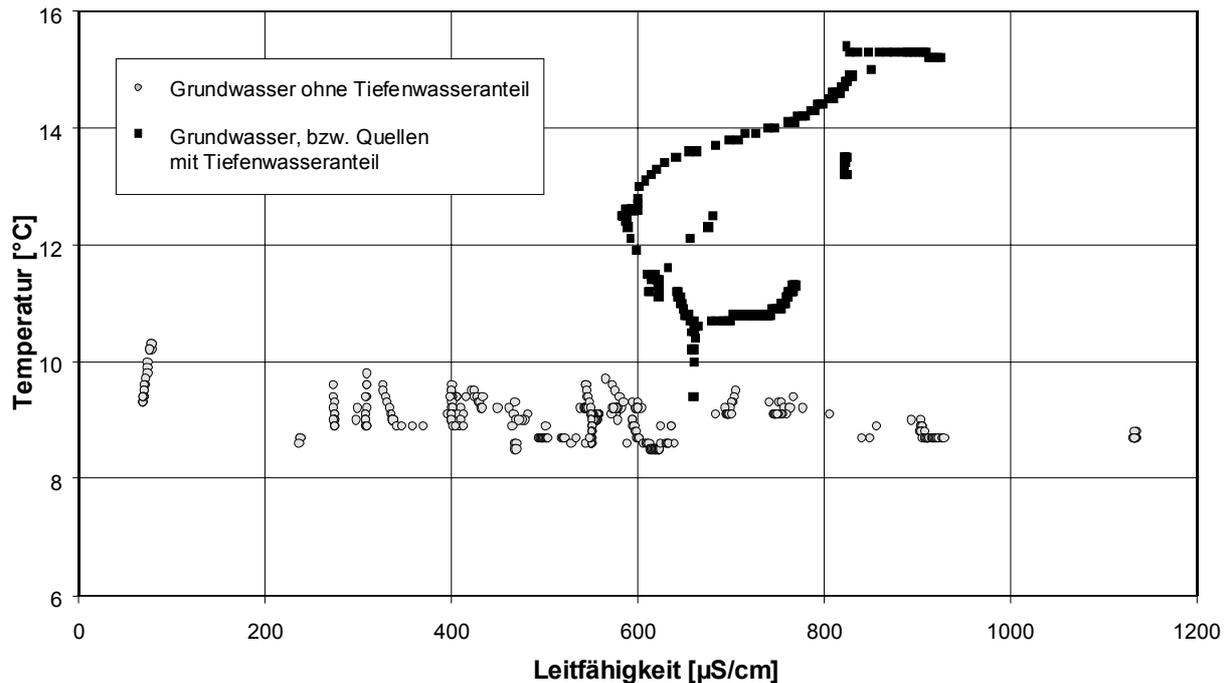


Abb. 4: Cross-Plot „Temperatur/Leitfähigkeit“; Tiefenstufe < 320 mNN

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 µS/cm im „Niveau“ der flachen Karstgrundwässer sind auf erhöhte Nitrateinträge im Grundwasser zurückzuführen.

### 2.2.4 Alterbestimmungen des Grundwassers

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

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

#### Untersuchungspunkte:

- Wäsche; oberirdisches Fließgewässer an der südlichen Grenze des Massenkalkes (1)
- Range Quelle (2)

- Temporärer Grundwasseraufschluß im südlichen Massenkalk (45 m Bohrung) (3)
- Wasserwerk Hillenberg II im Tal der Wester (4)

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	-54,9	3,3±0,2	9,0±1,0	1,9±0,2

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  $^3\text{H}$ - 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 ( $^2\text{H}$  und  $^{18}\text{O}$ ) 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 Massenkalkes 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 (s. Abb. 5).

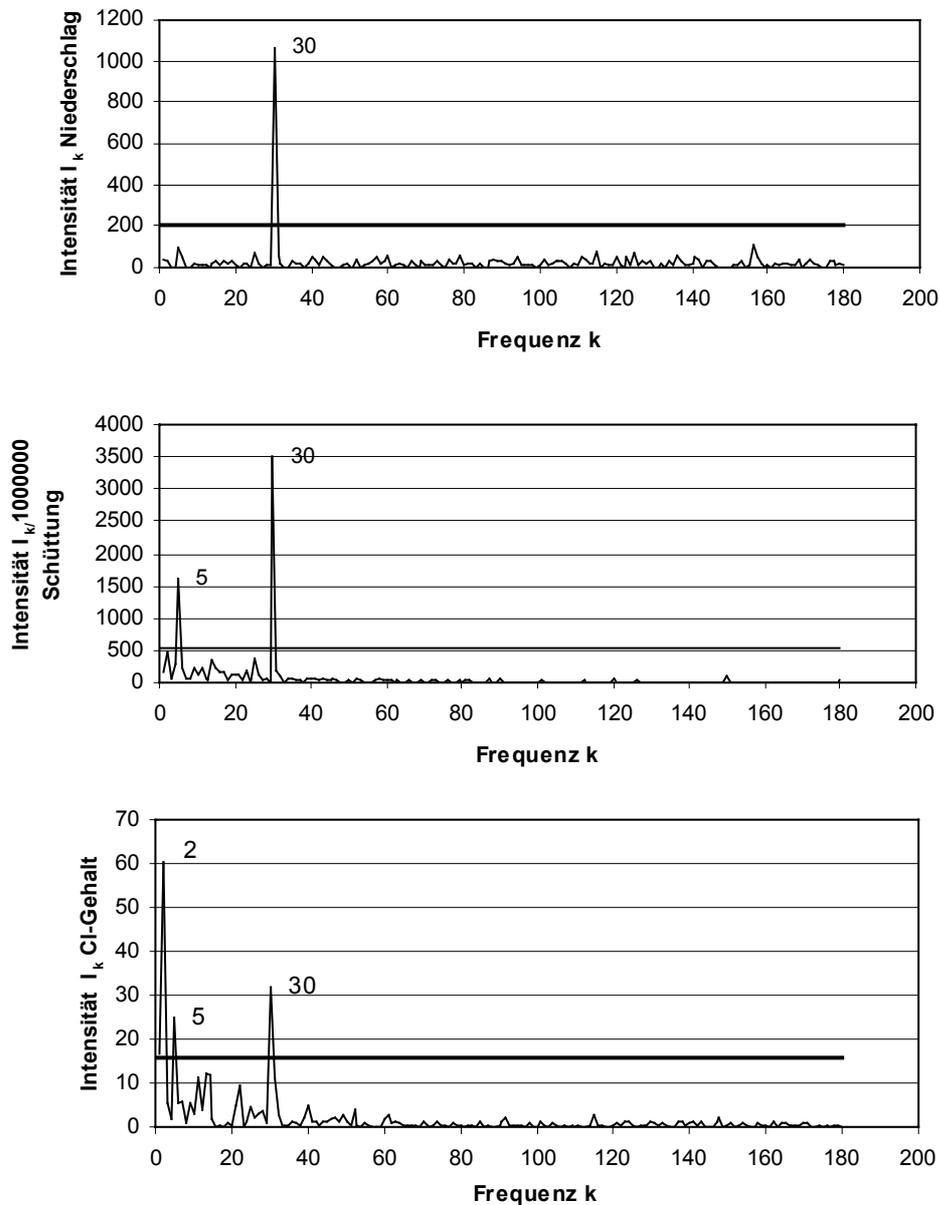


Abb. 5: Periodogramme für die Zeitreihen (monatliche Werte) Niederschlag abzgl. Verdunstungskomponente, Quellschüttung und Chlorid-Gehalt (Signifikanzgrenze 5%)

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

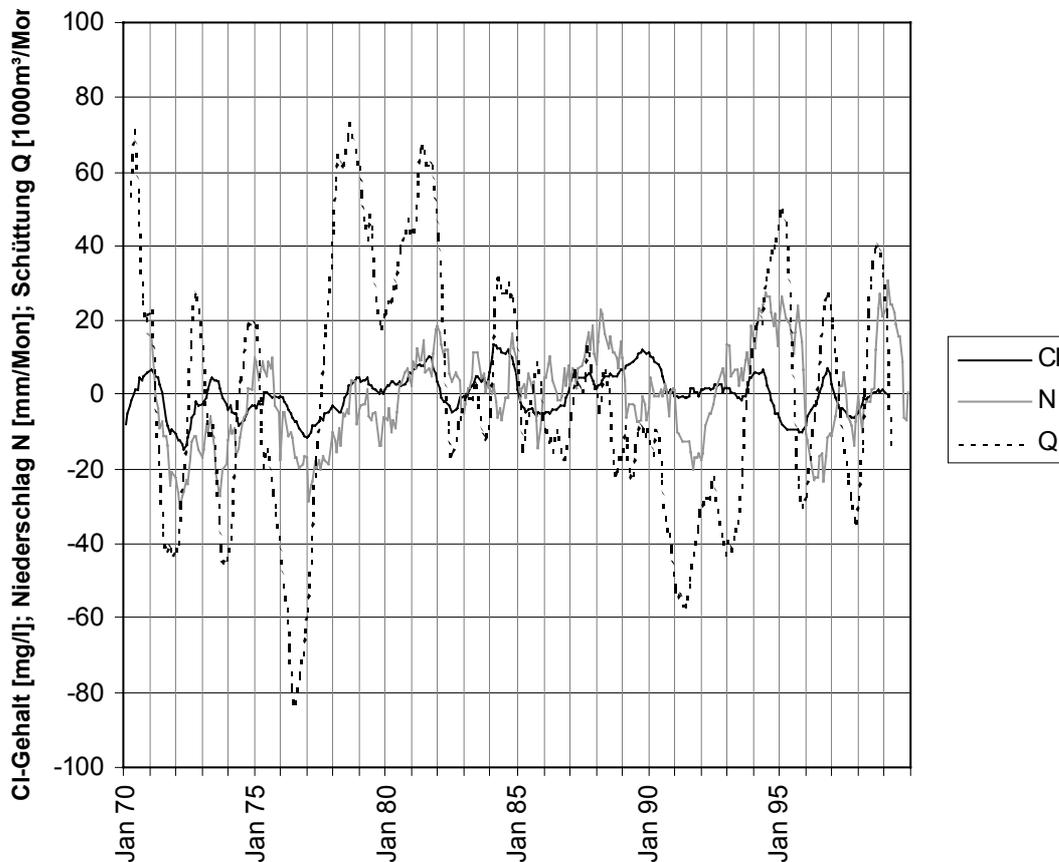


Abb. 6 Periodizitätsbereinigte Zeitreihe der drei Ganglinien (phasenkorrigiert) in Form der gleitenden Mittelwerte (1 Jahr)

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 9 monatigen Verzug, während Änderungen des Chloritgehaltes wiederum weitere 2 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 unterlegen hat. Deutlich kürzere Intervalle in der zeitlichen Ereignisabfolge lassen sich für die Dekade 1980-1990 feststellen.

#### 4 Hypothesen zum hydraulischen Gesamtsystem

Eine Gesamtbetrachtung aller vorgestellten Einzelfakten, im Hinblick auf die Herkunft des „Fremdwassers“ im Warsteiner Massenkalk, kann anhand der folgenden schematischen Skizze erläutert werden (s. Abb. 7).

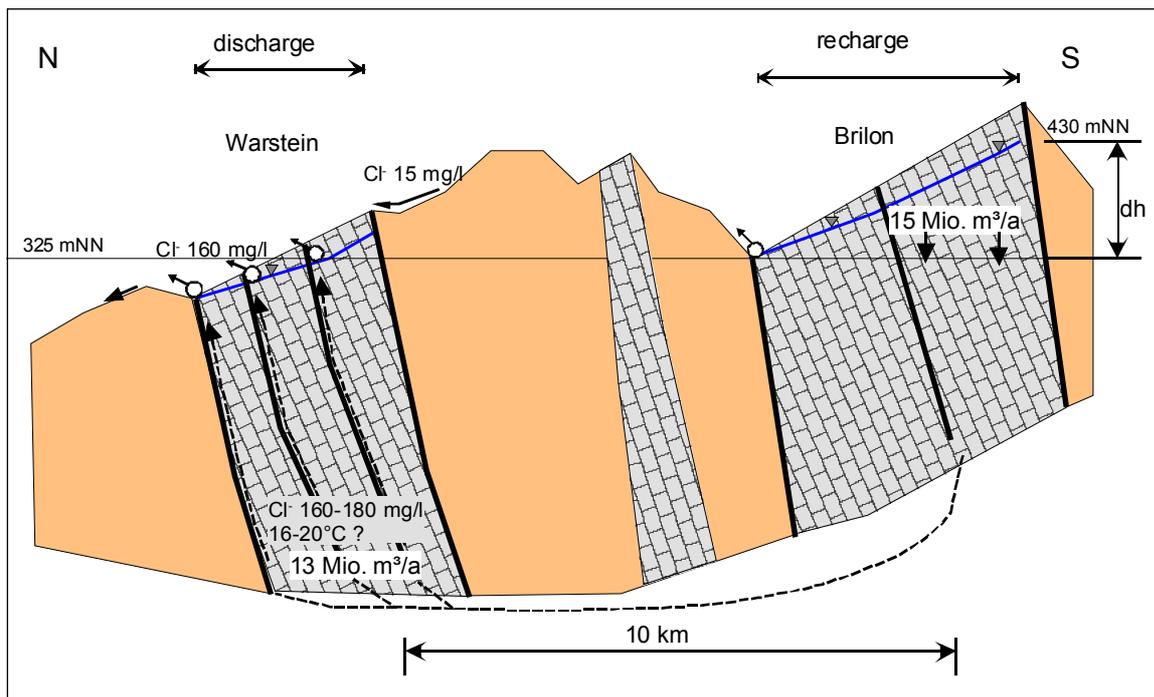


Abb. 7 Schematisches Profil zur hydraulischen Gesamtsituation

Die vorgestellten Analysen lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Die Auswertungen der Zeitreihenanalyse zeigt eine hohe zeitliche Signifikanz zwischen Niederschlag (=GW-Neubildung) und der Quellschüttung, so daß hier eine direkte hydraulische Verbindung von Erneuerungsgebieten zum Schüttungsgebiet postuliert werden kann.

Im Bereich des Briloner Massenkalkes (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 Massenkalkes ein Abflußüberschuß von 13 bis 20 Mio. m<sup>3</sup>/a besteht, während für den Briloner Massenkalk ein Abflußdefizit in vergleichbarer Höhe ermittelt wurde [7].

Die Mengenzbilanz spricht für ein Grundwasserneubildungsgebiet im Bereich des Briloner Massenkalkes.

3. Berechnungen zum Mischungsverhältnis des Quellwassers bzw. zur Ausgangskonzentration des „Fremdwassers“, unter Berücksichtigung der hohen Überschüßmengen lassen den Schluss zu, dass keine hochkonzentrierten Salzsohlen im Nahfeld des Warsteiner Massenkalkes an den Mischungsprozessen beteiligt sind (s. Tab. 4).

Tab. 4: Mischungsreihe „Fremdwasser“ / flaches Karstwasser

Anteil von „Fremdwasser“ (C = X mg/l Cl)	Cl-Konzentration X [mg/l]	Anteil von flachem Karstwasser (C = 15 mg/l Cl)		
		10 %	50 %	90 %
90 %	<b>176</b>	160		
50 %	<b>305</b>		160	
10 %	<b>1.465</b>			160

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 hohen Abflußereignisse im flachen Karstgrundwasser als unwahrscheinlich angesehen werden. Hieraus folgt, daß dem aufsteigenden „Fremdwasser“ im Jahresgang jeweils nur geringe Mengen (ca. 10 – 20 %) flacher Karstgrundwässer zugemischt werden.

- 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 Massenkalkes 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 Temperaturen aufweisen, durch bisher unbekannte Verbindungen aus dem Bereich des Briloner Massenkalkes 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

- CLAUSEN, C.-D., LEUTERITZ, K. (1984): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000 Erl. Blatt 4516 Warstein. - 115 S., 20 Abb., 14 Tab., 3 Taf., Krefeld

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