
BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A/Band 7

Kurt-Heiner Krieger

Hydrogeologische Untersuchungen zur Grundwasserneubildung
in der Bitburger Mulde (Kylltal)



Berlin 1978

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A: Geologie und Paläontologie · Reihe B: Geophysik · Reihe C: Kartographie

D 188

Herausgegeben von geowissenschaftlichen Instituten
der Freien und der Technischen Universität Berlin
und der Technischen Fachhochschule Berlin

Schriftleitung:
Dr. G. Pöhlmann (TFH), Dr. J. Pohlmann (FU)
Dr. H. Seyfried (TU)

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich

© 1978 by DIETRICH REIMER VERLAG IN BERLIN

Berliner geowiss. Abh.	(A)	7	109 S.	31 Abb., 16 Tab., 1 Kart.	Berlin 1978
------------------------	-----	---	--------	---------------------------	-------------

Kurt-Heiner Krieger
Institut für Angewandte Geologie, FU Berlin

**Hydrogeologische Untersuchungen zur Grundwasserneubildung
in der Bitburger Mulde (Kylltal)**



1978

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR GRUNDWASSERNEUBILDUNG

IN DER BITBURGER MULDE (KYLLETAL)⁺

von

Kurt-Heiner Krieger⁺⁺

KURZFASSUNG

Die Kyll durchfließt die "Bitburger Mulde" von Norden nach Süden. Durch die Kartierung eines 225 km² großen Bereichs im Süden des Kyll Einzugsgebietes konnten neue geologische Erkenntnisse gewonnen werden. Sie betreffen hauptsächlich den Buntsandstein und den tektonischen Bau der Bitburger Mulde. Für den Mittleren Buntsandstein wurde eine Gliederung nach lithologischen Merkmalen durchgeführt, die der Gliederung im saarländischen Buntsandstein entspricht.

Über das Polygonverfahren wird der mittlere Gebietsniederschlag für das hydrologische Jahr 1973 aus 15 Meßstationen und für die Jahresreihe 1967 - 1973 aus 7 Meßstationen ermittelt.

Die potentielle Verdunstung wird für die Station Trier-Petrisberg nach HAUDE berechnet.

Die hydrologischen Untersuchungen werden für das 341 km² große Niederschlagsgebiet der unteren Kyll zwischen dem Pegel Kordeh im Süden und dem Pegel Densborn im Norden durchgeführt.

Für das Kyllgebiet werden in den hydrologischen Halbjahren von 1967 bis 1973 Wasserbilanzen aufgestellt. Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung beträgt in diesem Zeitraum 86 mm a⁻¹.

In den größten Kyllzuflüssen wurden 1972 12 Abflußpegel eingerichtet. Für das hydrologische Jahr 1973 können daher auch Wasserbilanzen von Teilgebieten der Kyll betrachtet werden.

Um den Wasserhaushalt in einzelnen lithologischen Einheiten zu erfassen, wurden 1972 zusätzlich 13 Meßstellen gebaut.

Der oberirdische und der unterirdische Abfluß wird nach dem NATERMANN-Verfahren bestimmt.

Die geologischen und hydrologischen Ergebnisse werden durch die Bestimmung des Trockenwetterabflusses, durch die Auswertung von Pumpversuchen und durch neunzig chemisch untersuchte Wasserproben ergänzt.

Es zeigt sich, daß die Abflußverhältnisse in den kleinen Teilgebieten die Verhältnisse größerer Bereiche mit ähnlichem geologischen Bau gut wiedergeben.

⁺ Dissertation an der Freien Universität Berlin

⁺⁺ Anschrift des Verfassers: Dipl.-Geol. K.-H. Krieger, Institut für Angewandte Geologie
d. FU Berlin, 1000 Berlin 33, Wichernstr. 16

Die Kyll muß als Hauptvorfluter großer Teile des Buntsandsteins der Bitburger Mulde angesehen werden.

Résumé

Le fleuve Kyll traverse le "Synclinal de Bitburg" du nord au sud. De nouvelles connaissances géologiques ont pu être gagnées par la levée géologique d'un secteur de 225 km² situé au sud de l'aire d'alimentation en eau du Kyll. Elles concernent principalement le Buntsandstein grès bigarré et la structure tectonique du Synclinal de Bitburg. Le Buntsandstein grès bigarré moyen fut divisé par des critères lithologiques en correspondance avec la division du Buntsandstein grès bigarré sarrois.

La moyenne de précipitation régionale a été déterminée par le procédé du polygone pour l'année hydrologique de 1973 à partir de 15 stations de jaugeage et pour les années allant de 1967 à 1973 de sept stations de jaugeage. L'évapotranspiration potentielle a été calculée pour la station de Trèves-Petrisberg d'après HAUDE.

Les recherches hydrologiques ont été effectuées pour le bassin versant du Kyll inférieur d'une superficie de 341 km² entre la jauge fluviale de Kordel au sud et de la jauge fluviale de Densborn au nord.

Des bilans hydrologiques ont été établis dans la région du Kyll pour les semestres hydrologiques de 1967 à 1973. La recharge annuelle moyenne en eau souterraine pour cette période est de

$$86 \text{ mm a}^{-1}.$$

En 1972 douze jauges fluviales d'écoulement ont été installées dans les plus grands affluents du Kyll. Ainsi pour l'année hydrologique de 1973 des bilans hydrologiques de quelques sous-régions du Kyll ont pu être pris en considération.

En 1972 treize déversoirs de mesure supplémentaires ont été installés afin d'obtenir un bilan hydrologique dans les différentes unités lithologiques. L'écoulement des eaux superficielles et souterraines a été déterminé d'après la méthode NATERMANN.

La détermination de la courbe de tarissement, l'évaluation d'essais de puits et 90 échantillons d'eau analysés chimiquement complètent les résultats géologiques et hydrologiques.

Il en résulte que les rapports d'écoulement dans les petites sous-régions rendent bien les rapports de plus grands domaines avec une structure géologique semblable.

On doit considérer le Kyll comme le cours d'eau récepteur principal d'une grande partie du Buntsandstein grès bigarré du Synclinal de Bitburg.

Abstract

The Kyll flows through the "Bitburger syncline" from the north towards the south.

During the mapping of a 225 km² region in the south of the Kyll drainage area, geological knowledges have been improved. They mainly concern the Buntsandstein and the tectonic structure of the "Bitburger syncline".

A division of lithologic features have been accomplished for the middle Buntsandstein which accords to the division of the Saar Territory Buntsandstein.

By the Polygon method, the mean area precipitation for the hydrologic year 1973 was discovered by 15 measurement stations and for the annual series 1967 - 1973 by 7 measurement stations.

The potential evaporation was calculated by HAUDE for the Station Trier-Petrisberg.

In the 341 km² area of precipitation of the lower Kyll, the hydrologic investigations were accomplished between the water-level gauge Kordel in the south and the water-level gauge

ge Densborn in the north.

For the hydrologic half-years 1967 to 1973 water budgets were prepared for the Kyll area.

In this period the mean annual recharge of ground water amounts to

$$86 \text{ mm a}^{-1}$$

12 water-level gauges have been installed to the largest Kyll inflows in 1972. Therefore, water budgets from area parts of the Kyll can be considered in the hydrologic year 1973.

To register the water balance of individual lithologic units, 13 discharge measurement stations were built additionally in 1972.

The surface and the groundwater runoff were determined by the NATERMAN-method.

The geological and hydrological results were completed by the determination of the recession segment, the interpretation on pumping tests and 90 chemical investigated water samples.

It shows that the runoff circumstances of small area parts project well the circumstances of larger areas with similar geological structure.

The Kyll has to be considered as a main receiving stream on large parts of "Buntsandstein" of the Bitburger syncline.

VORWORT

Für die Anregung und Betreuung der vorliegenden Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr. H. BRÖHL (Inst. f. Angewandte Geologie der Freien Universität Berlin) danken. Durch seine Initiative war es mir möglich, im Rahmen des sog. "Trinkwasserprojektes Kylltal" mitzuarbeiten, mit dem die Stadtwerke Trier und der Kreis Trier-Saarburg das Ingenieurbüro Lahmeyer, Frankfurt, beauftragten.

Danken möchte ich für die großzügige Unterstützung durch die Mitarbeiter der Stadtwerke Trier, vertreten durch Herrn Oberingenieur R. MERTES.

Ebenso gilt mein Dank der finanziellen und apparativen Hilfe, die ich durch das Ingenieurbüro Lahmeyer, vertreten durch Herrn Dr. K. SCHETELIG, erhielt.

Während meines Geländeaufenthalts in den Sommermonaten 1972 und 1973 wurde ich von den Herren Prof. Dr. H. BRÖHL, Dr. J. NEGENDANK (Univ. Trier) und Herrn Dr. H. WEILER (Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz) durch Geländebegehungen und kritische Diskussionen gefördert, für die ich mich bedanken möchte. Der Familie LIESER in Kordel danke ich für die freundliche Aufnahme in dieser Zeit.

Im Jahre 1975 wurde die Arbeit durch ein Promotionsstipendium der Zentralen Kommission für Graduiertenförderung (Freie Universität Berlin) unterstützt, der ich dafür danke.

Für anregende Gespräche am Institut für Angewandte Geologie möchte ich den Fachkollegen Herrn Dipl.-Geol. D. PLÖTHNER, Herrn Dipl.-Geol. J. THIERBACH und Herrn Dr. Ch. PRELLER meinen Dank sagen. Ebenso danke ich allen anderen Institutionsangehörigen, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Großen Dank schulde ich meiner Frau für ihre Hilfe und die Geduld beim Werden dieser Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1.	EINLEITUNG..... 8
1.1	Lage des Arbeitsgebietes..... 8
1.2	Situation..... 9
1.3	Aufgabenstellung..... 9
2.	ALLGEMEINER GEOLOGISCHER OBERBLICK..... 10
3.	STRATIGRAPHIE..... 13
3.1	Devon..... 13
3.2	Rotliegendes..... 14
3.3	Buntsandstein..... 15
3.3.1	Mittlerer Buntsandstein (sm)..... 15
3.3.1.1	Schichten des sm_1 17
3.3.1.2	Schichten des sm_2 17
3.3.1.3	Schichten des sm_3 17
3.3.1.4	Schichten des sm_4 18
3.3.1.5	Schichten des sm_5 18
3.3.2	Oberer Buntsandstein..... 18
3.3.2.1	Zwischenschichten..... 18
3.3.2.2	Voltziensandstein..... 19
3.4	Muschelkalk..... 19
3.4.1	Unterer Muschelkalk..... 19
3.4.2	Mittlerer Muschelkalk..... 19
3.4.3	Oberer Muschelkalk..... 20
3.5	Keuper..... 20
3.5.1	Unterer Keuper..... 20
3.5.2	Mittlerer Keuper..... 20
3.6	Tertiär..... 20
3.7	Quartär..... 21
4.	TEKTONIK..... 21
4.1	Störungen..... 21
4.2	Klüftung im Buntsandstein..... 22
4.2.1	Kluftcharakteristik und Kluftstatistik..... 22
5.	HYDROGRAPHIE..... 24
5.1	Kyll allgemein..... 24
5.2	Nebenbäche der Kyll..... 24
6.	ERMITTLUNG DER KLIMADATEN..... 27
6.1	Niederschlag..... 27
6.1.1	Niederschlag der Jahresreihe 1891 - 1930..... 27
6.1.2	Niederschlag der hydrologischen Jahre 1965 - 1974..... 29
6.1.3	Niederschlag des hydrologischen Jahres 1973..... 29
6.2	Verdunstung..... 34
6.2.1	Aktuelle Verdunstung..... 35
6.2.2	Potentielle Verdunstung..... 36
6.2.3	Korrigierte potentielle Verdunstung..... 38

	Seite
7.	ABFLUSSVERHÄLTNISSE..... 41
7.1	Gesamtabfluß..... 43
7.2	Oberirdischer Abfluß..... 50
7.2.1	Oberirdischer Abfluß in Buntsandsteingebieten..... 51
7.2.2	Oberirdischer Abfluß in Muschelkalkgebieten..... 53
7.2.3	Oberirdischer Abfluß in Gebieten mit Buntsandstein, Muschelkalk und..... Teriär..... 58
7.3	Unterirdischer Abfluß..... 59
7.3.1	Unterirdischer Abfluß in Buntsandsteingebieten..... 59
7.3.2	Unterirdischer Abfluß in Muschelkalkgebieten..... 61
7.3.3	Unterirdischer Abfluß in Gebieten mit Buntsandstein, Muschelkalk und..... Tertiär..... 64
7.4	Trockenwetterabfluß..... 67
7.4.1	Von jahreszeitlichen Schwankungen unabhängiger Trockenwetterabfluß..... 70
7.4.2	Von jahreszeitlichen Schwankungen abhängiger Trockenwetterabfluß..... 70
7.4.3	Quellkoeffizient α , Abfluß Q_0 und Grundwasserreserve M..... 70
7.4.4	Q_0 und M bei großen α -Werten..... 71
7.4.5	Q_0 und M bei kleinen α -Werten..... 72
8.	GRUNDWASSERNEUBILDUNG UND SPEICHERUNG 75
8.1	Grundwasserneubildung und Speicherung im Kyllgebiet für die hydrologi-... schen Jahre 1967 - 1973..... 77
8.2	Grundwasserneubildung und Speicherung im Kyllgebiet für das hydrologi-... sche Jahr 1973..... 81
8.2.1	Grundwasserneubildung und Speicherung in Teileinzugsgebieten der Kyll.... 83
8.2.2	Grundwasserneubildung und Speicherung in Teileinzugsgebieten des Kimm-... linger Baches und des Lohrbaches..... 91
9.	AUSWERTUNG VON PUMPVERSUCHEN..... 97
10.	HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN..... 98
10.1	Quell- und Vorflutwässer..... 98
10.1.1	Wässer aus reinen Buntsandsteingebieten..... 99
10.1.2	Wässer aus reinen Muschelkalkgebieten..... 99
10.1.3	Mischtypwässer..... 100
10.2	Grundwasser aus Bohrungen und Brunnen..... 101
11.	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE..... 102
12.	LITERATURVERZEICHNIS..... 106

ANLAGE

BENUTZTE ABKÜRZUNGEN

(hier nicht aufgeführte Symbole sind im Text erläutert)

aB	=	Ausschöpfbare Bodenfeuchte in mm
A _g	=	Gesamtabfluß in mm bzw. $1 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$
A _o	=	Oberirdischer Abfluß in mm bzw. $1 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$
A _u	=	Unterirdischer Abfluß in mm bzw. $1 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$
A _{uk}	=	Korrigierter A _u -Wert, auf ein von E _o abweichendes E _u bezogen in mm
E _o	=	Oberirdisches Einzugsgebiet oder Niederschlagsgebiet in km^2
E _u	=	Unterirdisches Einzugsgebiet in km^2
G _a	=	In Fremdräume abgeleitetes Grundwasser in mm
G _z	=	Aus Fremdräumen zugeleitetes Grundwasser in mm
I	=	Versickerung allgemein (Infiltration) in mm
I _u	=	Mögliche Infiltration in den tieferen Untergrund (Grundwasserneubildung) in mm
I _{uk}	=	Korrigierter I _u -Wert, der das Bodenfeuchtedefizit berücksichtigt in mm
maB	=	Maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte in mm
N	=	Niederschlag in mm
N _m	=	Mittlerer Gebietsniederschlag (gewogenes Mittel) in mm
S _u	=	Mögliche Speicherung im tieferen Untergrund unterhalb der Grundwasseroberfläche in mm
S _{uk}	=	Korrigierter S _u -Wert, der das Bodenfeuchtedefizit berücksichtigt in mm
V _{akt.}	=	Aktuelle (tatsächliche) Verdunstung in mm
V _B	=	Verdunstung aus der Bodenzone in mm
V _p	=	Potentielle Verdunstung (Evapotranspiration) in mm
V _{pk}	=	Korrigierte potentielle Verdunstung in mm
V _{pkm}	=	Mittlere V _{pk} eines Gebietes (gewogenes Mittel) in mm

1. EINLEITUNG

Nördlich der Ortschaft Ehrang ist im unteren Kylltal eine Grundwassergewinnung und die Errichtung eines Wasserwerkes geplant, um den steigenden Wasserbedarf der Stadt Trier befriedigen zu können.

Als grundwasserhöffiges Gebiet wurden bei der Planung die triassischen Schichten der sog. "Bitburger Mulde" (Kap. 1.2) angesehen. Die Kyll, ein linker Nebenfluß der Mosel, durchfließt die Bitburger Mulde von N nach S.

Während die im Moselgebiet weit verbreiteten devonischen Schiefer der Südeifel und des Hunsrück eine geringe Grundwasserführung aufweisen, konnte auf Grund der ausgeprägten Klüftung und der zu erwartenden Porosität, in den triassischen Sandsteinen des Bitburger Raumes eine größere Grundwasserreserve vermutet werden.

Die Grundwasservorkommen um Bitburg sind bisher relativ wenig genutzt, so daß auch die einschlägigen Kenntnisse über den Aquifer unvollkommen sind. Um über die Art und Größe des Grundwasserspeichers sowie über die Grundwasserneubildung genauer Auskunft geben zu können, wurden im Rahmen eines Erkundungsprogrammes eine Dissertation zur Lithostratigraphie nebst einer Luftbildauswertung (KAISER, 1975) und diese hydrogeologische Arbeit angefertigt.

1.1 Lage des Arbeitsgebietes:

Das nördlich von Trier gelegene Arbeitsgebiet (Abb. 1) umfaßt 364 km² des unteren Kyll Einzugsgebietes (Abb. 2). Etwa 225 km² dieses Gebietes beiderseits der Kyll wurden von mir geologisch, hydrogeologisch und hydrologisch genauer untersucht. Der restliche Teil mit 139 km² wurde nur in die hydrologischen Betrachtungen einbezogen.

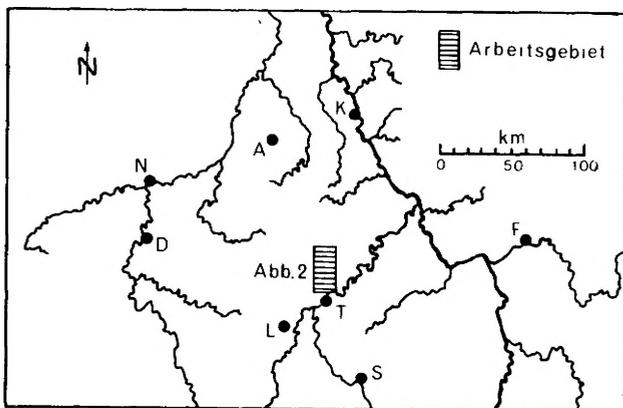


Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes (Übersicht).
A = Aachen, D = Dinant, F = Frankfurt,
K = Köln, L = Luxemburg, N = Namur,
S = Saarbrücken, T = Trier

Dieser nördliche Abschnitt weist Höhen bis über 500 m ü.NN auf und fällt nach Süden rasch auf 400 m ü.NN ab. Auf den nährstoffarmen Böden des Kyllwaldes wird vorwiegend Forstwirtschaft betrieben.

In erster Linie landwirtschaftlich wird das Bitburger Gutland genutzt. Diese nur schwach wellige fruchtbare Hochfläche zwischen 300 und 450 m ü.NN wird im Osten von dem tief eingeschnittenen Flußtal der Kyll und ihrer Nebenbäche untergliedert.

Ein ähnliches Bild zeigt das Gutland auch westlich der Kyll mit den Flußtälern von Nims, Prüm und Enz.

Das bearbeitete Gebiet liegt nördlich der Mosel und erstreckt sich etwa 40 km in nord-südlicher Richtung von Trier-Ehrang an der Kyll im Süden (die Kyll mündet hier in die Mosel) bis nach Densborn an der Kyll im Norden. Es umfaßt das gesamte Kyll Einzugsgebiet, dessen Breite in E - W Richtung 5 bis 12 km beträgt.

Der größte Teil des Gebietes um Bitburg und südlich davon gehört dem sog. Bitburger Gutland ((Kreis Bitburg und Kreis Trier Land) an, während der kleinere nördliche Bereich vom sog. Kyllwald, einem Teil der Kyllburger Waldeifel (Kreis Prüm und Kreis Wittlich) eingenommen wird (Abb. 2).

Das Arbeitsgebiet umfaßt von N nach S folgende topographische Karten im Maßstab 1 : 25.000:

--- Blatt Mürlenbach	Nr. 5805
--- Blatt Kyllburg	Nr. 5905
--- Blatt Bitburg	Nr. 6005
--- Blatt Landscheid	Nr. 6006
--- Blatt Welschbillig	Nr. 6105
--- Blatt Schweich	Nr. 6106
--- Blatt Trier	Nr. 6205

1.2 Situation

In den meist älteren geologischen Arbeiten wird der Raum nördlich von Trier unter der Bezeichnung "Trierer Bucht", "Bitburg-Trierer Mulde", "Trias-Mulde" oder ähnlichen Namen geführt.

Seit etwa 1960 wird in dem von mesozoischen Schichten aufgebauten Gebiet gebohrt. Einige Tiefbohrungen wurden abgeteuft, um die grundwasserführenden mesozoischen Schichten zu untersuchen und für die Trinkwasserversorgung der Gemeinden, Kreise und der Stadt Trier zu erschließen. Der Trinkwasserbedarf der Stadt Trier wurde bis zu diesem Zeitpunkt hauptsächlich aus einigen Brunnen im Moseltal bei Kenn, aus der Riveris Talsperre und einigen Quellen gedeckt.

Durch die Bohrungen (vgl. Abb. 2) sind neuere Erkenntnisse über den geologischen Bau dieses Raumes möglich, der bisher nur von GREBE (1884, 1892) geologisch kartiert wurde. Folgende geologische Karten (GREBE, 1880, 1881 und 1882) standen zur Verfügung:

--- Blatt Bitburg	Nr. 6005
--- Blatt Landscheid	Nr. 6006
--- Blatt Welschbillig	Nr. 6105
--- Blatt Schweich	Nr. 6106

Neuere geologische Ergebnisse wurden von WEILER (1972) unter anderem durch über 30 Bohrungen, die seit 1970 von der Stadt Trier und dem Kreis Saarburg in Auftrag gegeben worden sind, gewonnen.

Das Ziel dieses umfangreichen Bohrprogrammes, im Rahmen des sog. "Trinkwasserprojektes Bitburg-Trierer Mulde", ist die Errichtung eines neuen Wasserwerkes bei Trier-Ehrang. Aus dem Projektgebiet, dem unteren Kylltal von Ehrang bis Beilingen (siehe Abb. 2), soll Grundwasser für dieses Wasserwerk gefördert werden. Im Dauerbetrieb soll nach wasserwirtschaftlichen Überlegungen aus dem rund 166 km² umfassenden Projektgebiet eine Wassermenge von 50.000 m³/d gewinnbar sein.

In das Untersuchungsprogramm wurde aber, über das eigentliche Projektgebiet hinaus, das gesamte Zwischeneinzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn und Kordel mit über 341 km² bzw. zwischen Densborn und Trier-Ehrang mit ca. 364 km² einbezogen (vgl. Abb. 2).

1.3 Aufgabenstellung

In dem Projektgebiet zwischen Ehrang und Beilingen/Philippsheim (Abb. 2) sollten eine Oberflächenkartierung und tektonische Untersuchungen an Übertageaufschlüssen durchgeführt werden, um die abzuteufenden Förderbrunnen geologisch einbinden zu können.

Hydrogeologische, hydrologische und hydrochemische Untersuchungen sollten die geologischen Arbeiten ergänzen, so daß Aussagen über die Grundwasserqualitäten und gewinnbare Grundwasserquantitäten gemacht werden können.

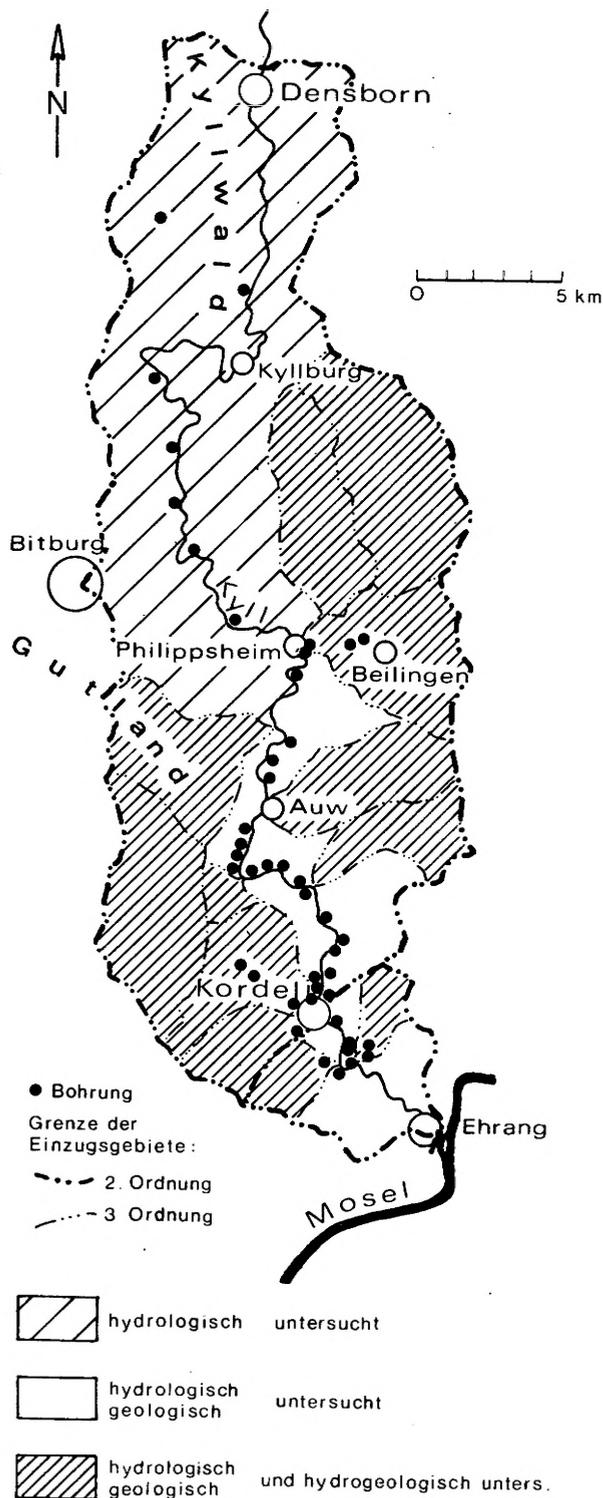


Abb. 2: Arbeitsgebiet im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn und Trier-Ehrang

ren der Eifel-N-S-Zone haben sich auch Mitteldevon und erhalten.

Um die Abflüßmengen zu bestimmen, wurden von der Stadt Trier 12 große Meßwehre in den Unterläufen der bedeutenden Nebenbäche der Kyll und von mir selbst 14 kleine Meßstellen im Lohrbach und im Kimmlinger Bach (Abb. 3 und Abb. 9, Kap. 5.2) errichtet.

Durch die kleinen Meßstellen (Abb. 9) sollten die unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnisse der verschiedenen geologischen Einheiten erfaßt werden, um die Meßergebnisse der 12 großen Meßwehre besser deuten zu können.

Durch die Auswertung der in den Untersuchungsbohrungen durchgeführten Pumpversuche wurde versucht, eine weitere Charakterisierung der Einzugsgebiete vorzunehmen.

2. ALLGEMEINER GEOLOGISCHER OBERBLICK

Die "Bitburg - Trierer Mulde", oder nach einem Vorschlag von WEILER (1972) eindeutiger "Bitburger Mulde" (Bitburg im Zentrum der Mulde) genannt, ist als Teilstück der sog. "Eifel - Nord - Süd - Zone" anzusehen. Diese Nord-Süd-Zone ist wiederum ein Teil der nach SCHENK (1938, in DORN 1966) bereits im jüngeren Paläozoikum angelegten "Eifel - Lothringer Quersenke". Diese rheinisch (NNE - SSW) verlaufende Senke ist als Querdepression der varistisch (NE - SW) angelegten Faltenelemente zu verstehen. Von der Trias bis zum Jura tritt sie erneut als Senkungszone in Erscheinung.

Während des Oberdevons und Karbons, aber auch zeitweise im Unterdevon, kamen nach SCHMIDT (1952) keine oder nur geringmächtige Sedimente zur Ablagerung.

In den varistisch entstandenen NE - SW streichenden Muldenstrukturen der Eifel-N-S-Zone haben sich auch Mitteldevon und vereinzelt Oberdevon (Prümer Mulde)

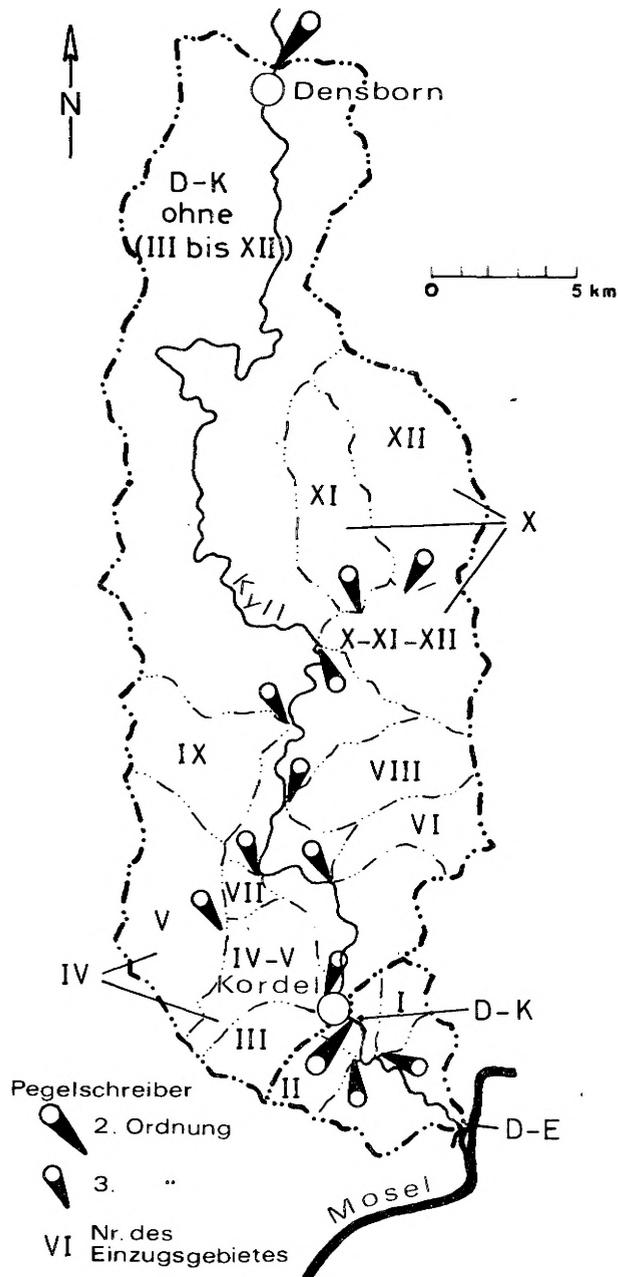


Abb. 3: Einzugsgebiet und hydrologische Meßstellen im Kyllgebiet zwischen Densborn und Kordel.
 D - K = Pegelmeßstelle für das Einzugsgebiet Densborn-Kordel
 D - E = Einzugsgebietsgrenze Densborn-Ehrang

Eine mit Sedimenten des Oberrot= liegenden gefüllte Mulde stellt die "Wittlicher Senke" dar.

Zu den NE - SW streichenden Mulden muß nach WEILER (1972) auch die mit mesozoischen Sedimenten gefüllte Bitburger Mulde gerechnet werden. Die durch Bohrungen gewonnenen Kenntnisse über die Mächtigkeitsverteilung in der Mulde belegen diese varistische NE-SW-Richtung. Rheinische (NNE - SSW) Elemente sind in ihr untergeordnet vertreten.

Innerhalb der "Bitburger Mulde" hat bereits SCHRÖDER (1952) auf einen sog. Spezialtrog im Schnittgebiet der "Bitburger Mulde" mit der "Wittlicher Senke" hingewiesen. Mehrere solcher varistisch streichender Spezialmulden lassen sich durch die Bohrungen auch nördlich der sog. "Deimlinger Devonschwelle" feststellen, die in der "Bitburger Mulde" den Nordrand der "Wittlicher Senke" markiert (WEILER, 1972). Im Mittleren Buntsandstein (sm) werden in den kleinen Spezialmulden größere Sedimentmächtigkeiten abgelagert, so daß auf engem Raum die Mächtigkeiten des sm rasch wechseln können (Abb. 4).

Die größte, bisher nachgewiesene Mächtigkeit erreicht der sm südlich von Kordel auf Blatt 6105 mit 310 m. Lebhaftere tektonische Bewegungen sind in diesem Raum im SE der Bitburger Mulde durch unterschiedliche Hebungs- und Senkungsbeträge gekennzeichnet, die für die Mächtigkeitsunterschiede mit verantwortlich sind.

Nach WEILER (1972:222) "... wird in diesen Bewegungen auch die Ursache der im sm bislang noch nicht beobachteten, z.T. starken lokalen

Vertonungerscheinungen des Sandsteins gesehen." Mit dem Beginn des Oberen Buntsandsteins (so) verlagert sich die Küstenlinie des Buntsandsteinmeeres von SE nach NW auf das Ardenen-Festland. In diesem Meer stellt die Bitburger Mulde eine Bucht dar, die weit in die "Eifel N-S-Zone" hineinreicht.

Während SCHRÖDER (1952) im Bitburger Raum kein Muldentiefstes annimmt, sondern dieses weiter im SE vermutet, kann durch die neueren Bohrungen (WEILER, 1972) das Tiefste der Mulde im Raum Bitburg belegt werden. Mit der Küste hat sich damit der tiefste Bereich der

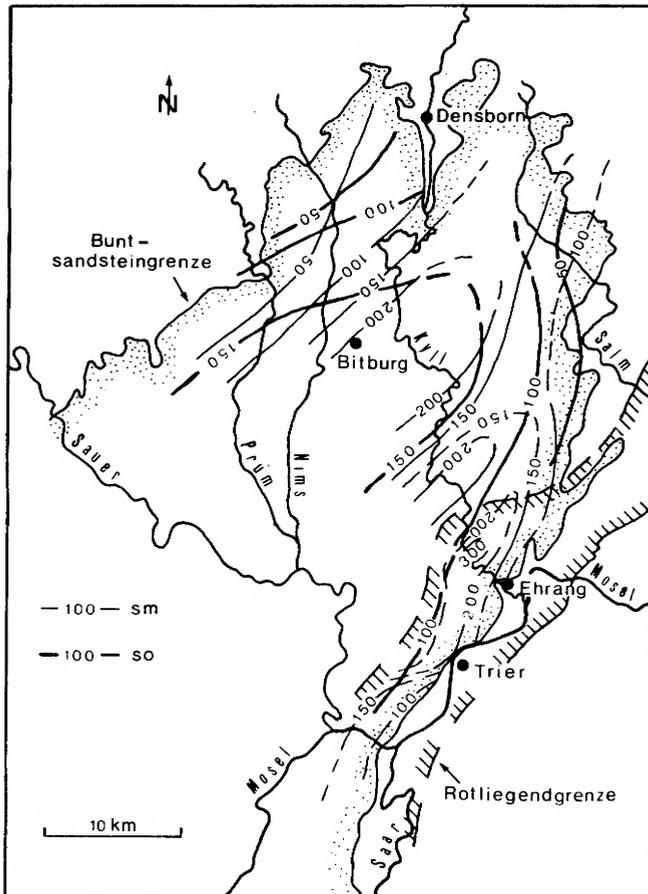


Abb. 4: Karte der Mächtigkeiten des Oberen Bunt-sandsteins (so) und des Mittleren Bunt-sandsteins (sm) in der Bitburger Mulde (nach WEILER, 1972).

Mulde ebenfalls von SE nach NW verlagert. Die Muldenachse streicht weiterhin varistisch (NE - SW).

Der Obere Buntsandstein (so) erreicht Mächtigkeiten über 170 m. Die Bohrungen bei Bitburg durchteufen allerdings nicht den gesamten Oberen Buntsandstein, so daß die größte Mächtigkeit sich nicht erkennen läßt. Die durch die sich verlagernde Muldenachse verursachten Mächtigkeitsänderungen gehen nur in den sog. Zwischenschichten (so_1) vor sich, während der überlagernde Voltzien-Sandstein (so_2) mit 20 - 30 m nahezu konstant bleibt.

Im Unteren Muschelkalk (mu) ändert sich der Küstenverlauf nur gering. In dem flachen mit Buntsandstein gefüllten Meeresbecken kam es zur Ablagerung einer sandigen Randfazies, des sog. Muschelsandsteins (mu_1).

Über dem Muschelsandstein wird im mu_2 in einigen Teilen des Beckens ein zelliger, sandiger Dolomit sedimentiert. Der mu erreicht Mächtigkeiten zwischen 60 und 80 m.

Im zeitweise von der Tethys getrennten Meer des Mittleren Muschelkalks (Oberschlesische- und Burgundische Pforte sind geschlossen) kommt es neben der Ablagerung von bunten

Mergeln zur Bildung von Anhydrit, Gips und Steinsalz.

Die paläogeographische Situation des bis zu 60 m erreichenden Mittleren Muschelkalks (mm) ist gegenüber dem mu unverändert. Im Oberen Muschelkalk (mo) verlagert sich der Westrand der Bitburger Mulde weiter nach Westen. Eine Flachwasserfazies, angezeigt z.B. durch das Auftreten von Ooiden und Trochiten, weicht im Laufe der Zeit ebenfalls nach Westen zurück. Im Beckentiefsten westlich und südwestlich von Trier, außerhalb des Kyll-Einzugsgebietes, wurden relativ mächtige Tonmergelhorizonte abgelagert, deren Tongehalte nach S und SW abnehmen.

In der Mächtigkeitsverteilung, wie sie SCHRÖDER (1952) für den gesamten Muschelkalk darstellt, ist die varistische Richtung erkennbar.

Während der Keuperzeit verflacht sich das Meer weiter und weite Deltalandschaften und abflußlose Becken bilden sich. Im Einzugsgebiet der Kyll sind nur der Mittlere und der Untere Keuper erhalten.

Der Untere Keuper ist durch einen schnellen faziellen Wechsel zwischen bunten Mergeln, Dolomiten und Sandsteinen gekennzeichnet.

Im Mittleren Keuper treten neben Mergel, Dolomit und Sandstein auch Gips sowie Pseudomorphosen nach Steinsalz auf. Im Oberen Keuper (Rhät) und im Jura ändern sich die Verhältnisse durch die rhätisch-jurassische Transgression grundlegend. Das Dreieck Luxemburg - Trier - Bitburg wird zu einer Bucht am südlichen Rand der Ardennisch - Rheinischen Insel, in die von N her unter anderem der sog. Luxemburger Sandstein in das Jurameer geschüttet wird.

Im Arbeitsgebiet stehen jedoch keine jurassischen Sedimente an.

Posttriassische Ablagerungen setzen im Kyllgebiet erst wieder im Tertiär ein.

Ober den devonischen und mesozoischen Schichten liegen auf den Hochflächen Tone des mittleren Eozän (NEGENDANK, 1974). Sie sind nur in der östlichen Hälfte der Bitburger Mulde in relativ geringer Verbreitung vorhanden. Die von einem braunen Lehm mit Quarzgeröllen überlagerten Tone wurden in flachen Depressionen der eozänen Landoberfläche sedimentiert. Bei Binsfeld werden magere Kaolintone abgebaut. Die Eozänablagerungen werden von einer jüngeren Rumpffläche gekappt, die teilweise im Buntsandstein Verwitterungserscheinungen, wie z.B. eine Kaolinisierung hinterließ. Im Arbeitsgebiet sind solche Erscheinungen nicht gefunden worden.

Plio-Pleistozäne Terrassenschotter finden sich in geringer Verbreitung beiderseits der Flußläufe, die die Bitburger Mulde nach S bzw. nach SE entwässern und größtenteils bereits im Tertiär angelegt wurden. Sie bestehen aus geröllführendem Lehm, Sand und Kies.

In den Tälern akkumulierte sich hauptsächlich Abtragungsschutt der mesozoischen Schichten, der meist aus schluffigen Sanden mit Geröllen besteht. Nur selten werden diese Talfüllungen mächtiger als 10 m. Das trifft sowohl für das z.T. sehr schmale und tief eingeschnittene Kylltal als auch für die Nebentäler der Kyll zu.

3. STRATIGRAPHIE

Die im Gelände aufgeschlossene und in Bohrungen durchteufte Schichtenfolge beginnt im Arbeitsgebiet, wie auch in der gesamten Bitburger Mulde, mit den Sedimenten des Devons. Sie werden meist von triassischen Schichten überlagert, deren jüngste Schichtglieder dem Mittleren Keuper angehören (Abb. 5 und Anlage 1).

Im S des Kyll Einzugsgebietes, von der Mosel bis etwa 3 km nördlich von Kordel, finden sich zwischen den Schichten des Devons und der Trias auch Rotliegendesedimente. Bis auf zwei Aufschlüsse, an der Deimlinger Mühle im N und dem Friedhof nördlich der Ortschaft Ehrang im S, wird das Rotliegende nur in Bohrungen angetroffen.

Über den verschiedenen Sedimenten der Trias liegt in einzelnen Bereichen Tertiär und Plio-Pleistozän.

Durch die Muldenstruktur bedingt (siehe Kap. 2), fallen die Schichten im größten Teil des Projektgebietes mit 10 - 20° nach NW ein.

Durch die westlich von der Ortschaft Philippsheim NE - SW verlaufende Muldenachse der Bitburger Mulde wird das Schichteinfallen in diesem Bereich flacher. Weiter westlich herrscht dann söhlige Lagerung.

3.1 Devon

Die dem Unterdevon angehörenden Sedimente werden nach GREBE (1892) dem Unterems zugeordnet.

Im Arbeitsgebiet steht das Unterems nur in einem Aufschluß an der Talsohle der Kyll, ca. 3 km nördlich von Kordel unterhalb der Deimlinger Mühle an.

GREBE (1892) bezeichnet die nach der alten Nomenklatur der Unteren Coblenz - Stufe angehörenden Devongesteine als Grauwacken. Diese Bezeichnung trifft nach neueren Kenntnissen (vgl. auch WEILER im WASSERWIRTSCHAFTLICHEN GENERALPLAN, 1971) nicht mehr zu, da entsprechende Fei'dspatgehalte fehlen. Es handelt sich vielmehr um eine Wechselfolge von braunroten, dünnblättrigen, schwach sandigen, überwiegend tonigen Schieferen mit quarzitischen Sandsteinen. Im Gegensatz zu den flach nach NW fallenden triassischen Schichten fallen die devonischen Schichten 30 - 40° nach SE ein.

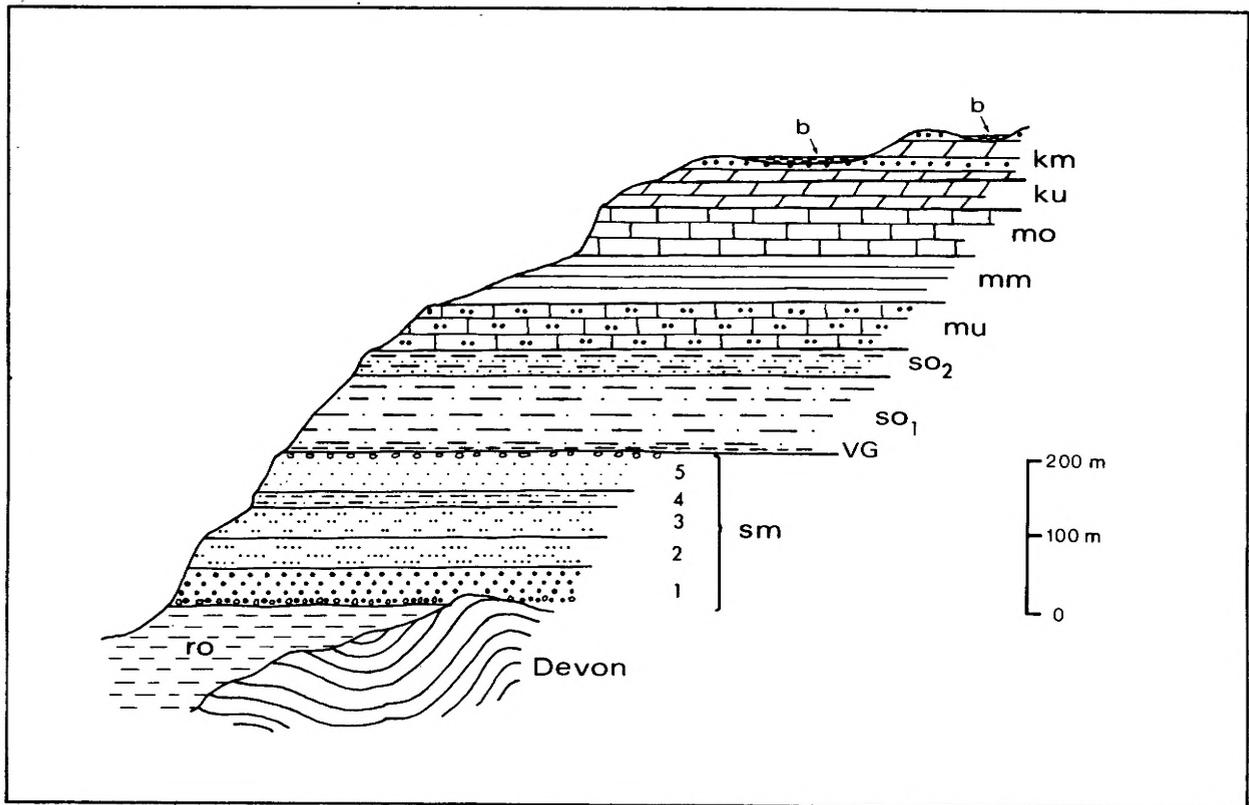


Abb. 5: Schematischer Schnitt durch die Schichtenfolge im unteren Kylltal (Böschungswinkel nicht maßstäblich).
Abkürzungen: b = Tertiär, km = Mittlerer Keuper, ku = Unterer Keuper, mo = Oberer Muschelkalk, mm = Mittlerer Muschelkalk, mu = Unterer Muschelkalk, so₂ = Oberer Buntsandstein (Volziansandstein), so₁ = Oberer Buntsandstein (Zwischenschichten), sm = Mittlerer Buntsandstein gegliedert (vgl. Kap. 3.3.1), ro = Oberrotliegendes, VG = violette Grenzzone

3.2 Rotliegendes (ro)

Diese Abfolge des oberen Perm gliedert sich im Trierer Raum in die Waderner Schichten (ro₁) und in die Kreuznacher Schichten (ro₂).

Im Arbeitsgebiet stehen nur die Schichten des ro₂ an.

Ähnlich wie das Devon sind die Schichten des ro₂ nur auf wenige Aufschlüsse beschränkt.

Ein großer Aufschluß von etwa 300 m Länge und teilweise über 20 m Höhe liegt im S des Gebietes am nördlichen Ortsausgang von Trier - Ehrang hinter dem Friedhof Ehrang. Etwa 1 km nordwestlich dieser Stelle sind die Kreuznacher Schichten durch einen kleinen Hangrutsch an der Bundesstraße 422 noch einmal freigelegt. Auch westlich der Kyll, nahe der Eisenbahn, nördlich vom Kutbach, wurde ein kleines Vorkommen von ro₂ festgestellt. Der Schichtkomplex streicht mit etwa 40° und fällt mit ungefähr 10° nach NW ein.

Die Sedimente bestehen hauptsächlich aus dunkelrotbraunem bis rotbraun gefärbtem, überwiegend tonigem Material. Oft treten graugüne runde Flecken von Millimeter Durchmesser und lagenweise kleine, gut gerundete Quarzgerölle auf. In einigen Bereichen kommt es zu einer Wechsellagerung mit zentimeter- bis dezimetermächtigen hellgraugrünlichen, sandigen Lagen, in denen kleine, splitterige, weißlich milchige Quarze vorkommen. Diese Schichten bestehen aus sehr dicht gelagertem, feinsandigem bis schluffigem Material.

Die Nordgrenze der ro₂-Sedimentation befindet sich an dem Devonvorkommen bei der Deimlinger Mühle. Reste der dunkelrotbraunen Tonsteine stehen südlich dieser, auch als "Deimlinger Devonschwelle" bezeichneten Lokalität an.

Während nördlich der Devonschwelle auch in Bohrungen kein Oberes Rotliegendes mehr vorhanden ist, konnte im Raum Ehrang - Deimlinger Mühle in verschiedenen Bohrungen, die den gesamten Mittleren Buntsandstein durchteuft hatten, noch das oberste ro_2 erreicht werden (WEILER, 1972).

Die Mächtigkeit des ro_2 ist nicht bekannt, da in keiner Bohrung das Rotliegende durchteuft wurde. Sie schwankt wahrscheinlich zwischen wenigen Metern und möglicherweise mehreren hundert Metern, wie in der "Wittlicher Senke".

3.3 Buntsandstein

Der Buntsandstein wird in den Mittleren-(sm) und den Oberen Buntsandsteinen (so) gegliedert.

Wie im nach Süden anschließenden Saarland fehlt auch in der Bitburger Mulde der Untere Buntsandstein.

Durch das varistisch entstandene Relief und unterschiedliche Senkungsbeträge kommt es hauptsächlich im sm zu starken Mächtigkeitsschwankungen und faziellen Unterschieden. Beide Faktoren erschweren eine feinstratigraphische Gliederung des Mittleren Buntsandsteines erheblich, da eine Unterteilung nur nach faziellen und petrographischen Merkmalen möglich ist. Trotz dieser Schwierigkeiten wurde der Versuch unternommen, den Mittleren Buntsandstein im unteren Kylltal zu gliedern.

3.3.1 Mittlerer Buntsandstein (sm)

Bei dem Versuch, den sm zu untergliedern, wurden in Anlehnung an die Gliederung im südlichen Saarland (EINSELE, 1969) die Schichten des sm in fünf Einheiten (sm_1 - sm_5) unterteilt. Diese Teilung wurde nach den im Gelände gewonnenen Kenntnissen vorgenommen und konnte bei allen über dem Kyllniveau anstehenden sm-Profilen angewandt werden.

Zu einer ähnlichen Gliederung kommt auch NEGENDANK (1974) im Mittleren Buntsandstein nahe der Universität Trier (Universitätsprofil) am nordwestlichen Moselufer.

Die nur etwa 5 km im Schichtstreichen voneinander entfernten Buntsandsteinprofile "Kylltal" und "Universität" unterscheiden sich jedoch in den Mächtigkeiten.

Während im südlichen Kylltal, nördlich Ehrang, eine 160 m mächtige sm-Bedeckung über dem Rotliegenden festgestellt werden konnte, sind nach NEGENDANK (1974) bei Trier 200 m anzusetzen (vgl. Abb. 4, Kap. 2).

In Bohrungen im Kylltal (Abb. 6), zwischen Ehrang und Deimlinger Mühle, wurde der sm bis in Tiefen von 231 m (Bohrung 22) angetroffen. Daraus ergibt sich für diesen Raum nach WEILER (1972) für den sm eine maximale Mächtigkeit von ca. 310 m.

Diese Mächtigkeitsunterschiede sind nur auf den Mittleren Buntsandstein südlich der Deimlinger Mühle beschränkt. Sie sind auf die Sedimentationsverhältnisse in einer Spezialmulde, wie sie in Kap. 2 beschrieben wird, zurückzuführen.

Im Bereich der Devonschwelle an der Deimlinger Mühle ist der sm bis auf ca. 20 m reduziert.

Von der Deimlinger Devonschwelle aus nach NW steigt die Mächtigkeit des sm, hier direkt auf dem Devon liegend, rasch von 20 auf 160 m an. Maximal erreicht sie ca. 200 m. Auch hier zeichnen sich in kleinen Mulden Mächtigkeitsunterschiede ab, die aber geringer sind als südlich der Devonschwelle. Nur durch einen sehr engen Bohrabstand oder durch geophysikalische Methoden könnten diese Strukturen der Devonoberfläche genauer erfaßt werden.

Während der starken tektonischen Bewegungen zur Zeit der Sedimentation des sm, die auch für die wechselnden Mächtigkeiten verantwortlich sind, kann es nach WEILER (1972) auch zu den z.T. starken Vertonungerscheinungen im SE der Bitburger Mulde gekommen sein. Die am Rande der Mulde gehobenen oft tonigen Rotliegendesedimente (ro_1 und ro_2) wurden in der Trias-Zeit z.T. abgetragen und in den als Spezialmulde (vgl. Kap. 2) bezeichneten Mulden

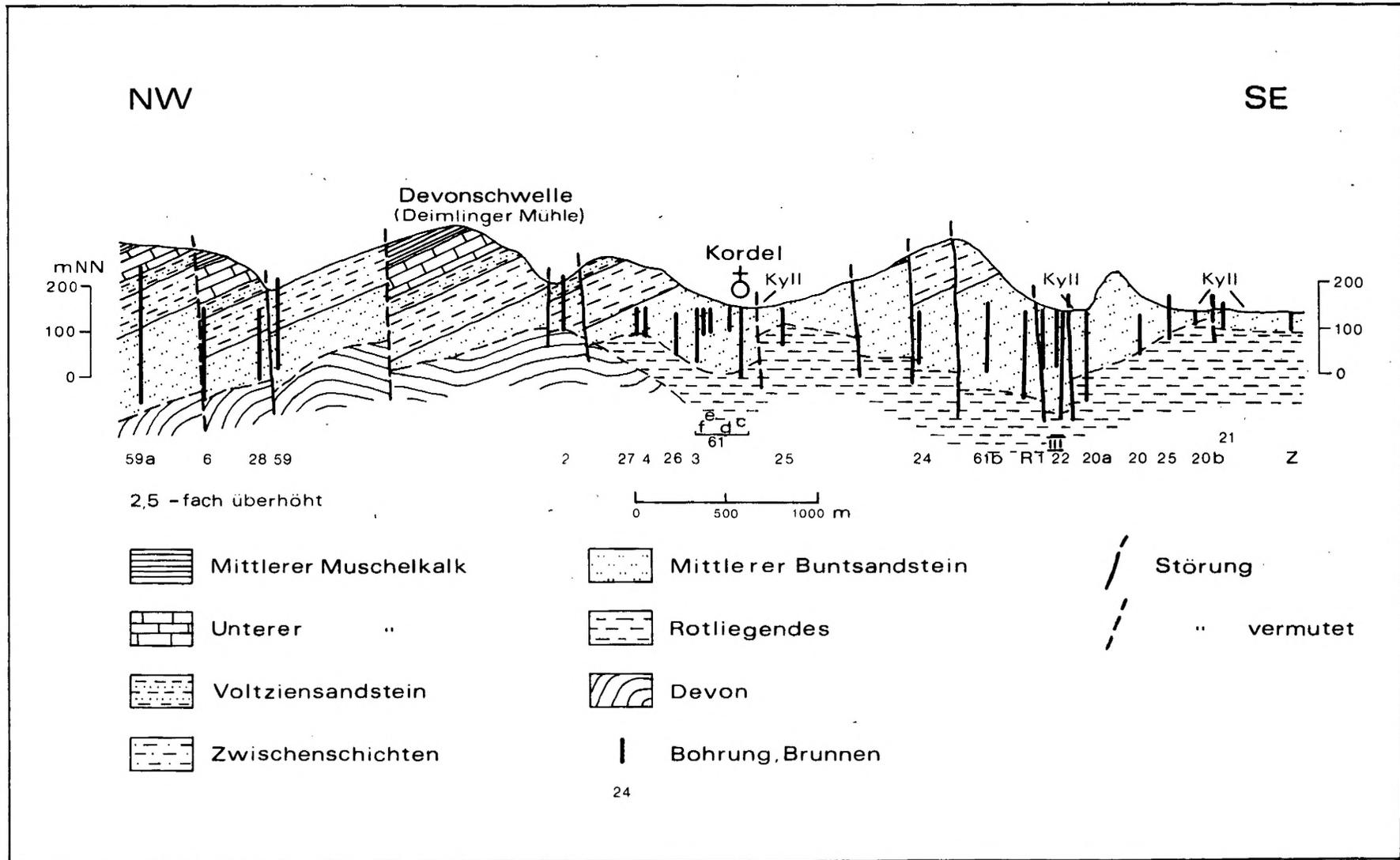


Abb. 6: Geologisches Profil mit Bohrungen und Brunnen (projiziert),
 R = Brunnen Riemenfeld, Z = Brunnen Zackfeld (vgl. Anlage 1).
 Gestrichelte Linie = Grenze Devon bzw. Rotliegend

teil zwischen Ehrang und der Deimplinger Mühle umlagert. Die stratigraphische Ansprache der in diesem Muldenbereich in Bohrungen angetroffenen Schichten ist daher auch nicht immer eindeutig möglich. Leicht sind Sedimente, die schon dem sm angehören, mit Rotliegendem zu verwechseln.

Eine tonigere Fazies des sm ist auch nördlich der Devonschwelle bis in den Raum Ittel-Kyll in einigen Bohrungen zu erkennen. An der Basis des sm tritt hier ein 10 - 30 m mächtiger toniger Sandstein auf, bei dem es sich ebenfalls um sm-Sedimente handelt, in denen umgelagertes Rotliegendematerial stark beteiligt zu sein scheint (nicht nachgewiesen).

Von Ittel-Kyll nach N bis in den Raum Philippsheim treten die stärker tonigen Partien des sm zurück. In diesem nördlichen Bereich des Arbeitsgebietes nähern wir uns der Muldenachse der "Bitburger Mulde", die hier beginnt nach NE aufzutauchen.

Abgesehen von dem sog. Hauptkonglomerat an der Grenze zum Oberen Buntsandstein fehlen Konglomerate oder konglomeratische Zwischenlagen in diesem zentralen Muldentheil nahezu vollkommen. Die grobklastischen Horizonte konnten im südlichen Teil des Gebietes gut für eine stratigraphische Unterteilung benutzt werden. Diese petrographische Gliederung nach den Korngrößen, mit den Konglomeraten als Leithorizonten, ist hier weiter nördlich nicht mehr möglich. Der Mittlere Buntsandstein kann nur noch in seiner Gesamtheit als hellroter bis ziegelroter, fast tonfreier, feinkörniger Sandstein beschrieben werden.

Im folgenden soll der sm im unteren Kylltal für den Bereich zwischen Ehrang und Deimplinger Mühle (Spezialmulde, vgl. Kap. 2) beschrieben werden.

Zu unterscheiden sind 5 Einheiten, die vom Liegenden zum Hangenden als sm₁ bis sm₅ bezeichnet werden.

3.3.1.1 Schichten des sm₁

An der Basis des 40 - 50 m mächtigen sm₁ befindet sich meist eine 3 - 6 m dicke Konglomeratbank. Über diesem auch als Basiskonglomerat bezeichneten Bereich folgen etwa 45 m ziegelrotbraune bis rotbraune massige Sandsteine mit wechselnder Ton- und Geröllführung.

In dem überwiegend fein- bis mittelkörnigem Sandstein sind bis zu 20 cm mächtige schluffig - tonige Lagen zu beobachten, die aber nicht über weite Entfernungen durchhalten.

Nach der Gliederung, wie sie EINSELE (1969) für das Saarland benutzt, könnte der sm₁ den sog. Trifelsschichten entsprechen.

3.3.1.2 Schichten des sm₂

Die ca. 20 m bis maximal 50 m mächtigen Schichten bestehen aus einer Wechselfolge von 3 - 5 m dicken, kompakten, rötlichbraunen bis hellrotbraunen Sandsteinen mit 0,5 - 1 m starken, wenig verfestigten, fein - mittelkörnigen, rotbraunen oder gelbgrauen Sandsteinen, die in zentimeter-dünnen Lagen vorliegen.

In den meist mittel- bis feinsandigen, kompakten Bänken tritt untergeordnet Grobsand auf. Verstreut erscheinen zahlreiche kleine Gerölle von 2 bis 6 mm Durchmesser. Diese kompakten Sandsteine zeigen oft starke Schrägschichtung.

Die dünnbankigen, bunten Zwischenlagen sind immer ebenschichtig und oft schwach tonig. Der saarländischen Gliederung nach wäre der sm₂ den Rehbergsschichten vergleichbar.

3.3.1.3 Schichten des sm₃

Dieser Bereich von etwa 25 bis 50 m Mächtigkeit ist im Gelände selten gut sichtbar.

Die meist mürben, leicht erodierbaren Sandsteine sind oft von Hangschutt bedeckt. Nur unter einer Felszone (hier als sm₄ bezeichnet) hat sich der sm₃ erhalten.

Er ist fein- bis mittelsandig, ebenschichtig und meist dünnbankig. Hellrotbraune mm-bis dm-mächtige Lagen wechseln mit gelblichen bis gelblichgrauen Partien.

Der sm₃ entspricht den Unteren Karlstalschichten des Saarlandes.

3.3.1.4 Schichten des sm₄

Der ca. 20 m mächtige Schichtkomplex besteht hauptsächlich aus dickbankigen (3 - 8 m), kompakten, rotbraunen bis ziegelrotbraunen Sandsteinen mit weiter Schrägschichtung.

In den Schrägschichtungskörpern treten häufig geröllführende Partien auf. Vorwiegend sind es Quarzgerölle von 1 - 5 cm Durchmesser.

Zwischen den kompakten Sandsteinen liegen fast immer zwei Bereiche von 0,5 m und ca. 1 m Dicke, die aus dünnbankigem, weicheren Sandstein bestehen. Das fein- bis mittelsandige Material ist ebenschichtig und wechselt in mm-bis cm-mächtigen Lagen zwischen rotbraunen und gelbgrauen Farbtönen.

Vereinzelte sind sehr dünne Grobsandlagen zwischengelagert. Durch die starke Verkittung der massigen Sandsteine widerstehen sie der Erosion eher als die sie umgebenden Sandsteine, und es bilden sich z.T. steile Felsklippen. Dieser Bereich wird im Saarland daher auch als Karlstal-Felszone bezeichnet.

3.3.1.5 Schichten des sm₅

Dieser mächtigste Schichtkomplex von 50 - 60 m, der die Folge des Mittleren Buntsandsteins abschließt, bildet an vielen Stellen Wände von oft 30 m Höhe. Nahezu senkrechte Wände finden sich an der Nordseite der "Hochburg", der "Geyerslay" und "Spitzlay" sowie an der Südseite der "Korpeslay" zwischen Kordel und Ehrang. Auch fast alle anderen steilen Hänge werden vom sm₅ gebildet.

Die Schichten des sm₅ sind dem sm₃ sehr ähnlich. In meist ebenschichtige, dünnbankige Sandsteine von rotbrauner und gelblichgrauer Farbe sind einige massige, teilweise schräge-schichtete Sandsteinbänke eingeschaltet.

Etwa 10 - 15 m unter der Oberkante erscheint ein stärker geröllführender Bereich mit 3 - 5 m Mächtigkeit.

An der Grenze zum Oberen Buntsandstein folgt eine weitere 3 - 5 m starke konglomeratführende Bank, die im Saarland als "Hauptkonglomerat" bezeichnet wird. Dieser Teil des sm₅ bildet oft kleine Plateaus und bastionsartige Felsvorsprünge. An einigen Stellen wurden in vorchristlicher Zeit diese natürlichen Gegebenheiten zu festungsähnlichen Anlagen oder Fliehburgen ausgebaut, wie Reste auf der "Hochburg" und "Korpeslay" zeigen.

Dieser Teil des sm wird im Saarland Obere Karlstalschichten genannt.

3.3.2 Oberer Buntsandstein (so)

Der massige, meist dickbankige Sandstein wird in zwei Abschnitte, die sog. Zwischenschichten (so₁) und den sog. Voltziensandstein (so₂) unterteilt.

Diese Sandsteine stehen im Gelände fast nur in Steinbrüchen an, in denen um die Jahrhundertwende Werk- und Schleifsteine gebrochen wurden.

Er bildet sonst Hänge, die überwiegend forstwirtschaftlich genutzt werden.

Ähnlich wie im sm schwanken auch im so die Mächtigkeiten. Die Mächtigkeitsänderungen beschränken sich jedoch auf den so₁ (vgl. WEILER, 1972 und Kap. 2.1).

3.3.2.1 Zwischenschichten (so₁)

Dieser untere Teil des Oberen Buntsandsteins wird etwa 80 bis 200 m mächtig (WEILER, 1972).

An seiner Basis tritt die sog. Violette Grenzzone (VG) auf. Sie besteht aus meist violetten, tonigen Sandlagen, in die dolomitische Lagen und Dolomitknauern eingeschaltet sind und kann mehrere Meter mächtig werden. Im höheren so₁ kann es zu einer Wiederholung solcher fazieller Besonderheit kommen. Durch die schlechten Aufschlußverhältnisse bedingt, kann nicht gesagt werden, ob diese Violetten Grenzzone weithin verbreitet sind oder ob sie nur lokal auftreten. Nach MÖLLER (1966) handelt es sich bei der VG um Reste einer Bodenbildung.

Zum größten Teil besteht der so_1 aus mittel- bis feinsandigen, oft kompakten, tief rot-braunen Sandsteinen, die mit geröllführenden und tonigen Lagen wechseln.

Im Gegensatz zum Mittleren Buntsandstein sind die Sandsteine des so_1 z.T. stark glimmerführend.

3.3.2.2 Voltziensandstein (so_2)

Die Mächtigkeit des Voltziensandsteins beträgt ca. 30 m. Der massige, dickbankige, dunkelrotbraune, an der Basis oft weißgraue und stark glimmerführende so_2 zeigt meist eine etwas gröbere Körnung als der so_1 . Wie die Zwischenschichten ist er fast nur in ehemaligen Werksteinbrüchen sichtbar.

Etwa 10 m über der Basis treten in diesem Sandstein, in zentimeter- bis dezimetergroßen Hohlräumen, Manganmulm, fossile Pflanzenreste und kleine tonige Linsen auf. In geringem Umfang sind an die Fossilreste Malachit und Azurit gebunden. Diese Kupferminerale wurden in römischer Zeit in einem kleinen Bergwerk zwischen Butzweiler und der Kyll abgebaut.

An die Stelle der hellen, weißgrauen Sandsteine tritt in vielen Bereichen ein grob gebankter, rotbrauner, stark tonhaltiger Sandstein.

Im oberen Teil schalten sich zwischen die massigen Partien des so_2 im Abstand von 2 - 5 m zwei tonig schluffige, dünnbankige Lagen, die 10 - 50 cm mächtig werden. Sie sind meist graugrünlich, teilweise auch schwach rötlichgrau. Zum hangenden Muschelkalk schließt der so_2 mit bunten Tönen und Mergeln ab.

3.4 Muschelkalk

Wie im gesamten Germanischen Triasbecken wird der Muschelkalk in den Unteren-, Mittleren und Oberen Muschelkalk untergliedert. Im Raum der Bitburger Mulde kommt es allerdings zu Randfaziesbildungen.

Der Untere Muschelkalk ist nicht als Wellenkalk, sondern als Muschelsandstein (mu) ausgebildet.

Wie im mu , so kommt es auch im Mittleren- und Oberen Muschelkalk durch die Randfazies zu charakteristischen Dolomitbildungen.

Unverfälschte Aufschlüsse des Mittleren- und Oberen Muschelkalks sind im Arbeitsgebiet praktisch nicht oder nur in geringem Umfang vorhanden, so daß keine detaillierten Untersuchungen durchgeführt werden konnten. Dies ist auch durch die Tatsache bedingt, daß sich diese Muschelkalkablagerungen im Arbeitsgebiet oft nur in Resten auf den Hochflächen erhalten haben und sehr oft unter Tertiärablagerungen verborgen sind.

3.4.1 Unterer Muschelkalk (mu)

Mit ca. 60 m steht im Arbeitsgebiet hauptsächlich der Unterste Muschelkalk (mu_1) an.

Er ist als schwach kalkiger, feinkörniger Sandstein mit Bankmächtigkeiten um 1 m ausgebildet.

In den gelblichen bis gelblichgrauen, dünnbankigen Schichten sind häufig Glimmer und kleine Manganflecken zu beobachten. Sandsteine wechseln mit tonig-schluffigen Lagen. Auch treten gelbliche bis eigelbe kalkig-dolomitische Bänke auf.

Im Hangenden kann z.T. ein nur wenige Meter mächtiger mu_2 in Form eines zelligen Dolomites beobachtet werden, der hier aber nicht gesondert betrachtet werden soll und in den Profilen bzw. Kartendarstellungen dem mu_1 zugeordnet wird.

3.4.2 Mittlerer Muschelkalk (mm)

Der im Kylleinzugsgebiet von 40 m bis zu 60 m mächtige Mittlere Muschelkalk besteht zum größten Teil aus dünnplattigen, grauen Mergeln. Auch bunte, oft rote oder grauviolette Farben erscheinen häufig.

An der Basis sind rote Tone vorhanden.

Graue und grau-grünliche, dünnplattige Dolomite treten ebenfalls auf.

In dünnen, sandigen Lagen können, nach GREBE (1892) und anderen Autoren, Pseudomorphosen nach Steinsalz auftreten.

Anhydrit- und Gipslager von mehreren Meter Dicke sind z.T. eingeschaltet, wurden im Arbeitsgebiet aber nicht festgestellt (nur gebietsweise vertreten).

Die schwankenden Mächtigkeiten des mm in der Bitburger Mulde müssen wahrscheinlich auf Auslaugungsvorgänge des Anhydrit- und Gipslagers zurückgeführt werden.

3.4.3 Oberer Muschelkalk (mo)

Eine detaillierte Untergliederung des ca. 60 m mächtigen mo wurde nicht durchgeführt, da sie aus hydrogeologischer Sicht unnötig erscheint (in Anlage 1 nur mo).

Eine vereinfachte Untergliederung in den Trochitenkalk (mo₁) und den Nodosusdolomit (mo₂) kann vorgenommen werden.

Der in dm-mächtigen Bänken vorliegende mo₁ ist von aschgrauer Farbe und nicht selten dolomitisch.

Hauptsächlich kalkig-dolomitisch ist der mo₂. Er besteht aus einer Wechselfolge hellgelblichgrauer, feinkörniger Dolomite und grau-grünlicher, mergeliger Tone.

3.5 Keuper

In geringer Verbreitung tritt der Keuper im Kyll Einzugsgebiet fast ausschließlich im Raum Bitburg auf.

Der gesamte Keuper kann in der Bitburger Mulde bis zu 130 m mächtig werden. Bei Bitburg wird diese Mächtigkeit aber nicht erreicht, da hier nur der Untere- und Mittlere Keuper vertreten sind.

3.5.1 Unterer Keuper (ku)

Im bis zu 30 m erreichenden Unteren Keuper wechseln graue, grau-violette bis rötliche Mergel mit Dolomitbänken und Sandsteinen, die bis zu 15 m stark werden können.

Aufschlüsse sind im Gelände sehr selten.

3.5.2 Mittlerer Keuper (km)

Der Mittlere Keuper kann bis auf eine Schichtdicke von über 100 m anwachsen, die im Kyllgebiet aber nicht erreicht wird, da er im Hangenden z.T. abgetragen ist.

Wegen der Gipsführung und der häufig auftretenden Pseudomorphosen nach Steinsalz wird der km auch als Gips- oder Salzkeuper bezeichnet.

In einer Folge von bunten Mergeln treten dünnplattige, hellgelbliche bis rötliche Dolomite und im Hangenden sehr feste hellgraue Steinmergelbänke auf.

3.6 Tertiär

Nur bei den Ortschaften Speicher und Binsfeld liegen über Oberem Buntsandstein bis zu 15 m mächtige, hellgraue bis weiße, seltener gelbliche oder rötliche magere Kaolintone. Sie werden von hellbraunem bis graubraunem sog. Decklehm mit Quarzgeröllen überlagert, der auch in anderen Teilen des Kyllgebietes in geringem Umfang die Hochflächen bedeckt.

3.7 Quartär

Von untergeordneter Bedeutung sind die quartären Terrassenschotter, da sie beiderseits der Kyll nur wenig verbreitet und meist sehr geringmächtig sind.

Die stratigraphische Stellung der geröllführenden Sand- und Lehmlagerungen ist zudem umstritten. Sie werden dem Pleistozän, teilweise aber noch dem Pliozän zugeordnet.

4. TEKTONIK

4.1 Störungen

Die triassischen Schichten der Bitburger Mulde werden von zahllosen Verwerfungen durchzogen, bei denen es sich nur um Abschiebungen handelt.

Am häufigsten treten an den Muldenrändern Störungen auf. Einen solchen Randbereich, der tektonisch besonders stark beansprucht ist, durchfließt die Kyll zwischen Auw an der Kyll im Norden und Trier-Ehrang im Süden.

Ein dem Streichen der Schichten nahezu paralleles System von Störungen tritt besonders hervor. Es wird schon von LEPLA (1924) erwähnt und von ihm auf die Muldenbildung zurückgeführt.

Dieses um 60° streichende Störungssystem konnte im Gelände ebenfalls beobachtet werden (siehe Anlage).

Neben den etwa 60° verlaufenden Störungen ist ein weiteres System von Störungen, das um 25° streicht, erkennbar. Beide Systeme wurden auch von GREBE (1885) kartiert. Auf der geologischen Karte von GREBE (1885) ist auf dem Blatt Welschbillig, südlich von Kordel, eine große Zahl von Störungen verzeichnet. Die oft nur wenige 100 m voneinander parallel verlaufenden Verwerfungen werden hier gut sichtbar, da sie eindeutig erkennbare Schichtglieder des Muschelkalks und des Keupers gegen Buntsandstein oder Mittleren gegen Oberen Buntsandstein versetzen.

Hinweise auf Störungen konnten aber auch in einigen Aufschlüssen des sm und so gefunden werden. Dazu gehören kleine Flächen mit Harnischbildungen oder stark zerrüttete Bereiche. Vertikale Verwerfungsbeträge konnten hier nur in wenigen Fällen eindeutig bestimmt werden, da entsprechende Leithorizonte fehlen.

Die Flächen der beiden Störungssysteme, die im weiteren als System I (um 25°) und System II (um 60°) bezeichnet werden sollen, fallen nach SE und NW ein. Am häufigsten ist bei beiden ein Einfallen nach SE, also entgegen der Schichtneigung (antithetisch) zu erkennen.

Die Störungsflächen des Systems I fallen vorwiegend mit 45° bis 50° ein, während die Flächen des Systems II meist mit 60° bis 70° steiler einfallen.

Der Verlauf der beobachteten Rutschstreifen (Harnisch) auf den Flächen der beiden Systeme ist in allen Fällen vertikal.

Die erkennbaren Abschiebungsbeträge liegen zwischen wenigen Metern und 120 m.

Durch das Störungssystem I ergeben sich, soweit die Störungen gegen die Schichtung einfallen, nach ESE antithetisch abgeschobene Schollen.

Nach SSE antithetisch abgeschobene Schollen können durch das System II entstehen.

Die Resultierende der beiden Abschiebungsrichtungen weist als generelle Ausweitungsrichtung NW-SE.

Beide Störungssysteme zerlegen hauptsächlich den südlichsten Bereich des Kyll Einzugsgebietes bis zur Deimlinger Mühle (vgl. Kap. 2) in viele einzelne Schollen (siehe Abb. 6 und Anlage 1, Kap. 3.3.1). Einige dieser Schollen sind als Graben zwischen den Störungen eingesunken. Eine sehr schmale Grabenzone hat sich z.B. bei der Ortschaft Newel gebildet.

Im Raum nördlich der Devonschwelle an der Deimlinger Mühle tritt das System I anscheinend zurück und nur dem System II angehörende Störungen herrschen vor.

Flache, mit 5 - 15° nach NW fallende Striemungslineare auf Harnischflächen konnten in einigen Aufschlüssen ebenfalls beobachtet werden. Sie treten auf Trennflächen auf, die 100 - 110° und 130 - 150° streichen. Die nahezu senkrecht stehenden Flächen lassen sich im Gelände aber nur über wenige Meter verfolgen. Sie zeigen kaum oder keine Verwerfungsbeträge.

Nach ELBERSKIRCH (1937), der die Tektonik der Triasbucht von Mechernich - Nideggen und in geringerem Umfang auch die tektonischen Verhältnisse der Trierer Bucht (Bitburger Mulde) beschreibt, handelt es sich bei den ca. 100° und ca. 140° streichenden Störungen um Blattverschiebungen. Die von mir als System I und II bezeichneten Verwerfungen sind nach ELBERSKIRCH (1937) jünger als die oben erwähnten Blattverschiebungen, da sie diese versetzen. Wegen der geringen Reichweite der gefundenen "Blattverschiebungen" kann dies nicht bestätigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit kann auf die Fragestellung über das Alter und auch auf den Entstehungsmechanismus nicht näher eingegangen werden.

Als Brüche oder als Schwächezonen sind die Verwerfungen in den mesozoischen Schichten erkennbar und in der Topographie des Kyllinzugsgebietes, besonders im Verlauf der Kyll und ihrer Nebenbäche, wiederzufinden.

Ober das sehr komplexe Problem, das die hydraulische Wirksamkeit der Störungen betrifft, können keine genauen Angaben gemacht werden. Es ist zu erwarten, daß die Störungen sowohl stauend als auch gut durchlässig sind. Anscheinend überwiegt aber der stauende Charakter, da ähnlich wie im Saarland (SEILER, 1968, 1969) in vielen Fällen auf den Störungsflächen ein sehr feinkörniger Belag oder ein lehmiger Kern eine Grundwasserbewegung beeinträchtigt, wenn nicht unmöglich macht. Der an der Bohrung 24 (vgl. Anlage 1) festgestellte artesischer Überlauf könnte z.B. auf die stauende Wirkung der nahegelegenen Störung hinweisen.

4.2 Klüftung im Buntsandstein

Bei der Beschreibung der Klüftung soll hier ausschließlich auf die Klüfte im Buntsandstein eingegangen werden.

Die Durchtrennung der den Buntsandstein überlagernden Schichtkomplexe durch Klüfte konnte nicht näher untersucht werden, da entsprechende Aufschlüsse fehlen. Es kann aber angenommen werden, daß ähnliche oder gleiche Kluftrichtungen, wie sie im Buntsandstein erscheinen, auch in den jüngeren mesozoischen Schichten vorhanden sind. Wegen der relativ geringen Verbreitung des Oberen Muschelkalks und des Keupers im Kyllgebiet kann die Klüftung dieser Schichten vernachlässigt werden. Auch für die hydrogeologische und hydraulische Fragestellung ist die Klüftung der jüngeren Schichten nur von untergeordneter Bedeutung, da nur der Buntsandstein als Hauptgrundwasserleiter anzusehen ist.

4.2.1 Kluftcharakteristik und Kluftstatistik

Die Klüfte können grob in große, tiefreichende und kleine, in der Vertikalen begrenzte Klüfte gegliedert werden.

Die tiefreichenden und daher hydraulisch wirksamen Trennfugen sind meist sehr einheitlich ausgebildet und in den massigen Sandsteinen besonders gut sichtbar. Es sind oft nahezu senkrecht stehende Trennflächen, die eine dem jeweiligen Sandstein entsprechende Rauigkeit zeigen.

Die Öffnungsweiten sind in den kompakten, meist konglomeratischen Sandsteinen im Aufschluß über Tage z.T. erheblich. Sie betragen bis zu 2 m. Diese extremen Öffnungsweiten sind aber sehr selten und eindeutig durch Talzusub und Erosion erweitert.

Einige wenige Klüfte sind zwischen 10 und 20 cm weit geöffnet. Meist klaffen sie im Aufschlußbereich aber nur 2 bis 5 cm.

Alle im Gelände beobachteten Öffnungsbeträge können aber nicht ohne weiteres auf tiefere Bereiche des Buntsandsteins übertragen werden. Nach SEILER (1968) müssen sehr viel kleinere Kluftweiten angesetzt werden.

Durch Pumpversuche, bei denen über Färbeversuche die Filtergeschwindigkeit bestimmt wurde, errechnet SEILER (1968) für den saarländischen Buntsandstein Kluftweiten von unter 0,5 cm, die nur bis in Tiefen bis zu 100 m reichen sollen.

Für den Buntsandstein im Einzugsgebiet der Kyll dürften ähnliche Öffnungsweiten angenommen werden.

In der Kernbohrung "Oberweis", im Westen der "Bitburger Mulde", nimmt der artesische Überlauf bis auf 230 m Tiefe erheblich zu (von 0,2 auf 17 l/s). Dieses Ergebnis deutet, im Gegensatz zu den Erkenntnissen von SEILER, auf offene Klüfte auch in Tiefen über 100 m hin.

In den dünnbankigen Sandsteinen treten neben den großen, vertikal lang durchhaltenden Klüften mehrere kleine, ebenfalls meist seiger stehende, sehr enge Risse unter 1 mm auf. Diese Kleinklüftung findet sich in horizontalen Abständen von 1 bis 5 m, während die großen Trennflächen in 5 bis 10 m Entfernung auftreten. In der Nähe von Störungen wird der Abstand enger und beträgt zwischen 0,5 und 1 m.

Die Klüfte streichen meist parallel bis spitzwinklig zu den Störungssystemen.

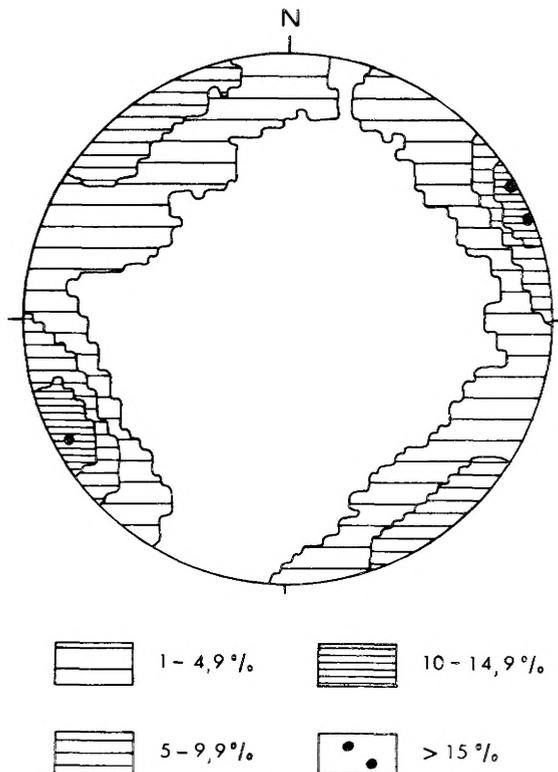


Abb. 7: Gefügediagramm (Schmidtsches Netz) der gemessenen Klüfte (793 Werte) mit der Besetzungsdichte in % (793 = 100 %).

Vorherrschend sind Klüfte, die die Störungssysteme I und II begleiten und zwischen 10° und 85° streichen. In diesem Streuungsbereich liegen etwa 50 % aller gemessenen Klüfte (793 Werte), die zu 71 % nach SE einfallen (Abb. 7 und 8). Mit ca. 8 % aller Trennflächen bilden sie ein Maximum zwischen beiden Störungssystemen bei 40° bis 45° , von denen wiederum ca. 75 % nach SE einfallen. Ein zweites, nicht so klar auftretendes Maximum liegt mit ca. 5 % bei 60° - 65° . Auch hier fallen die meisten Klüfte (ca. 68 %) nach SE ein.

Senkrecht, bis nahezu senkrecht zu den Klüften, die die Systeme I und II begleiten, streichen über 33 % aller erfaßten Klüfte. Sie verlaufen zwischen 120° und 165° und fallen zu 69 % nach NE ein. Etwa 8 % dieser Trennflächen bilden ein Maximum bei 150° bis 155° , die zu 75 % nach NE fallen (Abb. 8).

Gut 17 % aller Trennflächen verteilen sich auf die anderen Streichrichtungen und können kei-

nem bestimmten Störungssystem zugeordnet werden. Aus dieser Häufigkeitsverteilung kann auf eine gute Vergitterung der Klüfte geschlossen werden, die im Bereich von Störungen besonders groß ist.

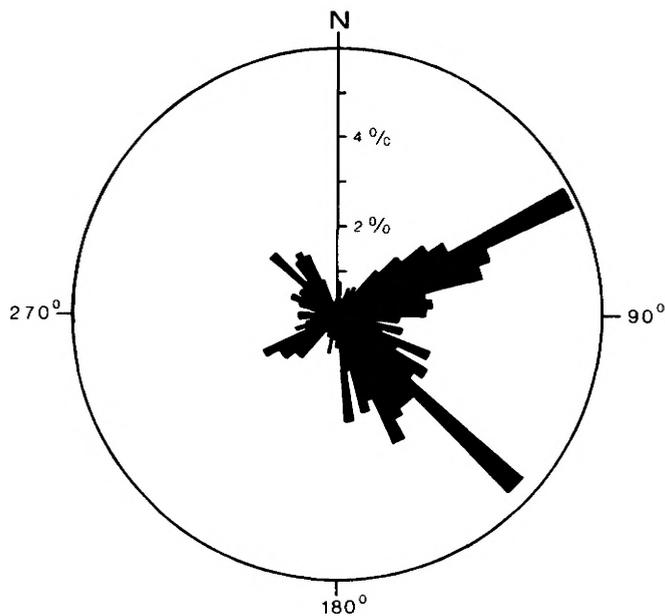


Abb. 8: Einfallrichtung der Klüfte (793 Werte) und ihre Häufigkeit in % (Größenklassen 5°).

5. HYDROGRAPHIE

5.1 Kyll allgemein

Den Hauptvorfluter stellt im Bitburger Raum die Mosel dar. Die Kyll als Zufluß 1. Ordnung folgt mit ihren Zuflüssen 2. und 3. Ordnung im wesentlichen den in Kapitel 4 beschriebenen tektonischen Linien.

Von dem ca. 847 km² großen Kylleinzugsgebiet soll hier nur das Kyllgebiet zwischen dem Kyllpegel Densborn im Norden und der Kyllmündung in die Mosel bei Trier-Ehrang beschrieben werden. Dieses Gebiet mit über 364 km² wird in die hydrologischen Betrachtungen einbezogen, während die geologischen Untersuchungen nur für den 225 km² großen Südtteil des Kyllgebietes vorgenommen wurden.

Bei Kordel befindet sich der südlichste Kyllpegel, der seit 1966 als Schreibpegel ausgebaut ist.

Zwischen den beiden Kyllpegeln Kordel und Densborn im Norden umfaßt das Kylleinzugsgebiet 341,4 km² (Abb. 3, Kap. 1.3). Am Pegel Densborn, der seit 1956 als Schreibpegel besteht, tritt die Kyll in das bearbeitete Gebiet ein. Der Fluß durchfließt hier noch auf ca. 8 km Länge unterdevonische Tonschiefer.

Mit einem Gefälle von ca. 3 ‰ folgt der Flußlauf mit geringen Abweichungen der N - S - Richtung.

Oberhalb von Kyllburg tritt die Kyll in die Bitburger Mulde ein. Sie durchschneidet den Buntsandstein in einem engen Tal, das von der N - S - Richtung nur in einigen großen Schleifen abweicht.

Unterhalb von Kyllburg wächst das Gefälle auf 3,5 ‰. Erst ab Auw an der Kyll geht es bis auf ca. 2 ‰ zurück. Fast auf der gesamten Strecke von Kyllburg bis Ehrang schneidet sich die Kyll in einem 50 bis 100 m breiten Tal tief in die mesozoischen Schichten ein.

Nur in wenigen Schleifen, in denen der Fluß auch in diesem Abschnitt von der N - S - Richtung abweicht, erweitert sich das Tal auf einige hundert Meter. Der Höhenunterschied von der Hochfläche bis zum Talboden beträgt fast überall zwischen 100 und 200 m.

In einer der größeren Talweitungen liegt Kordel. In einer anderen Flußschleife südlich Kordel bei der Burg Ramstein befinden sich die für die lokale Wasserversorgung wichtigen Brunnen Ramstein I und III (Anlage 1).

5.2 Nebenbäche der Kyll

Durch Abflußmessungen (siehe Kap. 7) werden 163,6 km² des südlichen Kylleinzugsgebietes genauer untersucht. Diese Fläche umfaßt die oberirdischen Einzugsgebiete (Abb. 3, Kap. 1.3 und Abb. 9) der wichtigsten Kyllnebenbäche (Zufluß 2. Ordnung). An deren Unterlauf, kurz vor der Kyll und z.T. im Oberlauf, wurden im Herbst 1972 Pegelschreiber installiert.

Von S nach N sind es westlich der Kyll folgende Meßgebiete, die sich in 2 Fällen durch Differenzbildung zwischen den Pegeln im Ober- und Unterlauf desselben Baches ergeben:

Name des Bachlaufes	Einzugsgebiet E_0 in km^2	Meßgebiet Nr.
--- Butzweiler Bach	4,23	II
--- Kimmlinger Bach	6,52	III
--- Welschbilliger Bach	31,92	IV
--- Welschbilliger Bach Oberlauf	18,62	V
--- Welschbilliger Bach Unterlauf	13,30	IV-V
--- Bach bei Kyll (Ittel)	2,84	VII
--- Keutelbach	21,56	IX
Östlich des Kyll sind es:		
--- Lohrbach	3,84	I
--- Grundsgaben	9,59	VI
--- Stillegraben	12,57	VIII
--- Aulbach	70,42	X
--- Langebach	19,51	XI
--- Spanger Bach	28,80	XII
--- Aulbach ohne Spanger	22,11	X-XI-XII
--- Bach und Langebach		

Fast alle Nebenbäche haben mit 2 - 5 % ein weit größeres Gefälle als die Kyll. Der Bach bei dem Ort Kyll (VII) hat, bedingt durch den nur etwa 900 m langen Bachlauf, ein Gefälle von ca. 13 %.

Die Nebenbäche sind, soweit sie im Buntsandstein fließen, tief in diesen eingeschnitten und bilden sehr enge Täler mit steilen Hängen. Anstehender Buntsandstein ist allerdings meist nur im Unterlauf der Bäche zu beobachten.

Im Oberlauf können enge Talabschnitte auch im Oberen Muschelkalk auftreten.

Der höchstgelegene Bachabschnitt im Bereich der Hochflächen (meist Keuper) ist dagegen überwiegend als weites flaches Tälchen ausgebildet. Oft sind die Bäche in diesem höchsten Teil nur noch als Entwässerungsgraben oder in Form eines Dränrohres vorhanden.

Durch 13 vorübergehend eingerichtete Abflußmeßstellen wurden der Kimmlinger Bach und der Lohrbach hydrologisch besonders stark aufgeschlossen.

In zwei der 14 Meßgebiete des Kimmlinger Baches und des Lohrbaches wurden neben den Abflußmessungen an den Zuflüssen 2. Ordnung auch an Zuflüssen 3. und 4. Ordnung die Abflußmenge bestimmt. An 13 Meßstellen wurden zu diesem Zweck Meßwehre und Gerinne für Flüßgelmessungen errichtet. Durch Differenzbildung zwischen den 13 Meßergebnissen und den Pegelschreiberergebnissen im Lohrbach (I) und Kimmlinger Bach (III) konnten 22 weitere Meßgebiete untersucht werden (siehe Kap. 7 und Abb. 9).

Im Lohrbach wurden an 5 Stellen Meßwehre errichtet, die es erlauben, die Wasserführung des Lohrbaches (Zufluß 2. Ordnung) abschnittsweise zu kontrollieren. Außerdem entstand ein Meßwehr an einem Zufluß (3. Ordnung) des Lohrbaches. Weitere 8 Meßstellen, die die Zuflüsse 3. und 4. Ordnung erfassen sollten, wurden im Kimmlinger Bach eingerichtet. Die Meßstelle Nr. 5 konnte allerdings wegen starker Umläufigkeit nicht betrieben werden, so daß, wie oben angeführt, nur 13 und nicht 14 (5 + 1 + 8) Meßstellen zur Verfügung standen.

Durch die Abflußmeßstellen ergeben sich im Kimmlinger Bachtal (III) folgende Meßgebiete (Abb. 9):

Meßgebiet Nr.	Einzugsgebiet E_0 in km^2	Zufluß ... Ordnung
1	0,44	3
2	0,17	4
1 - 2	0,27	3
3	0,37	3

Meßgebiet Nr.	Einzugsgebiet E_0 in km^2	Zufluß ... Ordnung
4	1,38	3
5	-	-
6	1,79	2
7	1,27	2
6 - 7	0,52	2
8	0,55	3
III - (3 bis 8)	1,99	2 + 3

- Niederschlagsmeßstelle
- Einzugsgebietsgrenze :
 - - - - - 2. Ordnung
 - · - · - 3. ..
 - · · - · 4. ..

- ⊥ I Schreibpegel
- ⊥ 8 andere Meßstellen

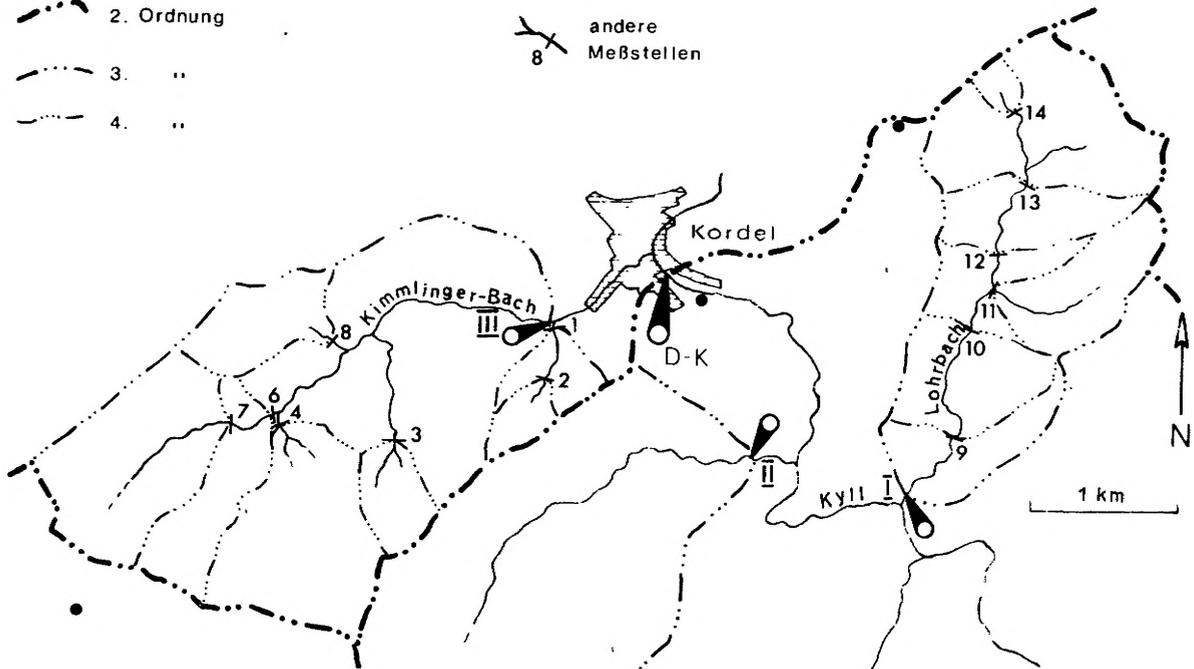


Abb. 9: Abflußmeßstellen im Kimmlinger Bach und im Lohrbach

Im Lohrbach (I) ergeben sich folgende Meßgebiete (Abb. 9):

Meßgebiet Nr.	Einzugsgebiet E_0 in km^2	Zufluß ... Ordnung
9	3,39	2
1 - 9	0,45	2
10	2,76	2
9 - 10	0,63	2
11	0,60	3
12	1,78	2
10 - 11 - 12	0,38	2
10 - 12	0,98	2
13	1,27	2
12 - 13	0,51	2
14	0,10	3
13 - 14	1,17	2

6. ERMITTLUNG DER KLIMADATEN

Die Klimadaten für das Gebiet der unteren Kyll zwischen Densborn und Ehrang liefert die Klimastation Trier-Petrisberg (265 m über NN) des Wetteramtes Trier.

Da nur diese Station zur Verfügung stand, mußten die dort gemessenen Klimadaten für das Gesamtgebiet, von Trier-Ehrang im Süden bis nach Densborn, etwa 40 km nördlich Trier, als gültig angenommen werden. Wie sich in den folgenden Untersuchungen (vgl. Kap. 6.2.2) zeigt, konnte dies ohne Korrekturen geschehen.

Folgende, an der Station Trier-Petrisberg gemessene Werte wurden für die weiteren Berechnungen verwandt:

- monatliche Niederschlagssummen
- Monatsmittel der Temperatur um 14 Uhr
- Monatsmittel des Dampfdruckes um 14 Uhr

Zur Feststellung der Niederschlagsverteilung konnten neben den Werten der Trierer Wetterstation für das hydrologische Jahr 1973 die monatlichen Niederschlagssummen weiterer 15 Niederschlagsmeßstellen herangezogen werden (Abb. 10), darunter die folgenden Stationen des Deutschen Wetterdienstes:

Name	Höhe ü.NN	Kürzel
Newel	356	N
Mülchen	293	M
Bitburg	330	Bi
Spangdahlem	327	Sa
Seinsfeld	447	Se
Densborn	308	De
Weißenseifen	530	We
Stationen der Stadtwerke Trier:		
Kordel/Kläranlage	140	K
Kordel/Hochmark	370	H
Welschbillig	256	Wb (1891-1930 308 m ü.NN)
Ittel	315	I
Dahlem	258	Da
Röhl	308	R
Speicher	326	Sp
Stationen anderer Betreiber:		
Badem	357	Ba

Für die Jahresreihe 1891-1930 standen allerdings nur 5 Stationen, nämlich Trier-Petrisberg, Newel, Welschbillig, Bitburg und Densborn zur Verfügung, während für 1965-74 die 7 Stationen Trier-Petrisberg, Newel, Mülchen, Bitburg, Spangdahlem, Seinsfeld und Densborn verwendet werden konnten.

Die durchschnittliche Windverteilung ergibt sich aus den Messungen an der Station Trier. Danach dominieren im Jahresmittel aus SW einströmende Luftmassen, die ihre größte Häufigkeit im Januar, Juli und Dezember haben.

6.1 Niederschlag

6.1.1 Niederschlag der Jahresreihe 1891-1930

Bei der Betrachtung der mittleren Niederschlagssummen dieser 40 Jahre ist für das Einzugsgebiet der Kyll eine höhenabhängige Niederschlagsverteilung zu erkennen. Nach den Angaben im WASSERWIRTSCHAFTLICHEN GENERALPLAN FÜR DAS MOSELGEBIET (1971) nehmen die Niederschläge von S nach N zu.

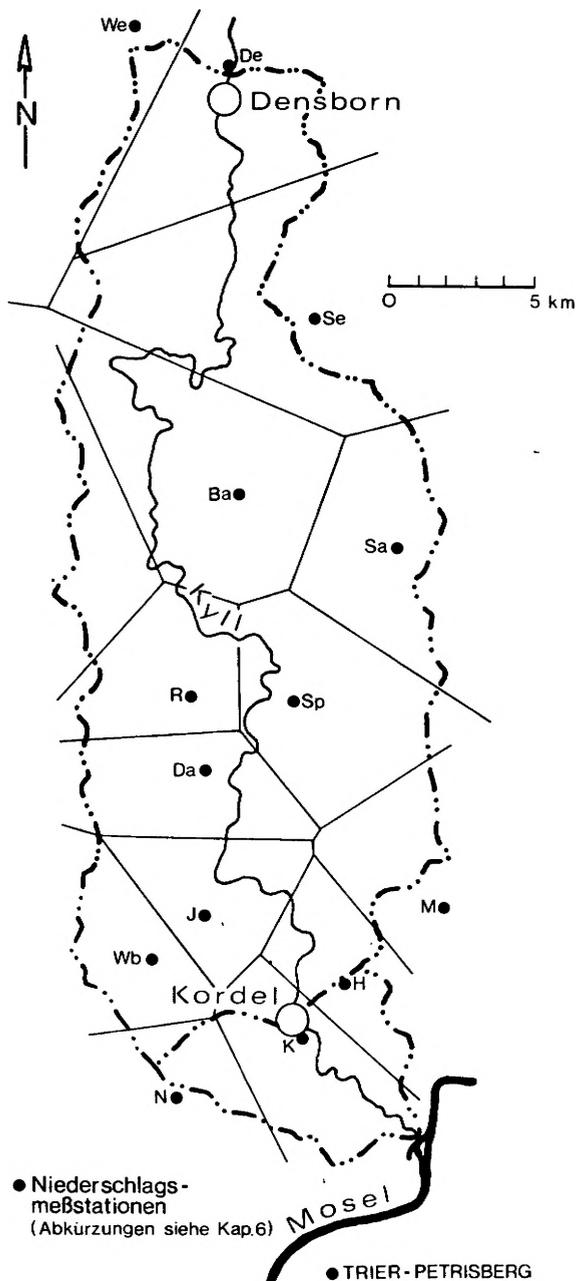


Abb. 10: Niederschlagsstationen mit den zugehörigen Niederschlagspolygonen.

gischen Sommerhalbjahr hat ebenfalls Densborn mit 405 mm den höchsten und Welschbillig mit 379 mm den geringsten Niederschlag.

Der mittlere Gebietsniederschlag liegt für das hydrologische Sommerhalbjahr bei 391 mm.

Das Verhältnis von Sommer- zu Winterniederschlag aus den Gebietsmittelwerten der hydrologischen Halbjahre ergibt etwa 112 %.

Der mittlere monatliche Niederschlag aller 5 Stationen beträgt 62 mm. Auch für diese Monatsmittel liegt das Maximum wieder in Densborn (66 mm) und der Minimalwert mit 60 mm in Trier und Welschbillig. Wie Abb. 11 zeigt, liegt ein Niederschlagsmaximum im Dezember, der meiste Niederschlag fällt jedoch in den Monaten Juni bis August und im Oktober. Niederschlagsminima zeigen die Monate Februar bis Mai.

Für das Kylltal bis etwa 300 m ü.NN liegt der langjährige mittlere Niederschlag zwischen 650 und 750 mm. Für den Bereich zwischen 300 und 400 m ü.NN werden Werte von 700 - 800 mm, über 400 m ü.NN mehr als 800 mm angegeben.

Die jährlichen Niederschlagssummen in Naßjahren liegen im Gebiet zwischen Densborn und Ehrang bei 750 - 1000 mm und für Trockenjahre bei 550 - 750 mm.

Der mittlere Jahresniederschlag ist mit 788 mm in Densborn (im Norden) am höchsten und mit 710 mm in Welschbillig am niedrigsten (siehe Abb. 11).

Der mittlere Gebietsniederschlag wird als gewogenes Mittel mit Hilfe der sog. Polygon- oder Mittelsenkrechten-Methode (WECHMANN, 1964) nach der Gleichung

$$N_m = \frac{\sum_{i=1}^n N_i F_i}{F_G}$$

berechnet (Abb. 10), dabei ist:

- N_m = mittlerer Gebietsniederschlag in mm
- N_i = Niederschlagshöhe der i-ten Meßstelle in mm
- F_i = Teilfläche der i-ten Meßstelle in km^2
- F_G = Fläche des gesamten Einzugsgebietes in km^2

Für den Zeitraum 1891 - 1930 beträgt dieser mittlere Gebietsniederschlag N_m 740 mm/a.

Die Winterniederschläge des hydrologischen Jahres erreichen bei Densborn 383 mm, während sie bei Trier mit 321 mm am niedrigsten sind.

Das Gebietsmittel der Winterniederschläge beträgt 348 mm. Im hydrolo-

6.1.2 Niederschlag der hydrologischen Jahre 1965-74

Aus den Werten der 7 zur Verfügung stehenden Stationen (vgl. Kap. 6.) ist eine höhenabhängige Niederschlagsverteilung, wie sie aus der Jahresreihe 1891 - 1930 (Kap. 6.1.1) interpretiert wurde, nicht eindeutig abzuleiten. Lediglich im Gebiet nördlich der Linie Bitburg-Seinsfeld zeichnen sich mit zunehmender Höhe (von S nach N) auch größere Niederschläge ab. Es muß angenommen werden, daß die höhenabhängigen Niederschläge südlich der Linie Bitburg-Seinsfeld nur hypothetisch sind und nach der Morphologie konstruiert wurden (siehe auch Kap. 6.1.3).

Die mittleren jährlichen Niederschlagssummen reichen von 725 mm/a in Spangdahlem bis 888 mm/a in Densborn.

Der mittlere Gebietsniederschlag N_m ist mit 808 mm/a um 68 mm oder ca. 9 % höher als N_m für die Jahre 1891 - 1930. Diese Differenz von 9 % kann auf die Tatsache zurückgeführt werden, daß in den Jahren 1965-74 die extremen Naßjahre (1965-68 und 1970 mit N um 1000 mm/a) überrepräsentiert sind, während nur 1969 und 1971-73 als extreme Trockenjahre in die Berechnung eingehen (vgl. Kap. 6.2., Tab. 3 und 3a und Kap. 6.2.1). Das hydrologische Jahr 1974 kann mit 745 mm/a als normales Niederschlagsjahr angesehen werden.

Das Verhältnis zwischen Naß- und Trockenjahren dieser relativ kurzen Reihe spiegelt sich auch in den folgenden Werten wider. Die Niederschläge der hydrologischen Winterhalbjahre liegen zwischen 329 mm in Spangdahlem und 442 mm in Densborn.

Das Gebietsmittel der Winterhalbjahre beträgt 374 mm, ist also um etwa 7 % höher als in den Jahren 1891 - 1930. Im Sommer reichen die Niederschläge von 395 mm in Spangdahlem bis zu 466 mm in Mülchen. Das N_m des Sommerhalbjahres ist um 11 % höher als im Zeitraum 1891 - 1930 und liegt bei 434 mm.

Das Verhältnis von Sommer- zu Winterniederschlag aus den Gebietsmittelwerten ergibt ca. 116 % und ist damit um 4 % höher als in der 40-jährigen Meßreihe.

Der mittlere monatliche Niederschlag aller 7 Stationen beträgt 68 mm und übertrifft den vergleichbaren Wert der Jahresreihe 1891 - 1930 um 6 mm oder 10 %. Der höchste Monatsmittelwert von 74 mm wird wiederum in Densborn und der kleinste Wert von 60 mm in Spangdahlem erreicht. Aus der Abb. 11 ist eine ähnliche monatliche Niederschlagsverteilung wie im Zeitraum 1891 - 1930 zu erkennen. Das Hauptmaximum liegt ebenfalls in den Monaten Juni - August, beginnt aber schon im Mai. Ein zweites Maximum weist der November auf, während die Maxima in den Monaten Dezember und Oktober fehlen.

Die niederschlagsärmste Zeit beginnt schon im Dezember, endet aber im April um einen Monat früher als in der 40-jährigen Meßreihe.

6.1.3 Niederschlag des hydrologischen Jahres 1973

Für das sog. "Trinkwasserprojekt Kylltal" wurden von den Stadtwerken Trier zu den vorhandenen Niederschlagsmeßstationen weitere 7 Stationen errichtet, so daß für den Zeitraum, in dem auch zahlreiche Abflußmessungen vorgenommen wurden (vgl. Kap. 7), insgesamt 15 Niederschlags-Meßstellen (Abb. 10 und Kap. 6) im Einzugsgebiet der unteren Kyll ausgewertet werden konnten. Für das Wasserwirtschaftsjahr 1973 (auch für 1974) kann für den Raum südlich der Linie Meckel - Seinsfeld keine höhenabhängige Niederschlagsverteilung mehr festgestellt werden. Diese Aussage ist durch die große Zahl der Stationen möglich, von denen sich einige auch in Tallagen befinden. Eine Erhöhung der Niederschläge mit zunehmender Höhe ist nur nördlich der oben erwähnten Linie Meckel - Seinsfeld feststellbar.

Ein anderes meteorologisches Phänomen beeinflußt die Niederschläge anscheinend bedeutend stärker. Es handelt sich dabei um die Windschattenseite (Lée) von Höhenzügen, auf der geringere Niederschlagshöhen auftreten als auf der dem Wind zugewandten Seite (Luv) eines Höhenzuges (GLANDER, 1966).

Diese Leewirkung, bedingt durch die in Kap. 6 erwähnten Winde aus SW, macht sich nordöstlich eines Höhenrückens bemerkbar, der sich zwischen den Ortschaften Newel im SE und

Meckel im NW erstreckt (Abb. 12 a und b). Der Höhenrücken überragt die Umgebung um ca. 50 - 100 m und läßt ein Leegebiet entstehen, das im NW von der Linie zwischen den Ortschaften Meckel und Seinsfeld und im SE von der Linie Newel - Mülchen begrenzt wird. Es umfaßt die Einzugsgebiete II bis XII (Tab. 1 und Tab. 2).

Der mittlere Gebietsniederschlag N_m für das Gebiet Densborn-Ehrang (= b in Tab. 1) liegt bei 560 mm/a und damit um ca. 23 % niedriger als im langjährigen Mittel von 1891 - 1930 (740 mm/a).

Betrachtet man N_m der hydrologischen Halbjahre, so ergibt sich für den Sommer ca. 20 % weniger N_m als im Zeitraum 1891 - 1930 oder N_m 312 mm und im Winter 248 mm, das sind ca. 29 % weniger als im Zeitraum von 1891 - 1930.

Da für das hydrologische Jahr 1973 dreimal so viele Niederschlagsstationen wie für die Messungen der Jahresreihe 1891 - 1930 ausgewertet werden konnten, muß angenommen werden, daß bei auftretenden Unterschieden die Werte für 1973 genauer sind.

Bei einem Vergleich der Werte von N_m des Jahres 1973 konnte festgestellt werden, daß der Wert aus 15 Stationen um etwa 5 % niedriger liegt als N_m aus 6 Stationen für dasselbe Jahr (siehe auch Kap. 6.2). Die Mittelwerte der Jahresreihe 1891 - 1930 aus 5 Stationen dürften daher ebenfalls um 5 % zu hoch ausfallen. Werden diese 5 % subtrahiert, so ergibt sich für 1891 - 1930 ein N_m von 703 mm/a, von 331 mm im Winter und 371 mm im Sommer. Das Gebietsmittel N_m 1973 liegt dann noch ca. 20 % unter dem N_m der um 5 % verringerten Niederschläge der Jahre 1891 - 1930 (ohne Abzug von 5 %, siehe oben = 23 %). Im Sommer des hydrologischen Jahres 1973 ist N_m ca. 16 % geringer und im Winter noch ca. 25 % kleiner als in den hydrologischen Halbjahren 1891 - 1930.

Das Verhältnis von Sommer- zu Winterniederschlag beträgt für die gewogenen Gebietsmittel N_m 132 % und liegt um 20 % höher als in den 40 Jahren von 1891 - 1930. Die für die Versickerung wichtigen Winterniederschläge sind 1973 zugunsten der Sommerniederschläge verschoben und auch geringer als das langjährige Mittel.

Der mittlere monatliche Niederschlag der 15 Stationen beträgt 51 mm. Das sind etwa 20 % weniger als in dem Zeitraum von 1891 - 1930.

Der höchste mittlere monatliche Niederschlag wurde in Weißenseifen mit 57 mm und der niedrigste in Spangdahlem mit 37 mm gemessen.

Die Verteilung der Niederschläge über das hydrologische Jahr 1973 zeigt deutliche Unterschiede zu den Mittelwerten der Meßreihen von 1891 - 1930 und 1965 - 1974. Während die Niederschlagshöhen der beiden Zeitreihen etwa 10 - 20 mm um den Monatsmittelwert schwanken (Abb. 11), wird der Streubereich für 1973 bedeutend größer und liegt bei 30 - 40 mm. Besonders auffallend sind die sehr geringen Niederschlagshöhen im Winterhalbjahr mit nur einem Maximum im November, das allerdings den höchsten Wert aller Monate erreicht.

Im Sommerhalbjahr liegen die Monate Mai, Juli, Oktober sowie teilweise August und September über dem mittleren monatlichen Niederschlag, nur der Monat Juni hat an allen Meßstellen geringere Werte.

Die mittleren Gebietsniederschläge N_m für die einzelnen Einzugsgebiete (Tab. 2), die nach dem Polygon-Verfahren (vgl. Kap. 6.1.1) ermittelt wurden, liegen zwischen N_m 484 mm/a im Meßgebiet des Spanger Baches (XII) und N_m 633 mm/a im Meßgebiet des Kimmlinger Baches (III). In allen Gebietsmittelwerten spiegelt sich das oben erwähnte Leegebiet wieder. In den Gebieten II bis VI (Abb. 3, Kap. 1.3), die im SW des Leegebietes an die Luvseite grenzen, ergeben sich Niederschlagshöhen von N_m 587 mm/a bis 633 mm/a. Dabei liegen II und III mit 615 und 633 mm/a am höchsten, da sie noch stärker als IV und V vom Luvgebiet beeinflußt werden. In den Einzugsgebieten VII bis IX, im mittleren Teil des Leegebietes, nimmt N_m weiter ab und erreicht nur noch 572 bzw. 562 mm/a, um dann bis XII auf 484 mm/a zu fallen.

Die Gebiete I und VI scheinen dagegen kaum von der Leewirkung betroffen.

Im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn und Kordel, das nicht von den Einzugsgebieten I bis XII abgedeckt wird (in Tab. 2 = Densborn - Kordel ohne I bis XII), steigen die Niederschläge von Badem (Ba) bis nach Weißenseifen (We) in nördlicher Richtung (Tab. 1 und

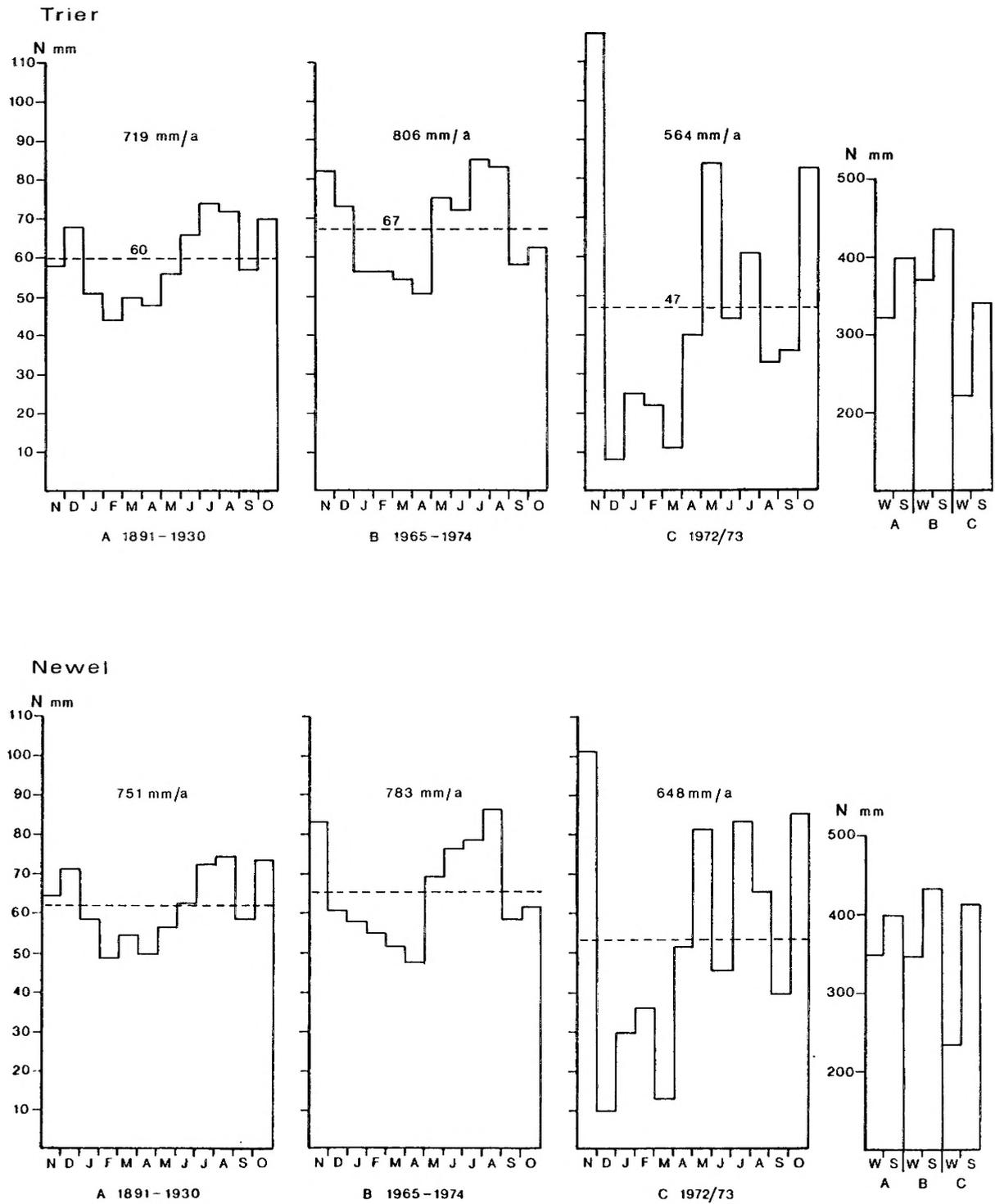


Abb. 11a: Niederschlagsverteilung der Stationen Trier und Newel für die Jahresreihen A = 1891-1930, B = 1965-1974, das hydrologische Jahr 1973 und deren Halbjahreswerte. Mittelwerte gestrichelt

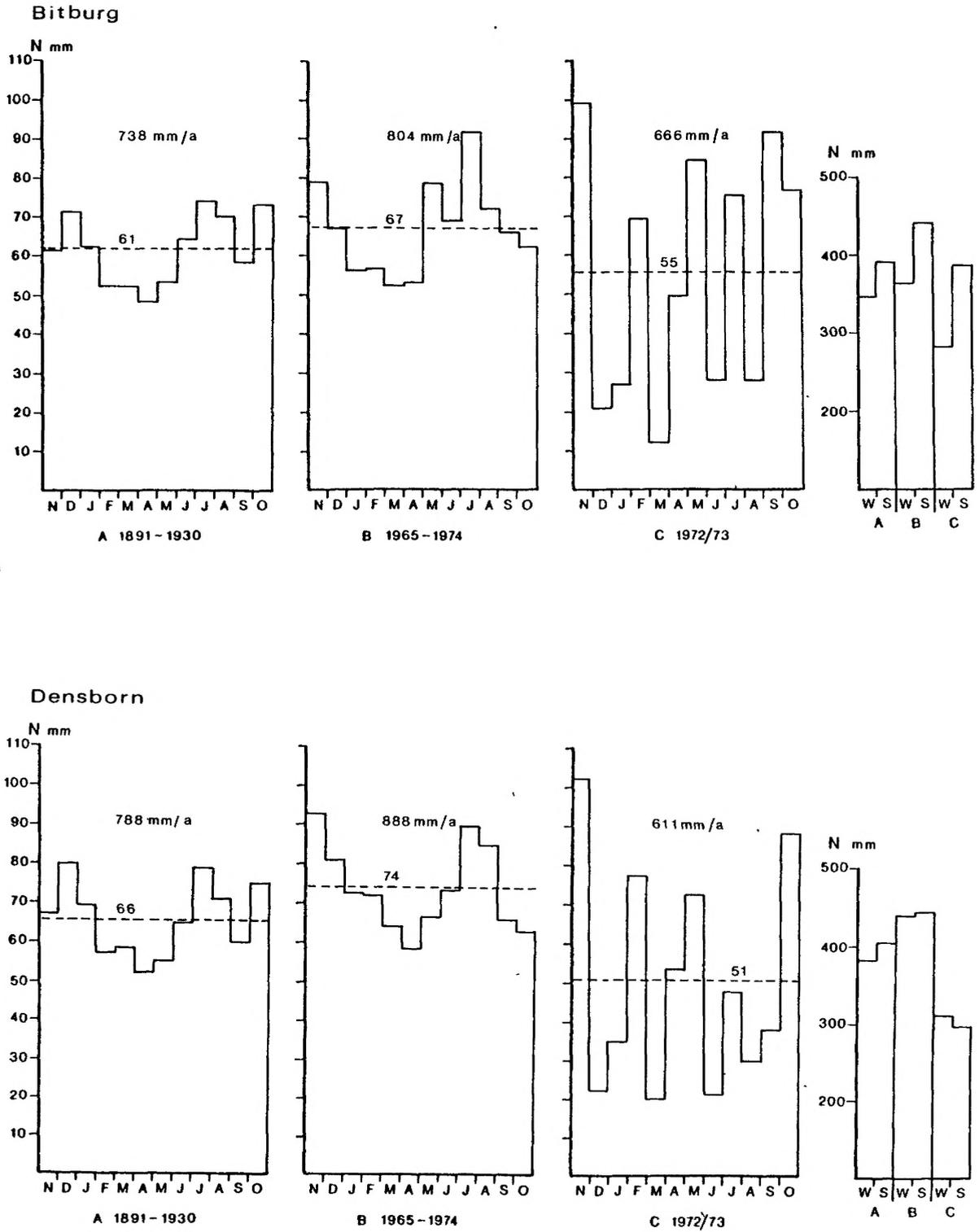


Abb. 11b: Niederschlagsverteilung der Stationen Bitburg und Densborn für die Jahresreihen A = 1891-1930, B = 1965-1974, das hydrologische Jahr 1973 und deren Halbjahreswerte. Mittelwerte gestrichelt

Station Abkürz. Kap. 3.1	Fläche / Polygon		N	N	N
	für a	für b	Jahr	Winter	Sommer
	km ²		mm	mm	mm
We	4,96		687	339	348
De	34,51		611	312	299
Se	40,53		572	275	297
Ba	52,61		513	235	278
Sa	29,91		449	188	261
Bi	15,60		666	280	386
R	23,16		498	209	289
Sp	34,21		521	227	294
Da	26,82		588	240	348
M	15,55		616	261	355
I	20,60		562	246	316
Wb	17,66		590	269	321
H	10,63	17,62	565	221	344
N	6,37	7,94	648	244	404
K	7,97	22,73	602	249	353
a	341,45		N _m 557	N _m 240	N _m 317
b	364,41		N _m 560	N _m 248	N _m 312

Tab. 1: Flächen der Niederschlagspolygone (vgl. Abb. 10) und Niederschläge an den entsprechenden Niederschlagsstationen (von N nach S) im hydrologischen Jahr 1973.
a = Einzugsgebiet Densborn - Kordel
b = Einzugsgebiet Densborn - Ehrang

Meßgebiet Nr.	Dazugehörige Polygone	N _m Jahr	N _m Winter	N _m Sommer
I	K,H	570	225	345
II	K,N	615	247	368
III	K,N	633	246	387
IV	K,N,I,Wb,H	587	259	328
V	Wb,N,I	587	265	322
IV-V	Wb,N,I,K,H	589	250	339
VI	M,H,I	608	258	350
VII	I	562	246	316
VIII	Sp, Da, M	562	239	323
IX	D, R, I, Wb	572	235	337
X	Sa, Ba, Se, Sp	494	217	277
XI	Ba, Sa, Sp	501	225	276
XII	Sa, Se, Ba	484	213	271
X-XI-XII	Sa, Sp	498	215	283
9	K, H	577	229	348
I-9	K, H	597	245	352
Densborn-Kordel ohne III bis XII	alle, außer N, Wb, Sa	572	259	313
Gesamtgebiet Denshorn-Kordel	alle	557	240	317

Tab. 2: Mittlerer Gebietsniederschlag N_m aller Einzugsgebiete zwischen Pegel-Densborn und Kordel für das hydrologische Jahr 1973 (alle Werte in mm).
Abkürzungen (siehe auch Kap. 6): Ba = Badem, Da = Dahlem, H = Hochmark, I = Ittel, K = Kordel, M = Mülchen, N = Newel, R = Röhl, Sa = Spangdahlem, Se = Seinsfeld, Sp = Speicher, Wb = Welschbillig.

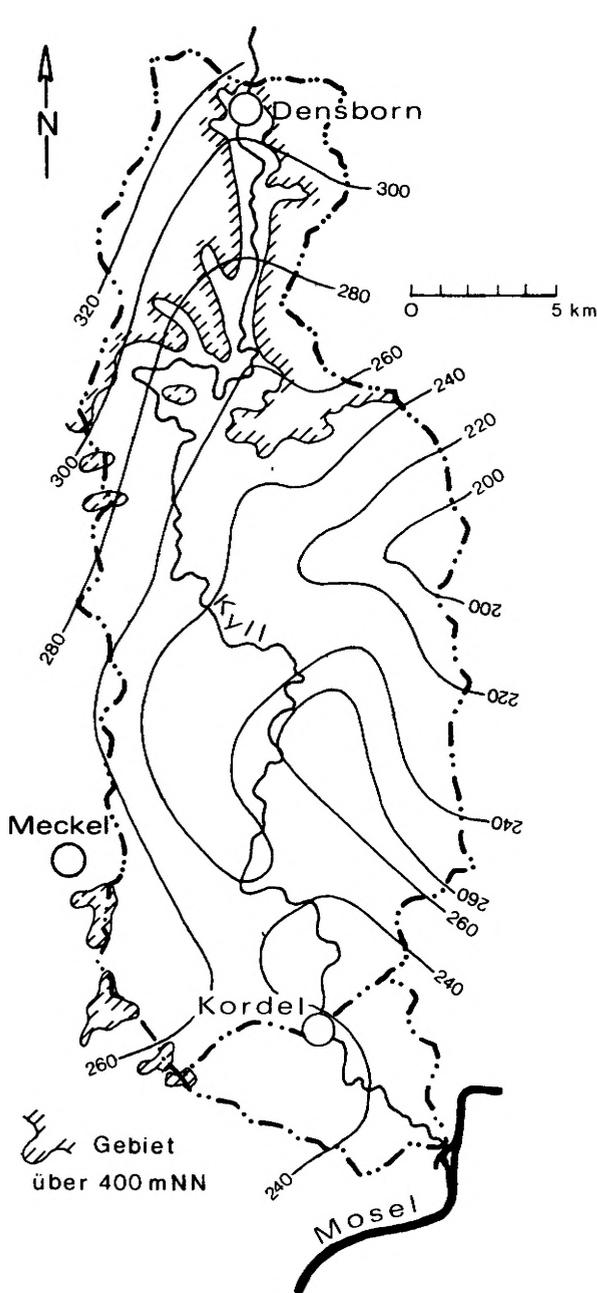


Abb. 12a: Niederschlagsverteilung im hydrologischen Winterhalbjahr 1973

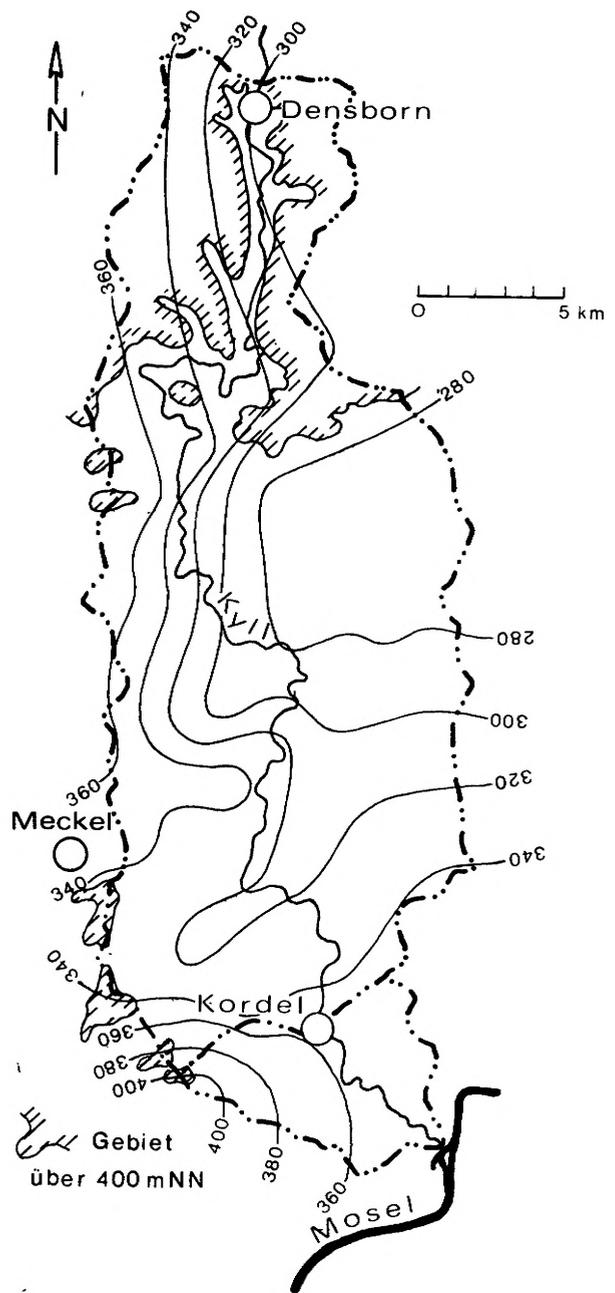


Abb. 12b: Niederschlagsverteilung im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973

Abb. 12a,b) mit zunehmender Höhe über NN an. Das Leegebiet macht sich in diesem Teil des Kyll-einzugsgebietes weniger bemerkbar. Der Wert für N_m liegt daher ähnlich wie in den Einzugs- gebieten VII bis IX bei 572 mm/a.

6.2 Verdunstung

Die Verdunstung umfaßt sowohl die Evaporation (Verdunstung über Wasserflächen oder über Boden ohne Pflanzenverdunstung), als auch die Transpiration (Pflanzenverdunstung).

Evaporation und Transpiration werden unter dem Begriff Evapotranspiration zusammengefaßt.

Nach KELLER (1962) kann die Verdunstung in zwei Verdunstungsarten unterschieden werden:
--- Aktuelle Verdunstung $V_{akt.}$
--- Potentielle Verdunstung V_p

Während die aktuelle Verdunstung die wirklich verdunstete Wassermenge angibt, ist die potentielle Verdunstung die größtmögliche Verdunstung (bei ausreichender Wasserzufuhr) an einem gegebenen Standort.

$V_{akt.}$ wird im allgemeinen durch indirekte Methoden ermittelt, wie z.B. Lysimetermessungen oder Abfluß- und Niederschlagsmessungen für längere Zeiträume.

Die Bestimmung der potentiellen Verdunstung V_p erfolgt meist ebenfalls auf indirektem Weg mit Hilfe meteorologischer Daten nach den Formeln von ALBRECHT, HAUDE, PENMAN, THORNTON-WAITE und anderen.

Nach UHLIG (1954) liefern diese Berechnungsverfahren hinreichend genaue Werte. Auch DAMMANN (1965) bestätigt die Brauchbarkeit der meteorologischen Nahrungsformeln, die nach seinen Ergebnissen nur um $\pm 2\%$ vom langjährigen Mittel der aktuellen Verdunstung abweichen.

6.2.1 Aktuelle Verdunstung

Für die aktuelle Verdunstung $V_{akt.}$ wurden im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn und Kordel bisher weder Werte rechnerisch aus der Wasserbilanzgleichung, noch mit Lysimeteranlagen oder Verdunstungsmessern ermittelt.

Im WASSERWIRTSCHAFTLICHEN GENERALPLAN FÜR DAS MOSELGEBIET (1971) sind ebenfalls keine genauen Angaben über die Verdunstungsgröße dieses Gebietes zu finden. Es werden lediglich die mittlere jährliche Verdunstung für die Niederschlagsgebiete der Erft (1934-1943) und der Niers (1931-1941) mit 500 mm angegeben, die als Näherung auch für den Bitburg-Trierer Raum gültig sein sollen.

Aus langfristigen Niederschlags- und Abflußmessungen kann die aktuelle Verdunstung $V_{akt.}$ aus der Wasserbilanzgleichung

Niederschlag N = Gesamtabfluß A_g + Verdunst. $V_{akt.}$
errechnet werden:

$$V_{akt.} = N - A_g \quad (1)$$

Muß die Ableitung von Grundwasser G_a und die Zuleitung von Grundwasser G_z berücksichtigt werden, so lautet die Gleichung

$$V_{akt.} = N - A_g - G_a + G_z \quad (2)$$

Im Untersuchungsgebiet liegen langfristige Abflußmessungen nur für die Kyll an den Pegeln Densborn im Norden und Kordel (seit 1.11.1966) im Süden vor.

Durch Differenzbildung kann der Abfluß für das Gebiet Densborn - Kordel (ca. 341 km²) errechnet werden.

Langjährige Niederschlagsmessungen sind im Kyllgebiet von 6 Stationen (siehe Kap. 6) vorhanden.

Aus der oben genannten Formel (1) ergibt sich für den Zeitraum 1967 - 1973 im Einzugsgebiet Densborn - Kordel bei $E_u = E_o$ (das unterirdische Einzugsgebiet E_u entspricht dem oberirdischen Einzugsgebiet E_o) eine mittlere Verdunstung von $V_{akt.} = 469$ mm/a (Tab. 3). Wie in Kap. 6.1.3 bereits erwähnt, wurden dabei die Niederschlagswerte der Jahre 1967 - 1972 um 5 % verringert.

Der Gesamtabfluß A_g in der Wasserbilanzgleichung setzt sich aus dem oberirdischen Abfluß A_o und dem unterirdischen Abfluß A_u zusammen,

$$A_g = A_o + A_u \quad (2a)$$

bei dem der oberirdische Abfluß A_o eines Einzugsgebietes sich relativ einfach und genau ermitteln läßt.

Anders verhält es sich mit der Bestimmung von A_u . Nach den Ergebnissen in Kap. 7.3 und 8.2 muß ein größeres unterirdisches Einzugsgebiet der Kyll (+ G_z) angenommen werden, das

eine Korrektur des unterirdischen Abflusses notwendig macht.

Bei einer - später näher begründeten - Vergrößerung des E_u von 341 km^2 ($E_u = E_o$) auf 500 km^2 (vgl. Kap. 7.3) verringert sich die unterirdische Abflußhöhe. Nach Gleichung (2a) wird damit auch A_g kleiner bzw. nach Gleichung (2) durch $+ G_z$ wird $V_{akt.}$ größer. Die mittlere aktuelle Verdunstung beträgt dann nach Gleichung (1) $V_{akt.} = 508 \text{ mm/a}$ (vgl. Tab. 3a). Dieser Wert stimmt gut mit der korrigierten potentiellen Verdunstung $V_{akt.} = 509 \text{ mm/a}$ (vgl. Kap. 6.2.3) überein. Für das hydrologische Jahr 1973 würde nach Gleichung (1) $V_{akt.} = 513 \text{ mm/a}$ ergeben. Dieser Wert ist aber für die weiteren Berechnungen ungeeignet, da eine mögliche Rücklage oder ein Aufbrauch von Grundwasser nicht berücksichtigt werden.

Jahr	N_m -5 %	A_g	$V_{akt.}$	% von N_m	
1967	874	351	523	60	
1968	942	508	434	46	
1969	582	249	333	57	
1970	861	320	541	63	Tabelle 3
1971	577	120	457	79	$E_u = E_o$
1972	629	134	495	79	$E_u = 341 \text{ km}^2$
1973	557	58	499	89	
Mittel	717	248	469	67	
1967	874	308	566	65	
1968	942	447	495	52	
1969	582	203	379	61	
1970	861	273	588	68	Tabelle 3a
1971	577	92	485	84	$E_u = 500 \text{ km}^2$
1972	629	98	531	84	$E_o = 341 \text{ km}^2$
1973	557	44	513	92	
Mittel	717	209	508	71	

Tab. 3 und Tab. 3a: Verdunstungshöhen der hydrologischen Jahre 1967 - 1973 für das Einzugsgebiet Densborn - Kordel nach der Gleichung (1) $N_m = V_{akt.} + A_g$ [mm] oder $V_{akt.} = N_m - A_g - G_a + G_z$ [mm], wobei hier $-G_a = 0$ ist. N_m aus 6 Stationen. Für 1973 wurde auch in Tabelle 3a im Sommer $E_u = E_o$ gerechnet ($E_u =$ unterirdisches-, $E_o =$ oberirdisches Einzugsgebiet).

6.2.2 Potentielle Verdunstung

Für die Bestimmung der potentiellen Verdunstung V_p wird die Formel nach HAUDE (1952, 1954, 1955, 1959 und 1963) verwendet.

Nach den Betrachtungen von DAMMANN (1965) und neuerer Vergleichsliteratur von SPANGENBERG (1973) und PRELLER (1978) liefert die HAUDE-Formel die für unseren Klimabereich besten Werte.

Das relativ einfache Berechnungsverfahren sowie die Vergleichbarkeit der errechneten Werte mit denen aus anderen Arbeiten im Buntsandstein (EINSELE, 1969 und HOYER, 1971, die ebenfalls mit der Formel nach HAUDE arbeiten), sind Gründe für die Wahl dieses Verfahrens.

Wie bereits oben erwähnt (Kap. 6.2), gilt dieses Berechnungsverfahren nur, wenn dem Boden ständig ausreichend Feuchtigkeit zur Verdunstung zur Verfügung steht.

Nach HAUDE lautet die Formel für die potentielle Verdunstung:

$$V_p = (E - e) f \text{ [mm]} \quad (3)$$

darin bedeuten:

E = Monatsmittel des Sättigungsdampfdruckes bei der zugehörigen Temperatur um 14 Uhr in mm Hg,
e = Monatsmittel des gemessenen Dampfdruckes um 14 Uhr in mm Hg,
f = einen von Monat zu Monat veränderlichen Faktor, der in Mitteleuropa in der vegetationslosen Zeit 0,26 beträgt und in der Vegetationsperiode von Mai bis September von 0,39 auf 0,31 abnimmt.

Monat	Wert für f
Oktober - Februar	0,26
März	0,33
April, Mai	0,39
Juni	0,37
Juli	0,35
August	0,33
September	0,31

Der Ausdruck (E - e) wird auch als Sättigungsdefizit des Dampfdruckes (in mm Hg) der Luft um 14 Uhr Ortszeit bezeichnet.

Nach HAUDE (1959) fällt das Sättigungsdefizit nach diesem Berechnungsverfahren aber immer etwas kleiner aus, als wenn der Mittelwert aus der Summe der Tageswerte, dividiert durch die Zahl der Monatstage, berechnet wird.

In Mitteleuropa beträgt der Unterschied zwischen beiden Berechnungsarten für alle Monate minus 9 %. Alle Monatswerte von V_p wurden daher in dieser Arbeit um 9 % erhöht.

Eine weitere Korrektur von V_p wurde nach DAMMANN (1965) vorgenommen. Da die HAUDE - Formel für das norddeutsche Flachland aufgestellt wurde, müßte nach DAMMANN ein Faktor h in die Formel eingefügt werden, der die Höhe über NN berücksichtigt. Dieser Faktor beträgt nach DAMMANN bei

200 - 300 m ü. NN	h = 1,05
400 - 600 m ü. NN	h = 1,10
700 - 1000 m ü. NN	h = 1,15.

Die zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration V_p benötigten Daten (14 Uhr - Temperatur und der dazugehörige Dampfdruck), die für das untere Kylltal benutzt werden konnten, standen nur von der Station Trier - Petrisberg zur Verfügung. Diese Wetterstation liegt etwa 6 km südlich des Kylleinzugsgebietes auf 265 m ü. NN.

Auf einer Höhe von 200 - 300 m ü. NN befinden sich etwa 17 % des bearbeiteten Gebietes. Etwa 61 % werden von Höhen zwischen 300 und 400 m ü. NN eingenommen. Unter 200 m ü. NN liegen 5 % und über 400 m ü. NN 17 % des Arbeitsgebietes. Für die größte Teilfläche (insgesamt 78 %) würden, da mit zunehmender Höhe die Verdunstung im allgemeinen abnimmt, zu hohe Verdunstungswerte von der Station Trier übernommen werden. Dieser mögliche Fehler dürfte allerdings zu vernachlässigen sein, da für 61 % der Fläche (siehe oben) der Höhenunterschied zu Trier - Petrisberg meist unter 100 m beträgt. Bei dieser Höhendifferenz schwankt die Temperatur und der Dampfdruck in einer zu vernachlässigend kleinen Größenordnung. Da andererseits eine Progression der Verdunstung in den höhergelegenen Gebieten durch eine größere Windgeschwindigkeit (die in der HAUDE-Formel nicht berücksichtigt wird) angenommen werden muß, wird die errechnete ("zu hohe") Verdunstungshöhe eher der realen Evapotranspiration entsprechen.

Nach den obigen Ausführungen können die Werte der potentiellen Verdunstung V_p , die aus den Daten der Station Trier - Petrisberg berechnet wurden, auf das gesamte Gebiet der Kyll zwischen Densborn und Trier - Ehrang übertragen werden.

Die Mittelwerte der monatlichen Verdunstung wurden mit dem Faktor h = 1,05 nach DAMMANN (1965) multipliziert, wie es der Höhe von Trier - Petrisberg (265 m ü. NN) entspricht. Nach den bisherigen Ausführungen wird die potentielle Verdunstung V_p auf folgende Weise

zweimal verbessert:

1. V_p nach HAUDE + 9 %
2. V_p nach HAUDE x 1,05.

6.2.3 Korrigierte potentielle Verdunstung

Wie bereits erwähnt, kann V_p der aktuellen Verdunstung $V_{akt.}$ nur dann entsprechen, wenn für die Evapotranspiration ständig genügend Feuchtigkeit zur Verfügung steht.

Während der hauptsächlich sommerlichen Trockenperiode liegt der errechnete V_p -Wert über dem Wert des gefallenen Niederschlags.

Tritt dieser Fall ein, so muß V_p nach $V_{akt.}$ reduziert bzw. V_p zu $V_{akt.}$ korrigiert werden. EINSELE et.al. (1969) bietet dafür ein Verfahren an, das für die Berechnung im Kyllgebiet verwendet wurde.

EINSELE geht davon aus, daß das Defizit zwischen den Niederschlägen und der potentiellen Verdunstung solange aus der nutzbaren Bodenfeuchte gedeckt werden kann, bis diese verbraucht ist. In Anlehnung an UHLIG (1956) nennt er diesen für die Verdunstung nutzbaren Wassergehalt im Boden "maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte (maB)".

Bei EINSELE beträgt maB für die Buntsandsteingebiete des Saarlandes 150 mm, die im Normalfall im Winterhalbjahr im Boden gespeichert werden und im folgenden Sommerhalbjahr durch die Verdunstung aufgebraucht werden kann. Die 150 mm ergeben sich aus der Differenz zwischen dem mittleren maximalen Wassergehalt (Feldkapazität) des Bodens im Frühjahr oder Herbst und dem Wassergehalt beim Erreichen des permanenten Welkepunktes. Die beiden Wassergehalte betragen im Saarland für die Feldkapazität ca. 19 Vol. % und für den Welkepunkt ca. 4 Vol. %. Der Differenzbetrag von 15 Vol. %, der von den Pflanzen bis zu 1 m Tiefe (Bodenbildung bis 1 m) ausnutzbar sein soll, ergibt dann 150 mm.

Eigene Untersuchungen über das Porenvolumen des Bodens, den mittleren Wassergehalt und den permanenten Welkepunkt, die für die Korrektur nach EINSELE notwendig sind, konnten nicht vorgenommen werden. Der Aufwand bei dem fast 400 km² großen Arbeitsgebiet mit verschiedenen Bodentypen wäre unverhältnismäßig hoch, um einen repräsentativen Wert zu bekommen.

Für die Buntsandsteinbereiche im Niederschlagsgebiet der Kyll soll, da ähnliche geologische Verhältnisse wie im Saarland vorliegen, auch eine maB von 150 mm angenommen werden. Für die reinen Buntsandsteingebiete im Norden des Kyll Einzugsgebietes zwischen Densborn und Kyllburg ist dieser Wert anwendbar (s. in Tab. 4). Auch für den Buntsandstein im Raum Kordel - Ehrang kann maB mit 150 mm angesetzt werden, da hier wie im Saarland große Flächen von Lockerboden (verwittertem Sandstein) eingenommen werden (Tab. 4). Nahezu gleichgroße Werte für maB werden wohl für den stark sandigen Unteren Muschelkalk gültig sein (vgl. Kap. 3.4.1).

Im Mittleren und Oberen Muschelkalk sowie im Unteren und Mittleren Keuper darf ein kleinerer Wert für maB erwartet werden. Nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1976) liegt die maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte bei entsprechenden tonigen Bodenarten bei 50 - 150 mm. Hinzu kommt in den oben genannten Muschelkalk- und Keuperschichten, daß die Böden nicht bis in eine Tiefe von 1 m reichen. Durch die geringe Bodentiefe, in Verbindung mit evtl. sogar höheren Differenzen zwischen Feldkapazität und permanentem Welkepunkt, bleibt maB dann kleiner als 150 mm.

Aus den Berechnungen der Niederschlagsdefizite ($N - V_p$) ergibt sich für das Winterhalbjahr 1972-73 für viele Teilniederschlagsgebiete ein Wert, der unter 150 mm liegt, d.h. für eine Bodenspeicherung stehen in einigen Einzugsgebieten, nach Abzug der Verdunstung V_p , weniger als 150 mm zur Verfügung. Die Frage nach der Größe von maB kann nach den bisherigen Betrachtungen dahingehend beantwortet werden, daß sie für einige Teilgebiete unter 150 mm liegen muß.

Um die Größenordnung von maB genauer abschätzen zu können, muß auch der oberirdische Abfluß A_0 mit in die Korrektur von V_p einbezogen werden. EINSELE (1969) berücksichtigt A_0

nicht, da im Saarland der oberirdische Abfluß A_0 im Sommer so klein ist, daß der entstehende Fehler zu vernachlässigen ist. Obwohl auch im Kyllgebiet A_0 im hydrologischen Sommerhalbjahr sehr klein ist, wurde der Halbjahreswert von A_0 in die Berechnung aufgenommen.

Im Winterhalbjahr ist A_0 im Saarland gegenüber dem Niederschlag klein, so daß $N - V_p - A_0$ immer größer als 150 mm ist und dem Bodenspeicher genügend Feuchtigkeit zur Verfügung steht. Auch für diesen Zeitraum wird A_0 daher nicht benötigt.

Anders sind die Verhältnisse im unteren Kylltal für das hydrologische Winterhalbjahr 1973. In vielen Einzugsgebieten fließen in dieser Jahreszeit größere Wassermengen oberirdisch ab, so daß A_0 berücksichtigt werden muß.

Jeder Niederschlagsstation konnte durch Berücksichtigung von A_0 eine gebietspezifische Abflußhöhe zugeordnet werden. Für maB ergeben sich im hydrologischen Jahr 1973 die in Tab. 4 aufgeführten Werte. Die maB-Werte liegen zwischen 58 und 150 mm. Vorausgesetzt wird dabei, daß der Bodenspeicher im hydrologischen Sommer 1972 leer ist bzw. ein zu vernachlässigend kleiner Rest im Boden bleibt.

Niederschlagsstation	maB (mm)	Fläche (km ²) des N-Polygons	Herleitung von maB
Weißenseifen	150	4,96	a
Densborn	150	34,51	a
Seinsfeld	150	40,53	a
Badem	112	52,61	b
Spangdahlem	58	29,91	b
Bitburg	135	15,60	b
Röhl	76	23,16	b
Speicher	80	34,21	b
Dahlem	104	26,82	b
Mülchen	150	15,55	a
Ittel	114	20,60	b
Welschbillig	138	17,66	b
Hochmark	115	17,62 10,63	b
Newel	123	7,94 6,73	b
Kordel	140	22,73 7,97	b
Gewogenes Mittel	102,9 =====	341,45 (Densborn-Kordel)	
Gewogenes Mittel	110,6 =====	364,41 (Densborn-Ehrang)	

Tab. 4: Maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte maB in den verschiedenen Niederschlagspolygonen und das gewogene Mittel des Kyll Einzugsgebietes von Densborn bis Kordel und Ehrang für das hydrologische Jahr 1973
a = größter Wert wie im Saarland
b = aus $N - V_p - A_0$ (Winter) errechnet

Nach dem Polygonverfahren (vgl. Kap. 6.1.1) liegt das Gebietsmittel (gewogenes Mittel) von maB für den Bereich Densborn - Kordel bei 102,9 mm (vgl. Tabl 4). Für die Bilanzrechnungen (vgl. Kap. 8) wurde der Wert auf 100 mm abgerundet (vgl. Abb. 21, Kap. 8). Rund 110 mm maB wurden für das größere Einzugsgebiet Densborn - Ehrang errechnet.

Der maximal ausschöpfbare Bodenfeuchtegehalt von 100 mm für das Einzugsgebiet Densborn - Kordel 1972/73 wurde auch für die Berechnung von V_{pk} der Jahre 1967 - 1972 benutzt, da eine wesentliche Änderung von maB auch für die Naßjahre nicht zu erwarten ist. In Gebieten mit hohem A_0 und geringer Bodentiefe (in der Tabelle 4 mit b bezeichnet) kann, aus den oben genannten Gründen, die maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte nur in geringem Umfang schwanken, so daß der mögliche Fehler klein bleibt.

Folgendes Beispiel (für das hydrologische Jahr 1973) soll das hier angewendete Korrekturverfahren deutlich machen (vgl. EINSELE et.al. 1969:37):

Station Welschbillig (alle Werte in mm)

A_0 von Abflußmeßstelle V, $N = 590$ mm/a

Monat	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
N	103	9	28	70	11	48	71	42	74	25	39	70
V_p	11	14	7	11	54	53	104	124	122	159	99	34
$N-V_p$	92	-5	21	59	-43	-5	-33	-82	-48	-134	-60	36
V_p jährlich							= 793					
- Defizit $N-V_p$ (März-September)							= -405					
							= 388					
+ maB							= +138					
							= 526					
- A_0 Sommer							= - 12					
V_{pk} jährlich							= 514					

Das Defizit im Monat Dezember (- 5mm) wird vernachlässigt.

Die korrigierte potentielle Verdunstung V_{pk} wurde im hydrologischen Jahr 1973 für 15 Niederschlagsmeßstationen und für die Station Trier - Petrisberg (vgl. Kap. 6 und Tab. 5) bestimmt.

Die höchste Verdunstung V_{pk} ergab sich dabei für die Station Newel mit 581 mm/a und die niedrigste mit 361 mm/a für die Station Spangdahlem.

Alle Verdunstungswerte sind mit der in Kap. 6.1.3 beschriebenen Niederschlagsverteilung sehr gut vergleichbar. In Gebieten mit geringem Niederschlag ergibt sich ein kleiner Wert für V_{pk} , und bei hohen Niederschlägen kann die Verdunstung entsprechend höher ausfallen.

Station	V_{pk}/a	% von N/a	V_{pk}/Sommer	% von N/So
Weißenseifen	567	82	417	120
Densborn	500	82	350	117
Seinsfeld	526	92	376	126
Badem	449	87	299	107
Spangdahlem	361	80	211	81
Bitburg	555	83	405	105
Röhl	428	86	278	96
Speicher	430	82	280	95
Dahlem	510	87	360	103
Mülchen	554	90	404	114
Ittel	486	86	336	106
Welschbillig	514	87	357	111
Hochmark	511	90	361	105
Newel	581	90	431	107
Kordel	546	91	396	112

Tab. 5: Jahres- und Sommerhalbjahreswerte von V_{pk} in mm, errechnet für alle Niederschlagsmeßstationen für das hydrologische Jahr 1973. Für das Winterhalbjahr wurde an allen Stationen $V_D = 150$ mm errechnet, wobei bei $V_D = V_{pk}$ ist, da im Winter das Niederschlagsdefizit aus dem Bodenspeicher gedeckt werden kann.

Das gewogene Mittel (Tab. 6), nach dem Polygonverfahren berechnet (vgl. Kap. 6.1.1), beträgt für das Einzugsgebiet Densborn - Kordel im hydrologischen Jahr 1973 $V_{pkm} = 86$ % vom mittleren Gebietsniederschlag N_m oder 480 mm/a. Im Sommer 1973 ist $V_{pkm} = 104$ % von

N_m oder 330 mm und im Winterhalbjahr 1972/73 ergibt $V_{pkm} = 62\%$ von N_m oder 150 mm. Nahezu die gleichen Verdunstungshöhen ergeben sich im hydrologischen Jahr 1973 für V_{pk} - Trier - Petrisberg mit ebenfalls 86 % von N_m oder 481 mm/a, 104 % von $N_m = 331$ mm im Sommer und 62 % von $N_m = 150$ mm im Winter.

Für die Jahresreihe 1967 - 1973 liegt der Jahresmittelwert V_{pk} bei 71 % = 509 mm vom mittleren Gebietsniederschlag (Tab. 7). Den gleichen Wert von 71 % = 508 mm/a ergibt $V_{akt.} = N - A_o$ für die Jahresreihe 1967 - 1973, wenn mit einem größeren unterirdischen Einzugsgebiet E_u gerechnet wird (vgl. Tab. 3a und Kap. 7.3). Die sehr gute Übereinstimmung der Werte von V_{pk} und $V_{akt.}$ kann als Bestätigung für die Richtigkeit der berechneten Verdunstung angesehen werden.

Bei $E_u = E_o$ beträgt $V_{akt.}$ im Mittel der Jahre 1967 - 1973 nur 67 % (469 mm/a) des mittleren Gebietsniederschlags (Tab. 3). Für die weiteren Berechnungen wird dieser kleinere Wert $V_{akt.}$ nicht berücksichtigt.

Im hydrologischen Winterhalbjahr verdunsten langjährig $V_{pk} = 47\%$ und im Sommerhalbjahr $V_{pk} = 99\%$ vom mittleren Gebietsniederschlag N_m (Tab. 7).

Im hydrologischen Jahr 1973 ist V_{pk} , im Vergleich zu dem 7-jährigen Mittel, um 15 % höher. Im Sommer 1973 ist V_{pk} um 5 % und im Winter 1972/73 um 15 % höher als das Mittel der Jahresreihe 1967 - 1973 (vgl. Tab. 6).

Nach dem Polygonverfahren (vgl. Kap. 4.2.1) konnte aus den Werten für V_{pk} der einzelnen Stationen das gewogene Mittel der korrigierten potentiellen Verdunstung V_{pkm} für die Meßgebiete I bis XII und 1 bis 14 ermittelt werden, soweit die Einzugsgebiete von verschiedenen Polygonflächen überdeckt werden (vgl. Tab. 1, Kap. 6.1.3).

In Abhängigkeit vom Niederschlag (vgl. Tab. 2, Kap. 6.1.3 und Abb. 12) fallen die Verdunstungshöhen V_{pkm} sehr unterschiedlich aus. Sie reichen von $V_{pkm} = 570$ mm/a oder 90 % von N_m im Einzugsgebiet III des Kimmlinger Baches bis zu $V_{pkm} = 408$ mm/a (82 % von N_m) im Zwischeneinzugsgebiet X - XI - XII am Aulbach. Auch der kleinste Wert mit 82 % von N_m liegt noch um 11 % über dem 7-jährigen Mittel.

Die Verdunstung V_{pkm} der Einzelgebiete schwankt im Sommer zwischen 114 % von N_m im Gebiet VI und 91 % von N_m in X - XXI - XII am Aulbach, das damit sogar um 8 % unter dem langjährigen Sommer-Mittel ($V_{pk} = 99\%$ von N_m) bleibt. Das Winterhalbjahr 1972/73 liefert Werte zwischen $V_{pkm} = 70\%$ von N_m (z.B. in X - XI - XII) und 58 % von N_m im Einzugsgebiet VI, das damit noch 11 % über dem langjährigen Mittel von V_{pk} (47 % von N_m) für den Winter liegt.

7. ABFLUSSVERHÄLTNISSE

Als ein Bestandteil der Wasserbilanzgleichung wurde der Gesamtabfluß A_g bereits zur Berechnung der aktuellen Verdunstung (vgl. Kap. 6.2.1) herangezogen.

Für die Bestimmung der Grundwasserneubildung I_u und die Grundwasserspeicherung S_u im tieferen Untergrund muß der Gesamtabfluß A_g in den oberirdisch abfließenden Anteil A_o und den unterirdisch abfließenden Abflußanteil A_u untergliedert werden:

$$A_g = A_o + A_u$$

Neben diesen beiden Abflußanteilen muß unter Umständen eine Zuleitung von Grundwasser G_z bzw. eine Ableitung von Grundwasser G_a berücksichtigt werden:

$$A_g = A_o + A_u + G_z - G_a$$

Die Zuleitung G_z und die Ableitung G_a von Grundwasser kann durch künstliche Eingriffe (z.B. Wasserwerke und Fernleitungen) oder durch natürliche Vorgänge (z.B. geologisch bedingte Grundwasserbewegungen) verursacht werden.

Meßgebiet Nr.	Gewässer bzw. Bach	Polygone	V_{pkm}/a	% von N_m	V_{pkm} So	% von N_m	% von N_m Wi
I	Lorbach	K,H	516	90	366	106	67
II	Butzweiler	K,N	556	90	406	110	61
III	Kimmlinger	K,N	570	90	420	108	61
IV	Welschbilliger	K,N,I,Wb,H	514	87	364	111	60
V	Welschbilliger	Wb,N,I	511	87	361	112	57
IV-V	Welschbilliger	Wb,N,I,K,H	519	88	369	109	60
VI	Grundgraben	M,H,I	550	90	400	114	58
VII	Ittel-Kyll	I	494	88	344	109	61
VIII	Stillegraben	Sp,Da,M	484	86	334	103	63
IX	Keutelbach	D,R,I,Wb	494	86	344	102	64
X	Aulbach	Sa,Ba,Se,Sp	415	84	265	96	69
XI	Langebach	Ba,Sa,Sp	430	86	280	101	67
XII	Spanger	Sa,Se,Ba	409	84	259	95	70
X-XI-XII	Aulbach ohne Spanger und Langebach	Sa,Sp	408	82	258	91	70
9	Lohrbach	K,H	521	90	371	107	65
I-9	Lohrbach	K,H	541	91	391	111	61
Densborn - Kordel ohne (III bis XII)	Kyll	alle,außer N,Wb,Sa	496	87	346	110	58
Gesamtgebiet Densborn - Kordel	Kyll	alle (15)	480	86	330	104	62

Tab.: 6 Mittlere Gebietsverdunstung V_{pkm} aller Einzugsgebiete zwischen Densborn und Kordel für das hydrologische Jahr 1973, bei V_{pkm} -Winter = 150 mm für alle Gebiete (Werte in mm bzw. %).
Abkürzungen: Ba = Badem, Da = Dahlem, H = Hochmark, I = Ittel, K = Kordel, M = Mülsen, N = Newel, R = Röhl, Sa = Spangdahlem, Se = Seinsfeld, Sp = Speicher, Wb = Welschbillig; So = Sommer, Wi = Winter

hydrolog. Jahr	V_p Jahr	V_p Winter	V_p Sommer	V_{pk} Jahr	% von N_m	V_{pk} Wi	% von N_m	V_{pk} So	% von N_m	maB Jahr	aB So	aB Wi
1967	667	151	526	522	60	151	38	371	78	100	81	--
1968	563	172	391	447	47	172	45	275	49	93	48	45
1969	665	132	533	490	84	132	43	358	130	100	100	--
1970	590	86	504	524	61	86	18	438	111	100	100	--
1971	736	166	570	523	91	166	64	357	112	100	100	--
1972	592	151	441	575	91	151	63	424	109	100	13	--
1973	793	150	643	480	86	150	62	330	104	100	100	--
Mittelwert				509	71	144	47	365	99			

Tab. 7: Jahres- und Halbjahreswerte von V_p , V_{pk} , maB und aB (alle Werte in mm bzw. in %) der Jahre 1967-1973 für das Einzugsgebiet Densborn-Kordel
Abkürzungen: N_m = mittlerer Gebietsniederschlag, Wi = Winter, So = Sommer

Im Bilanzgebiet kann eine künstliche Beeinflussung vernachlässigt werden. Die Grundwasserentnahmen sind nur gering und verbleiben als Abwasser überwiegend im Einzugsgebiet. Größere Fernleitungen in andere Einzugsgebiete sind nicht vorhanden.

Eine durch natürliche Gegebenheiten hervorgerufene Änderung von A_u wird in Kapitel 6.2.1, in Kapitel 7.3 und Kapitel 8 behandelt.

7.1 Gesamtabfluß

Im Einzugsgebiet der Kyll wurde an insgesamt 28 Meßstellen der Gesamtabfluß A_g ermittelt.

Bei 14 der 28 Abflußmeßstellen handelt es sich um Schreibpegel, von denen 12 im September 1972 durch die Stadtwerke Trier in den größeren Kyllnebenbächen errichtet wurden (I bis XII), während 2 Pegelschreiber an der Kyll bei Densborn (D) und Kordel (K) seit 1966 durch das Landesamt für Gewässerkunde Rheinland Pfalz betrieben werden (siehe Tab. 8, Abb. 3, Kap. 1.3 und Kap. 5).

Um das Abflußverhalten der verschiedenen geologischen Einheiten zu studieren, wurden weitere 14 kleinere Meßstellen in den Einzugsgebieten zweier Kyllnebenbäche eingerichtet.

An den Zuflüssen des Kimmlinger Baches (Einzugsgebiet III, vgl. Abb. 3) entstanden 8 Meßstellen (Meßstelle 1 bis 8, siehe Tab. 9 und Abb. 9, Kap. 5.2), von denen die Meßstelle Nr. 5 wegen starker Umläufigkeit nur kurze Zeit beobachtet werden konnte (in Tab. 9 nicht aufgeführt). Die Meßstellen 9 bis 14 wurden im Lohrbachtal (Einzugsgebiet I, vgl. Abb. 3) eingerichtet (siehe Tab. 9 und Abb. 9). Die Abflußmessungen wurden überwiegend durch Meßwehre mit gleichschenkelig-rechtwinkligem Dreiecksüberfall (Thomson-Wehr) bestimmt.

Aus meßtechnischen Gründen konnte an einigen Stellen A_g ausschließlich mit einem hydrometrischen Flügel gemessen werden. Zur Eichung der Meßwehre wurden ebenfalls Messungen mit dem Meßflügel vorgenommen.

Alle kleinen Dreiecksüberfälle konnten mit Meßgefäßen geeicht werden.

Name des Vorfluters	Einzugsgebiet Nr.	E_o in km^2	Teilgebiet von	E_u in km^2
Lohrbach	I	3,84		
Butzweiler Bach	II	4,23		
Kimmlinger Bach	III	6,52		7,49
Welschbilliger Bach	IV	31,92		31,19
Welschbilliger Bach	V	18,62	IV	
Welschbilliger Bach	IV - V	13,30	IV	12,57 bzw. 31,19
Grundsgraben	VI	9,59		(vgl. Kap. 8.2.1)
Bach bei dem Ort Kyll	VII	2,84		
Stillegraben	VIII	12,57		
Keutelbach	IX	21,56		
Aulbach	X	70,47		
Langebach	XI	19,51	X	
Spanger Bach	XII	28,80	X	
Aulbach	X - XI - XII	22,11	X	70,47 ?
Kyll	D - K	341,45		
Kyll	D-K ohne (III bis XII)	185,95	D - K	
Kyll	D - E	364,41		

Tab. 8: Größe der Einzugsgebiete im Bereich der Kyll zwischen Densborn (D) und Kordel (K), deren Abfluß durch Pegelschreiber registriert wird (vgl. Kap. 3.2). Im Einzugsgebiet D - E (Ehrang) wird bei E kein Abfluß gemessen.
 E_u ohne Angabe entspricht $E_u = E_o$

Während A_g durch die 12 Pegelschreiber (I bis XII) und die Kyllpegelschreiber (D und K) kontinuierlich registriert werden konnten, fanden an den 13 kleinen Meßstellen (1 bis 14, Nr. 5 entfällt) nur Einzelmessungen nach Niederschlägen, mindestens aber an jedem dritten bzw. vierten Tag statt.

Die Abflußhöhe A_g (in mm) der Kyll zwischen Densborn und Kordel (D-K) konnte durch Dif=

Einzugsgebiet Nr.	E_0 in km^2	Teilgebiet von	E_u in km^2	Abfluß ermittelt durch
1	0,44			Thomsonwehr
2	0,17			Thomsonwehr
1 - 2	0,27	1		Differenzbildung
3	0,37			Thomsonwehr
4	1,38		1,29	Thomsonwehr
6	1,79		2,12	Flügelmessung
7	1,27	6	0,92	Thomsonwehr
6 - 7	0,52	6	0,85 bzw. 2,16	Differenzbildung
8	0,55		2,02	Flügelmessung
III - (3 bis 8)	2,43 3,39		2,80	Differenzbildung Thomsonwehr
I - 9	0,45	9	3,84	Differenzbildung
10	2,76	9		Thomsonwehr
9 - 10	0,63	9		Differenzbildung
11	0,60	9/10		Thomsonwehr
12	1,78	9/10		Thomsonwehr
10 - 11 - 12	0,38	9/10	2,76	Differenzbildung
10 - 12	0,98	10	2,76	Differenzbildung
13	1,27	9/10/12		Thomsonwehr
12 - 13	0,51	12	1,78	Differenzbildung
14	0,10	13		Thomsonwehr
13 - 14	1,17	13	1,27	Differenzbildung

Tab. 9: Größe der Einzugsgebiete am Kimmlinger Bach (III) - 1 bis III - (3 bis 8) und am Lohrbach (I) = 9 bis 13 - 14 sowie die Art der Ermittlung des jeweiligen Abflusses

ferenzbildung der Meßwerte an den beiden Kyllpegeln ermittelt werden.

Abflußdaten für weitere 12 Zwischeneinzugsgebiete konnten ebenfalls durch Bildung der Differenz zwischen 2 oder mehreren Meßstellen errechnet werden.

Durch die Übertragung der Abflußhöhen des Lohrbaches auf das geologisch sehr ähnliche Gebiet zwischen Kordel und Ehrang, kann auch dem Einzugsgebiet Densborn - Ehrang eine Abflußhöhe zugeordnet werden.

Insgesamt konnte für 39 Einzugsgebiete A_g ermittelt werden (Tab. 8 und 9). Da in 10 der 39 Gebiete 2 oder mehrere Einzugsbereiche enthalten sind (z.B. Nr. X = [XI] + [XII] + [X - XI - XII]) werden aber nur 29 Einzugsgebiete in den Abb. 13 bis 18 (a, b, c) dargestellt.

Die Abflußhöhen der 39 Gebiete liegen im hydrologischen Jahr 1973 zwischen $A_g = 11 \text{ mm}$ (2 % von N_m) oder $0,3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ für das Zwischeneinzugsgebiet D - K ohne die Gebiete III bis XII (Abb. 13 a und Tab. 10) und $A_g = 484 \text{ mm}$ (74 % von N_m) oder $15,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ im Einzugsgebiet 8 (Abb. 14 a und Tab. 10).

Für das Gebiet zwischen Densborn und Kordel (D - K) ergeben sich im hydrologischen Jahr 1973 58 mm (10 % von N_m) oder $1,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Da der A_g -Zuwachs für das Gebiet zwischen dem Pegel Kordel und Kyllmündung bei Ehrang (E) sehr gering ist, bleibt A_g auch für das gesamte Gebiet D - E bei ca. $1,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Eine gewisse Streuung der A_g -Werte ist z.T. durch die unterschiedlichen morphologischen und geologischen Verhältnisse (Abb. 13 und 14) oder wechselnde Waldanteile in den verschiedenen Teilgebieten zu erklären.

Der über 470 mm streuende Bereich von A_g ist hier allerdings nicht nur durch die oben angeführten Faktoren zu deuten. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich für das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr 1973 (siehe Tab. 10, Abb. 13 b, c und 14 b, c).

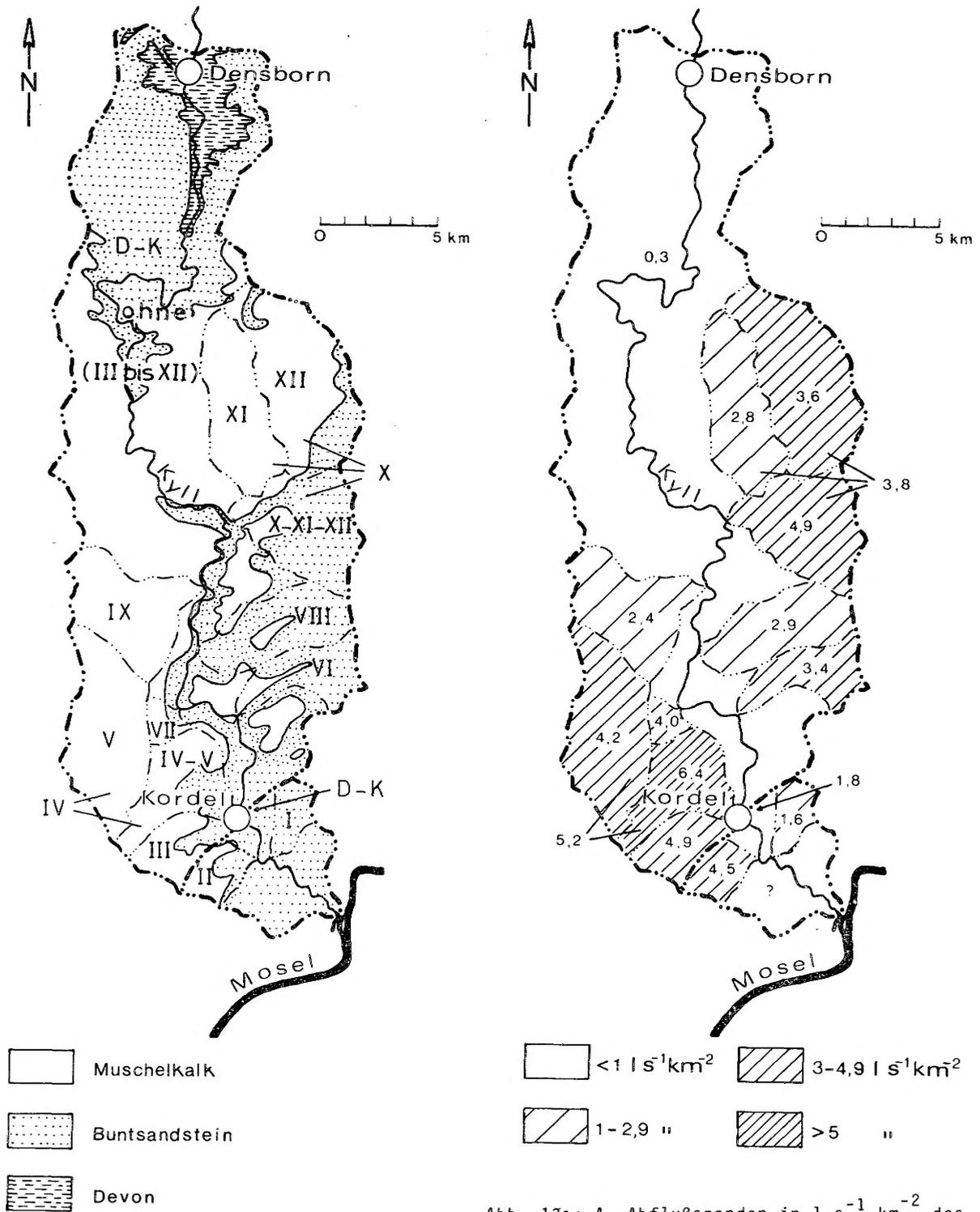


Abb. 13: Geologie des Kyll Einzugsgebietes (vereinfacht)

Abb. 13a: A_g -Abflußpenden in $\text{l s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ des Kyll Einzugsgebietes zwischen Densborn und Kordel für das hydrologische Jahr 1973

sich besonders im Sommerhalbjahr.

Das errechnete A_g dieser Zeitspanne ist für das Gebiet D - K ohne (III bis XII) 0,0 (Abb. 13 c). Dies kann z.T. durch Meßfehler bei der A_g -Bestimmung der Meßgebiete III bis

Wie schwer A_g zu interpretieren ist, zeigt

Einzugsgebiet Nr.	A _g 1973 mm	A _g % von N _m	A _g Wi mm	A _g % von N _m	A _g So mm	A _g % von N _m
I	53	9	30	13	23	6
9	40	7	20	9	20	6
I - 9	144	24	104	42	40	11
10	44	7	22	10	22	6
9 - 10	22	4	14	6	8	2
11	24	4	11	5	13	4
12	35	6	18	8	17	5
10 - 11 - 12	120	21	63	28	58	17
10 - 12	61	11	31	14	30	9
13	21	3	11	5	10	3
12 - 13	68	12	35	16	33	10
14	30	5	24	11	6	2
13 - 14	20	4	10	4	10	3
II	143	23	131	53	12	33
III	154	24	102	41	52	13
1	86	15	61	24	25	7
2	29	5	15	6	14	4
1 - 2	121	20	88	35	33	9
3	18	3	12	5	6	1
4	71	10	49	20	22	5
6	129	20	77	31	52	13
7	49	7	32	13	17	4
6 - 7	324	50	189	77	135	33
8	484	74	263	108	221	55
III - (3 bis 8)	166	26	127	53	39	10
IV	163	28	105	40	58	18
V	133	23	82	31	51	16
IV - V	203	34	138	55	65	19
VI	108	17	77	30	31	9
VII	125	22	87	35	38	12
VIII	93	16	70	29	23	7
IX	75	13	59	25	16	5
X	120	25	76	35	44	16
XI	89	18	69	31	20	7
XII	113	24	82	38	31	11
X - XI - XII	157	31	74	34	83	29
D - K ohne (III bis XII)	11	2	29	11	--	--
D - K	58	10	50	21	8	2
D - E	58	10	49	20	9	2

Tab. 10: Gesamtabfluß A_g in mm und % von N_m im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn (D) und Kordelg (K) bzw. Ehrang (E) für das hydrologische Jahr 1973 sowie für das hydrologische Winter (Wi)- und Sommerhalbjahr (So).

XII erklärt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß das A_g dieser Meßgebiete sich durch A_u - Zuflüsse aus Fremdgebieten erhöht und durch die Differenzbildung D - K minus III - XII negativ bzw. 0,0 wird.

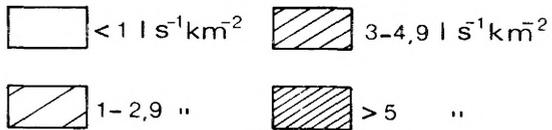
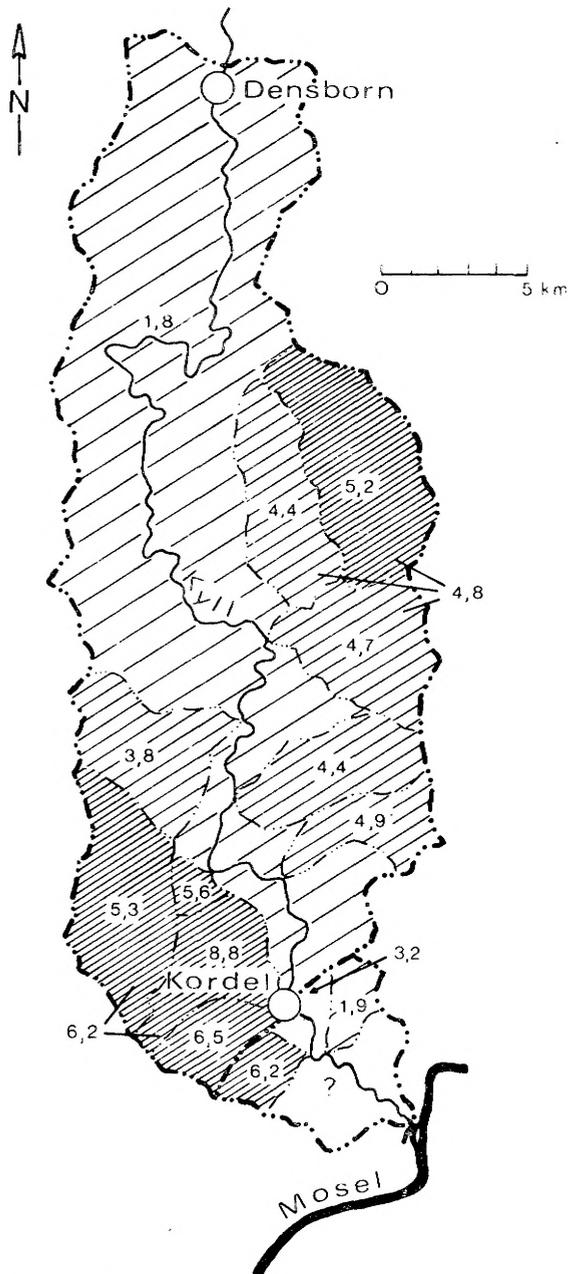
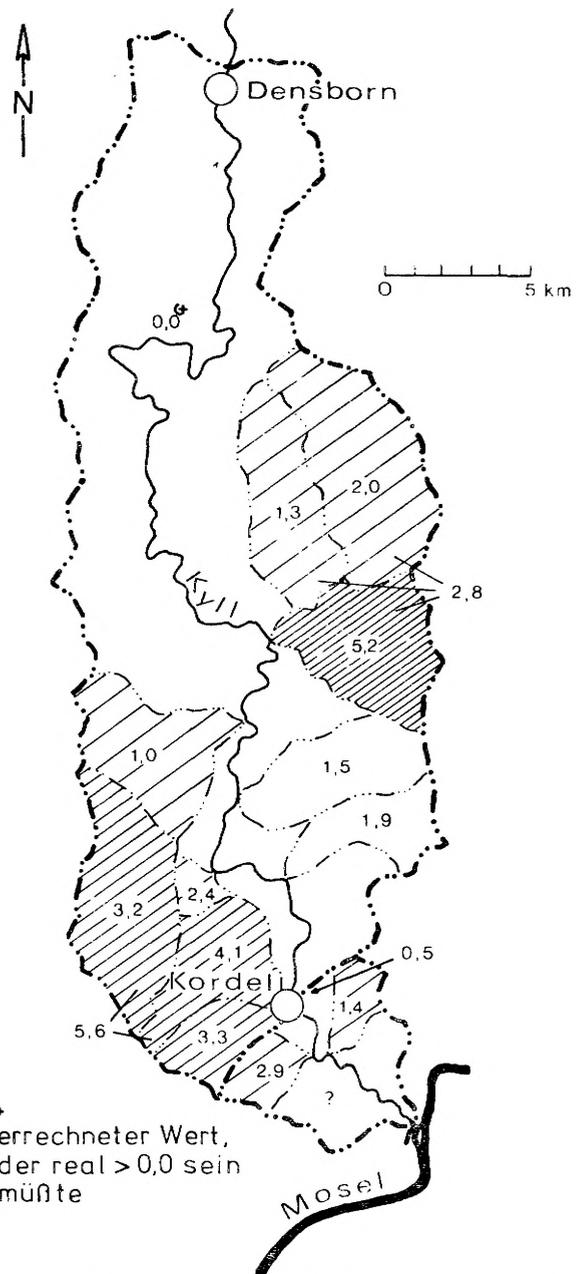


Abb. 13b: A_g -Abflußspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ für das hydrologische Winterhalbjahr 1973 (Wi).



* errechneter Wert, der real $> 0,0$ sein müßte

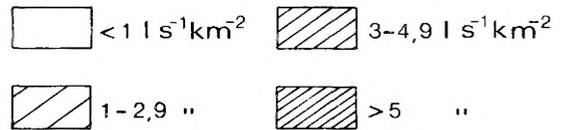


Abb. 13c: A_g -Abflußspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973 (So).

Nur grob kann zwischen reinen oder überwiegend aus Buntsandsteinen bestehenden Einzugsgebieten und überwiegend von Muschelkalk bedeckten Flächen unterschieden werden. So zeichnen sich die Buntsandsteingebiete I und D - K ohne (III bis XII) durch geringere A_g -Spenden aus, als Gebiete mit Schichten des Muschelkalks (nahezu alle anderen Gebiete).

Besonders markant erscheint dieser Unterschied im hydrologischen Winterhalbjahr 1973

(Abb. 13 b und 14 b).

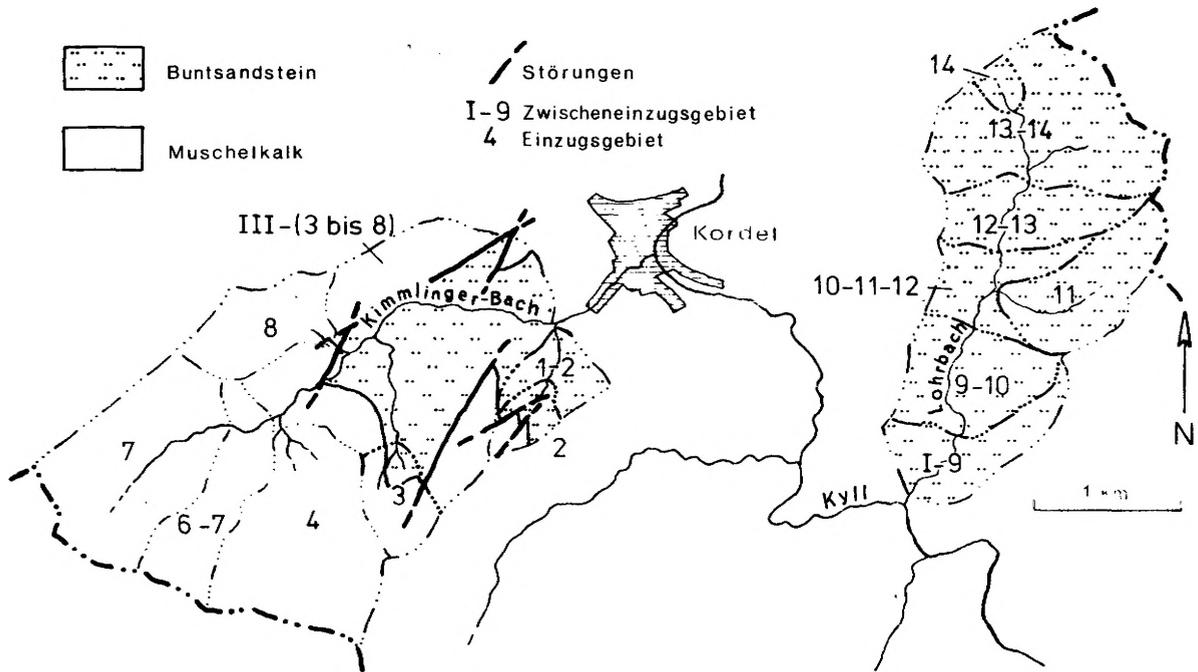


Abb. 14: Grenze zwischen Buntsandstein und Muschelkalk in den Teileinzugsgebieten I und III.

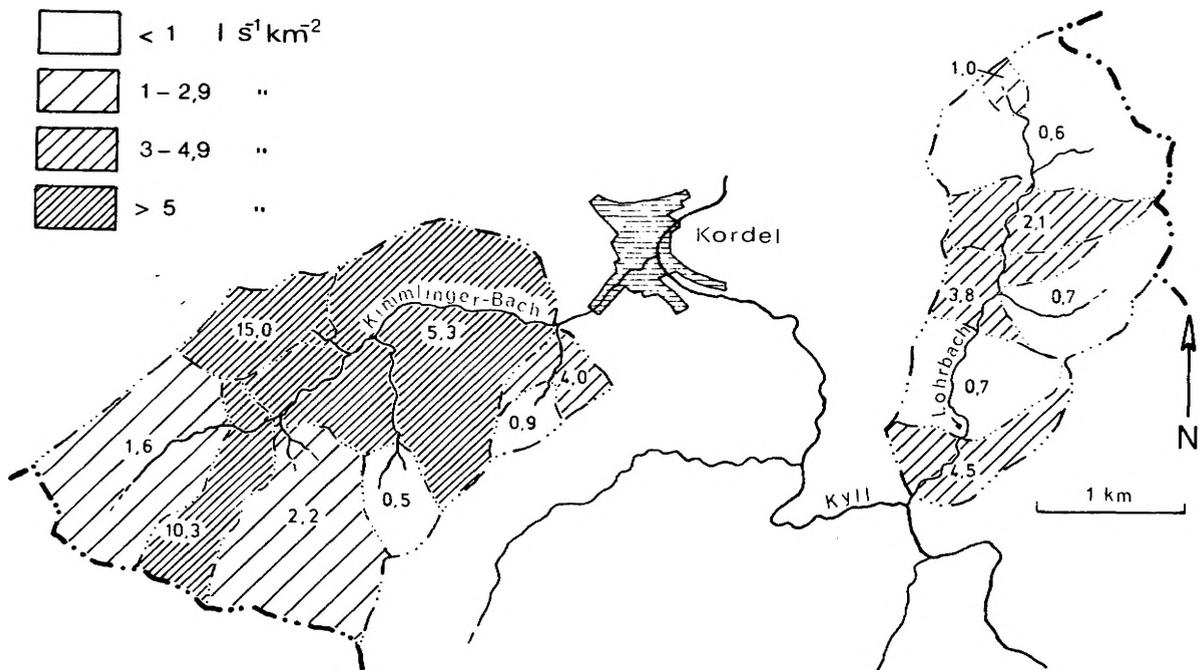


Abb. 14 a: A - Abflußpenden in $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ in den Teileinzugsgebieten I und III für das hydrologische Jahr 1973.

In den A_g - Werten macht sich auch das in Kap. 6.1.3 erwähnte Leegebiet bemerkbar. So fällt der A_g in den Gebieten VI, VIII, IX, X, XI und XII geringer aus als in den Gebieten II, III, IV, V und VII.

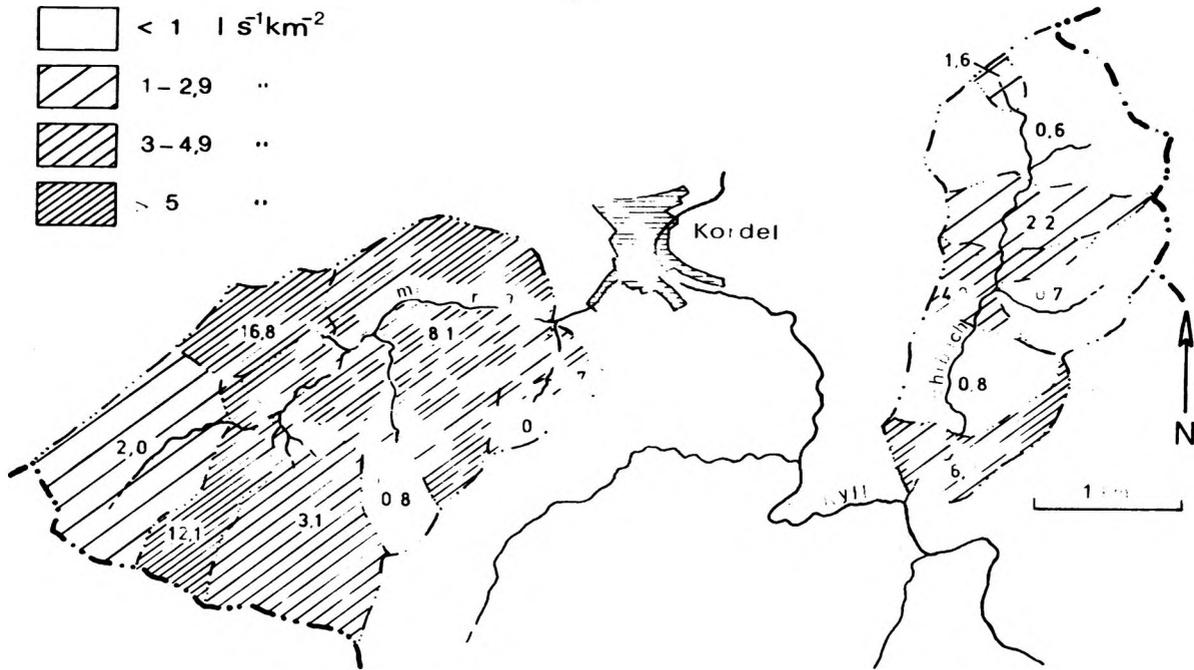


Abb. 14 b: A_g - Abflusspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ für das hydrologische Winterhalbjahr 1973

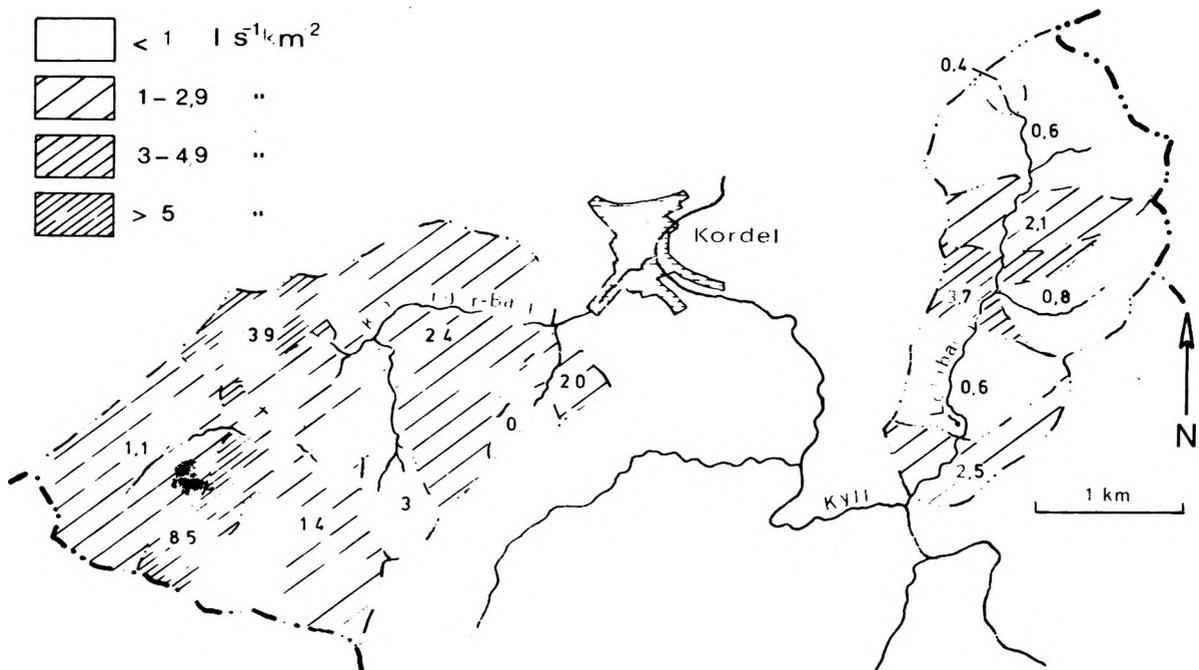


Abb. 14 c: A_g - Abflusspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973

Eine weitgehende Deutung wird erst möglich, wenn A_g in die beiden Abflußanteile A_0

und A_u zerlegt wird, daher soll an dieser Stelle nicht näher auf A_g eingegangen werden.

Zur Trennung von A_o und A_u wird die Methode von NATERMANN (1951) benutzt, bei der die Tiefpunkte der Abflußganglinie durch die sog. A_u - Linie miteinander verbunden werden. Die planimetrierte Fläche unter der A_u - Linie ergibt den A_u - Anteil am Gesamtabfluß, während die Fläche zwischen A_u - Linie und der A_g - Linie den A_o - Anteil repräsentiert.

7.2 Oberirdischer Abfluß A_o

Die Abtrennung von A_o nach dem NATERMANN - Verfahren ergibt für das hydrologische Jahr 1973 in den verschiedenen Einzugsgebieten A_o - Werte, die zwischen 0 und 70 mm Abflußhöhe (Tab. 11) oder 0 und $2,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ liegen (Abb. 15 a,b,c und 16 a,b,c). Das A_o - Spektrum ist wesentlich kleiner als das von A_g und kann eindeutig an Hand der im Einzugsgebiet vorliegenden Gegebenheiten interpretiert werden.

Ein erhöhter A_o - Anteil wird z.B. durch ein steiles Relief und/oder durch Schichten mit geringer Durchlässigkeit (z.B. Mittlerer Muschelkalk und Tertiär, siehe Anlage 1) verursacht.

Bei ähnlichen Reliefunterschieden und gleichem geologischen Bau spielt die Vegetation eine wesentliche Rolle. Durch das hohe Retentionsvermögen des Waldes kommt es in walddreichen Einzugsgebieten zu einer Verringerung von A_o .

Im wesentlichen hängt der oberirdische Abfluß, wie Abb. 15 zeigt, jedoch vom Niederschlag ab.

Bei vergleichbarem Niederschlag (hier mittlerer Gebietsniederschlag N_m) liegt der oberirdische Abfluß A_o im hydrologischen Winterhalbjahr höher als im Sommerhalbjahr. Dies ist für den mitteleuropäischen Raum charakteristisch.

Die Niederschlagshöhen N_m und deren zugehörige Abflußhöhen A_o lassen sich für das Kyll-einzugsgebiet D - K langjährig mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % korrelieren. Für die siebenjährige Meßreihe (1967 bis 1973) ergibt sich für das Winterhalbjahr ein Korrelationskoeffizient $r = + 0,84$ und für das Sommerhalbjahr $r = + 0,91$.

Erwartungsgemäß befinden sich die Werte für das Trockenjahr 1973 im unteren Teil des Diagramms (Abb. 15).

Obwohl die Daten der verschiedenen Einzugsgebiete (I bis XII) nicht in die Berechnung der Regressionsgeraden einbezogen wurden, passen sie sich den Geraden sehr gut an und bestätigen deren Verlauf. Die gute Obereinstimmung ergibt sich z.T. aus der Tatsache, daß die Einzelgebiete geologisch und topographisch zu einem großen Teil dem Gesamtgebiet der Kyll zwischen Densborn und Kordel (D - K) sehr ähnlich sind. Wie im Gesamtgebiet ist in vielen der Einzelgebiete etwa 50 % der Fläche von Muschelkalk bedeckt.

Im mehrjährigen Mittel (1967 bis 1973) liegt A_o für das Gebiet D - K bei 125 mm oder $4,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pro Jahr (siehe Tab. 14, Kap. 8.1), das sind gut 17 % des mehrjährigen N_m .

Für das Winterhalbjahr ergeben sich analog für D - K 103 mm A_o oder $6,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (31 % von N_m) und für das Sommerhalbjahr 22 mm A_o oder $1,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (knapp 6 % von N_m).

Demgegenüber ergeben sich im hydrologischen Trockenhalbjahr 1973 für D - K nur $A_o = 13 \text{ mm}$ oder $0,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, das sind 2 % von N_m (Tab. 11 und Abb. 15 a bis 16 c).

Ähnlich klein sind auch die A_o - Werte für den Winter mit 7 mm = $0,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (3 % von N_m) und für den Sommer mit 6 mm = $0,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (2 % von N_m).

Obwohl der mittlere Gebietsniederschlag für D - K 1973 ca. 77 % des mehrjährigen Mittels (1967 - 1973) erreicht, fließen in diesem Jahr nur gut 10 % des mehrjährig ermittelten A_o ab.

Durch die subjektive A_o - A_u - Abtrennung können in den Einzelgebieten zu große oder zu kleine A_o - Werte bestimmt werden. Dies führt dazu, daß bei der Berechnung A_o für einige Zwischeneinzugsgebiete 0,0 wird (meist ergeben sich negative Werte). Der mögliche Fehler ist im hydrologischen Sommerhalbjahr am kleinsten. Nur wenige und meist zeitlich kurze Ganglinienspitzen treten auf, die es erlauben, die A_o - A_u - Linie in diesen Fällen

eindeutig zu konstruieren. Im Winterhalbjahr, und damit auch im gesamten Jahr, sind die möglichen Fehler dagegen größer und können bei $\pm 10\%$ liegen. Je kleiner die Einzugsgebiete sind, umso geringer wird der absolute Fehler sein.

In den Zwischeneinzugsgebieten D - K ohne (III bis XII), X - XI - XII und 9 - 10, die überwiegend von Buntsandstein eingenommen werden, wird für das gesamte Jahr ebenso wie für das Winterhalbjahr $A_0 = 0,0$ (Abb. 15a,b, 16 a,b und Tab. 11). Real müssen diese Werte größer als 0,0 sein. Sie werden aber sehr klein sein und wahrscheinlich, wie im Buntsandsteingebiet I, für die beiden ersten Zwischeneinzugsgebiete im hydrologischen Jahr 1973 unter $0,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ liegen. Im Gebiet 9 - 10 wird A_0 , wie in den Nachbargebieten, wahrscheinlich nicht über $0,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ liegen.

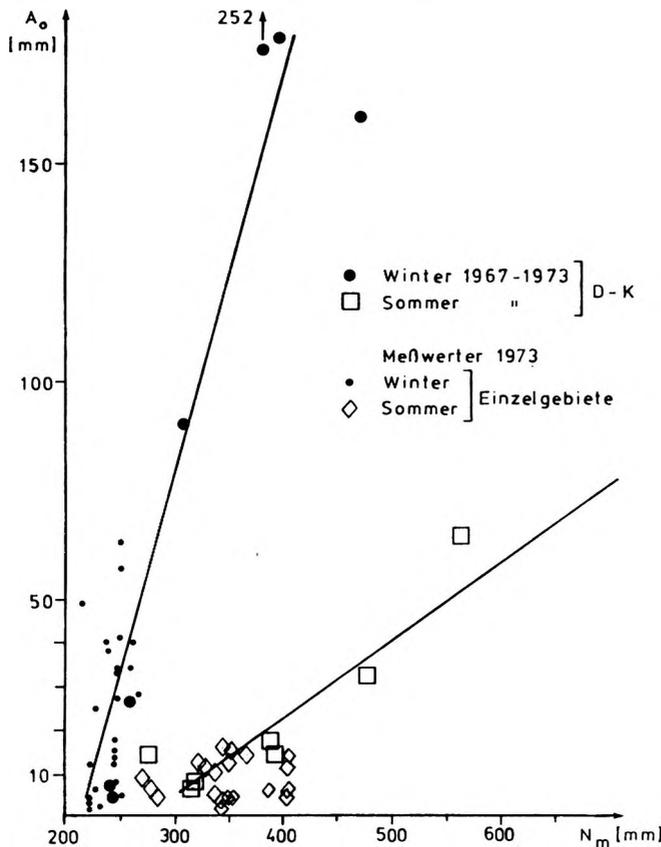


Abb. 15: Beziehung zwischen A_0 und dem mittleren Gebietsniederschlag N_m im Kyllgebiet zwischen Densborn (D) und Kordel (K).

7.2.1 Oberirdischer Abfluß in Buntsandsteingebieten

Eine Unterscheidung zwischen dem A_0 eines Buntsandsteingebietes und dem A_0 aus einem Muschelkalkgebiet ist nicht ohne weiteres möglich. Generell kann aber gesagt werden, daß A_0 im Buntsandstein kleiner ist als im Muschelkalk. Dieser Umstand ist zu einem großen Teil auf den hohen Waldanteil zurückzuführen, der im Lohrbach z.B. fast 100 % beträgt.

Am Lohrbach (I) können durch mehrere kleine Meßstellen (9 bis 14) weitere Aussagen über das oberirdische Abflußverhalten gemacht werden.

Auch die Gebiete 1 - 2 und 2 (im Gebiet III) sowie der Unterlauf des Kimmlinger Baches III- (3-8), sind überwiegend Gebiete mit Buntsandstein.

Auffallend ist, daß in fast allen Gebieten das A_0 - Verhältnis 1972/1973 zwischen dem Winter- (Wi.) und dem Sommerhalbjahr (So) kleiner als 1 bzw. etwa 1 ist. Langjährig liegt dieser Wert für das gesamte Gebiet D - K bei 4,7.

Nur in wenigen Bereichen weicht das Winter-/Sommer-Verhältnis merklich

von allen anderen Gebieten ab. Am größten ist die Abweichung im Gebiet III- (3 bis 8), in dem der oberirdische Abfluß im Winter 13 mal größer ist als im Sommerhalbjahr. Dieser extreme Wert ist durch die bereits oben erwähnte subjektive $A_0 - A_u$ - Abtrennung wahrscheinlich zu groß. Ein hoher Wert, z.B. durch abschmelzenden Schnee verursacht, muß jedoch erwartet werden, da im Unterlauf von III ein sehr steiles Relief (z.T. 50 % Gefälle) vorliegt. Der Einfluß der Morphologie zeigt sich, wenn auch nicht so stark, ebenfalls in den Gebieten 1 - 2 und 14, in denen das Wi-/So-Verhältnis etwa 4 bzw. 6 beträgt.

Die absoluten Abflußhöhen (Tab. 11, Abb. 16a, b, c) lassen weitere Aussagen zu.

Die höchste oberirdische Abflußspende aller Meßgebiete erreicht im hydrologischen Jahr 1973 das Zwischeneinzugsgebiet III-(3 bis 8) mit $2,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Entsprechend dem Wi-/So-Verhältnis liegt auch die Abflußspende mit $4,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ im Winterhalbjahr extrem über allen anderen Gebietswerten, während im Sommer A_0 mit $0,3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ dem Mittelwert aller

Buntsandsteingebiete entspricht.

Ebenfalls hohe A_0 - Werte zeigen im Winter 1972/73 die Zwischeneinzugsbereiche 1 - 2 mit $4,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ und I - 9 mit $2,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Vom mittleren Gebietsniederschlag sind dies für 1 - 2 25 % und für I - 9 14 %. Etwa 27 % von N_m fließen im Winter in III-(3 bis 8) oberirdisch ab.

Die prozentual ähnlich hohen A_0 - Werte in III-(3 bis 8) und 1 - 2 bestätigen den Einfluß der Morphologie auf den oberirdischen Abfluß im Winter. Beide Gebiete fallen steil zu dem tief eingeschnittenen Kimmlinger Bach hin ein.

Das Meßgebiet 2 (oberhalb von 1 - 2) hat dagegen, bei geringerem Reliefunterschied (ca. 10 % Gefälle), im Winterhalbjahr 1972/1973 nur ein A_0 von $0,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ oder 2 % des mittleren Gebietsniederschlages.

Für das Gebiet I - 9, in dem zwar auch relativ steile Hänge beiderseits des Lohrbaches anzutreffen sind, kann nicht allein die Morphologie als Ursache eines hohen A_0 angesehen werden. Im Vergleich zu den anderen Zwischeneinzugsgebieten im Lohrbach mit ähnlichen Geländeformen, liegt im Winter in I - 9 ein hoher A_0 - Wert vor. Mit $2,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ oder 14 % von N_m muß dieser A_0 - Wert auf den hohen Grundwasserstand in diesem untersten Teil des Lohrbaches zurückgeführt werden. Eine Versickerung in den Untergrund wird durch den gefüllten Aquifer verringert bzw. verhindert. Der oberirdische Abfluß wird demzufolge erhöht.

Ein Teil der großen oberirdischen Abflußspenden im Winter in III-(3 bis 8) und 1 - 2 wird wahrscheinlich ebenfalls durch den hohen Grundwasserstand dieser Gebiete mitverursacht.

Im Meßgebiet 14 kann der erhöhte oberirdische Abfluß von $0,8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ im Winter 1972/1973 allein auf die steilen Hänge zurückgeführt werden. Da im Sommer die dicht oberhalb der Meßstelle 14 befindliche Quelle versiegt, erreicht A_0 im Sommer aber nur 1/6 des winterlichen A_0 .

Im Unterlauf des tief eingeschnittenen Kimmlinger Bachtals sind, bedingt durch die geringe Sonnenscheindauer, längere Bodenfrostperioden zu erwarten. Der Bodenfrost kann als eine weitere Erklärung für den hohen oberirdischen Abfluß im Winter in III-(3 bis 8) und 1 - 2 herangezogen werden. In den gefrorenen Boden können Niederschlag und Schmelzwasser nicht versickern, so daß A_0 stark ansteigt.

Auch im hydrologischen Sommerhalbjahr fallen Einzugsgebiete auf, deren A_0 höher ist als in benachbarten Einzugsbereichen.

Die drei Gebiete 1 - 2, I - 9 und 10 - 11 - 12 erreichen Abflußspenden von 0,9 bzw. $0,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, die im Sommer 1973 erheblich über dem A_0 der anderen Buntsandsteine liegen (Abb. 16 c). Als eine Ursache für große A_0 - Werte ist das steil einfallende Gelände dieser drei Gebiete anzusehen.

Ähnliche morphologische Verhältnisse liegen allerdings auch in anderen Buntsandsteinbereichen vor, ohne daß der oberirdische Abfluß ansteigt. Auch die geologischen Gegebenheiten und die Vegetation sind in allen Gebieten nahezu gleichartig.

Eine andere Ursache für erhöhte oberirdische Abflußspenden im Winter- und im Sommerhalbjahr 1972/1973 sind mögliche Umläufigkeiten einzelner Meßstellen. Besonders deutlich wird diese Möglichkeit im hydrologischen Winterhalbjahr in den Gebieten 9 - 10 und 12 - 13, in denen die errechneten Werte $0,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ergeben. Wird bei einer vermuteten Umläufigkeit für die Meßstellen 9 und 12 ein höherer Wert eingesetzt, so verringern sich die Abflußspenden der Gebiete I - 9 und 10 - 11 - 12, da die Differenz zwischen I und 9 und zwischen 10 und 12 (ohne 11) kleiner wird. Andererseits wird der errechnete Wert für das Zwischeneinzugsgebiet 9 - 10 und 12 - 13 dann größer als $0,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ sein.

Unter der Annahme, daß 20 % des oberirdischen Abflusses an den Meßstellen 9 und 12 nicht erfaßt werden, würden sich die A_0 - Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten im Lohrbach verringern. Die Bereiche mit erhöhtem A_0 bleiben jedoch erhalten.

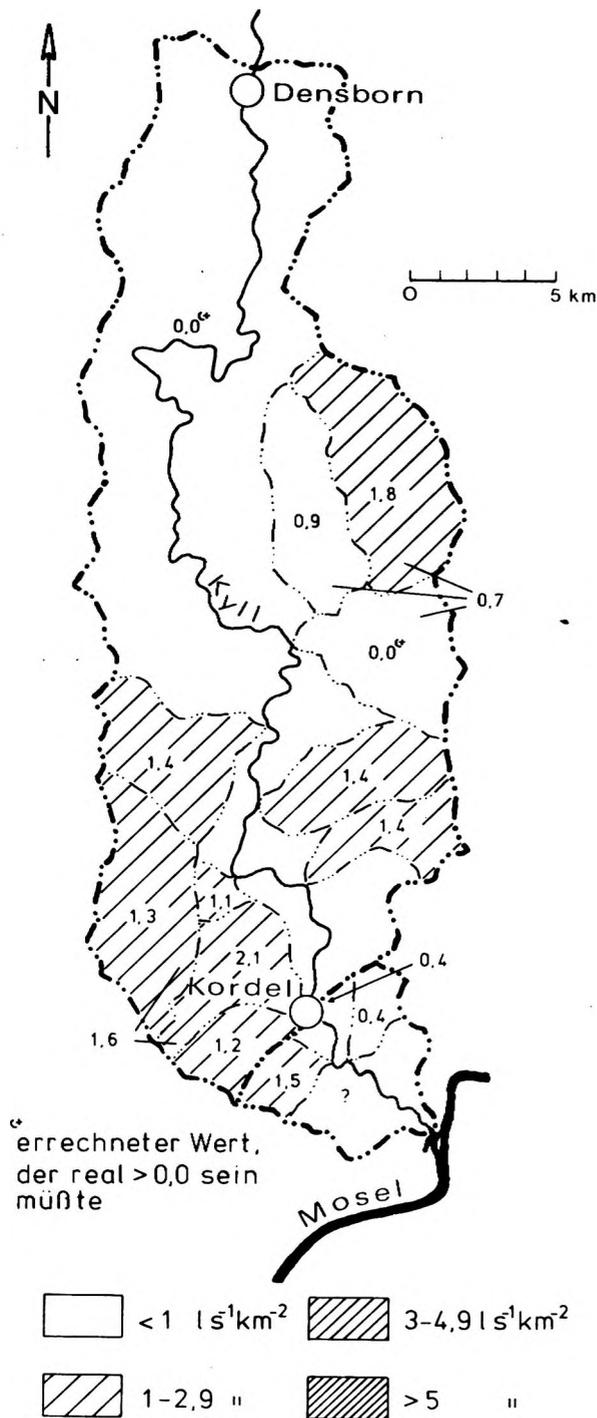


Abb. 15a: A_0 -Abflußspenden in $l s^{-1} km^{-2}$ des K91 Einzugsgebietes zwischen Densborn (D) und Kordel (K) für das hydrologische Jahr 1973

IX, vgl. auch Kap. 7.2.1).

Auch durch die landwirtschaftliche Nutzung der Hochflächen als Äcker und Wiesen mit geringem oder fehlendem Waldanteil steigen die A_0 -Werte im hydrologischen Winterhalbjahr stärker an als im Sommer.

7.2.2 Oberirdischer Abfluß in Muschelkalkgebieten

Meßgebiete, die nur von Muschelkalk eingenommen werden, liegen im Kimmlinger Bachtal (III) und im Oberlauf des Welschbilliger Baches (V). Im Gebiet III sind es die Einzugsbereiche 4,6 - 7, 7 und 8. Auch das Einzugsgebiet des Langebaches (XI) wird ausschließlich von den Schichten des Muschelkalks aufgebaut. Im Einzugsgebiet des Keutelbaches (IX), in dem der obere Buntsandstein nur in einigen schmalen Bereichen im Unterlauf und in geringer Verbreitung am Teitelbach ansteht, der von Süden her in den Keutelbach mündet, werden weite Bereiche vom Muschelkalk eingenommen (siehe Anlage 1).

Der Muschelkalk wird in IX und XI auf den Hochflächen häufig von tertiären Sedimenten überlagert.

Das Verhältnis von A_0 im hydrologischen Winterhalbjahr zum A_0 des Sommerhalbjahres ist 1972/1973 in den Muschelkalkgebieten immer größer als 1 und liegt zwischen 1,1 im Gebiet 8 und 7,8 in IX. Hohe A_0 -Werte im Winterhalbjahr, die bei kleinen Abflußhöhen im Sommer 1973 die Verhältniszahlen auf 7,8 bzw. 6,2 in XI ansteigen lassen, müssen auf unterschiedliche Einflußfaktoren zurückgeführt werden.

Wie in den Buntsandsteingebieten beeinflusst die Morphologie die oberirdischen Abflußverhältnisse im Meßgebiet IX. Als Hauptursache für die hohen A_0 -Verhältnisse muß aber die tertiäre Bedeckung angesehen werden, die in IX und XI große Flächen einnimmt und geringe Durchlässigkeiten aufweist. Durch den, auf den Hochflächen (das Tertiär liegt meist über 350 m über NN) länger andauernden Bodenfrost wird die geringe Wasserdurchlässigkeit noch gesteigert und führt im Winterhalbjahr zu großen oberirdischen Abflußspenden.

Ähnliche Auswirkungen des Bodenfrostes sind auch in den tief eingeschnittenen Tälern zu erwarten (z.B. im Unterlauf von

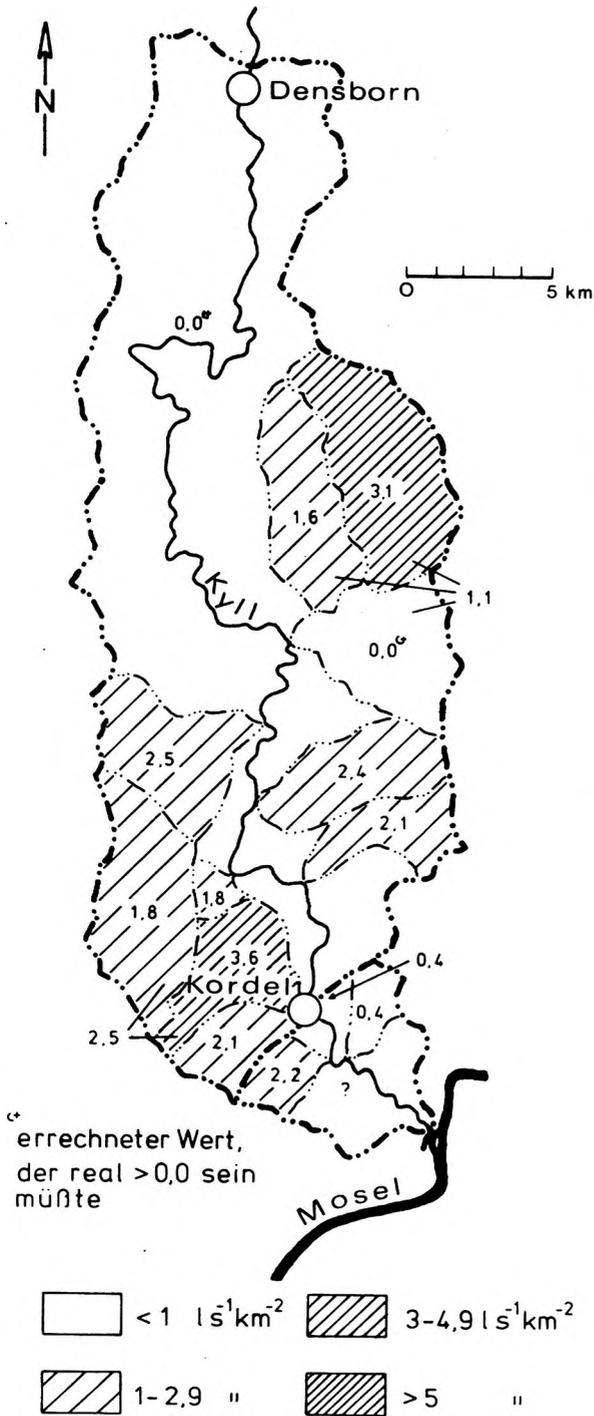


Abb. 15b: A_0 -Abflußspenden in $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ des Kyll-einzugsgebietes zwischen Densborn (D) und Kordel (K) für das hydrologische Winterhalbjahr 1973

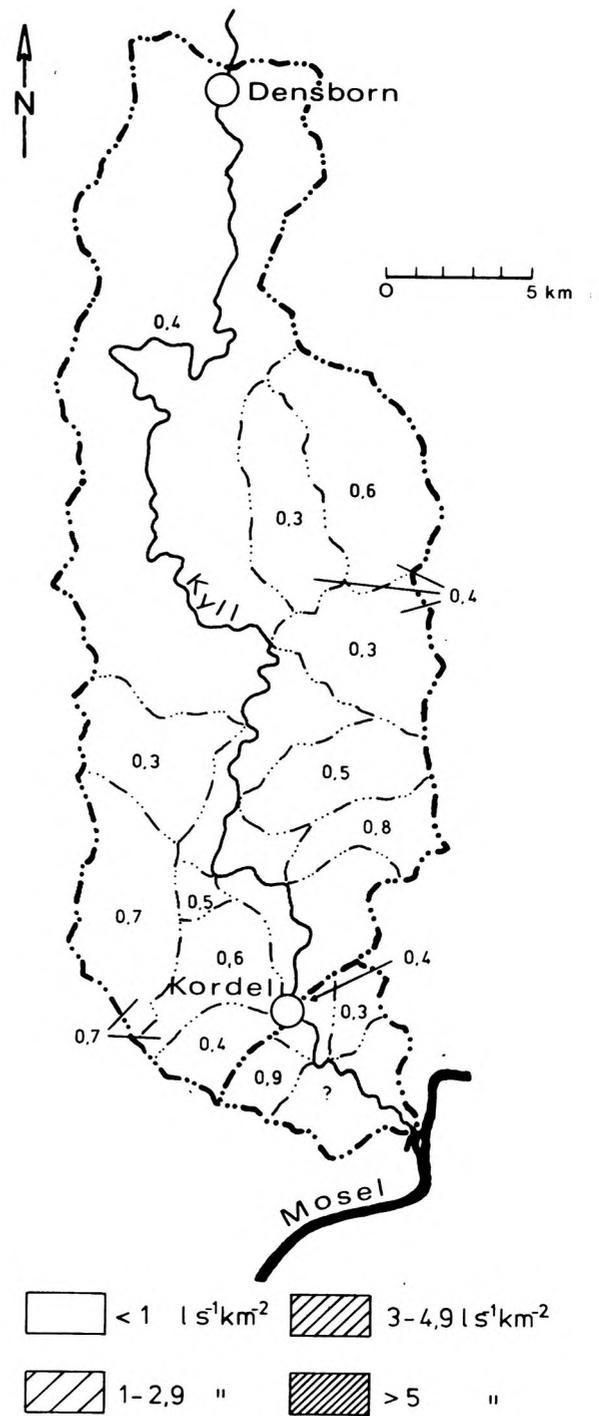


Abb. 15c: A_0 -Abflußspenden in $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ des Kyll-einzugsgebietes zwischen Densborn (D) und Kordel (K) für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973

Im Gebiet V ergibt das Wi-/So-Verhältnis 1972/1973, im Gegensatz zum Nachbargebiet IX (s.o), nur 2,4.

Im Gebiet 4 am Kimmlinger Bach beträgt das Wi-/So-Verhältnis von A_0 2,3.

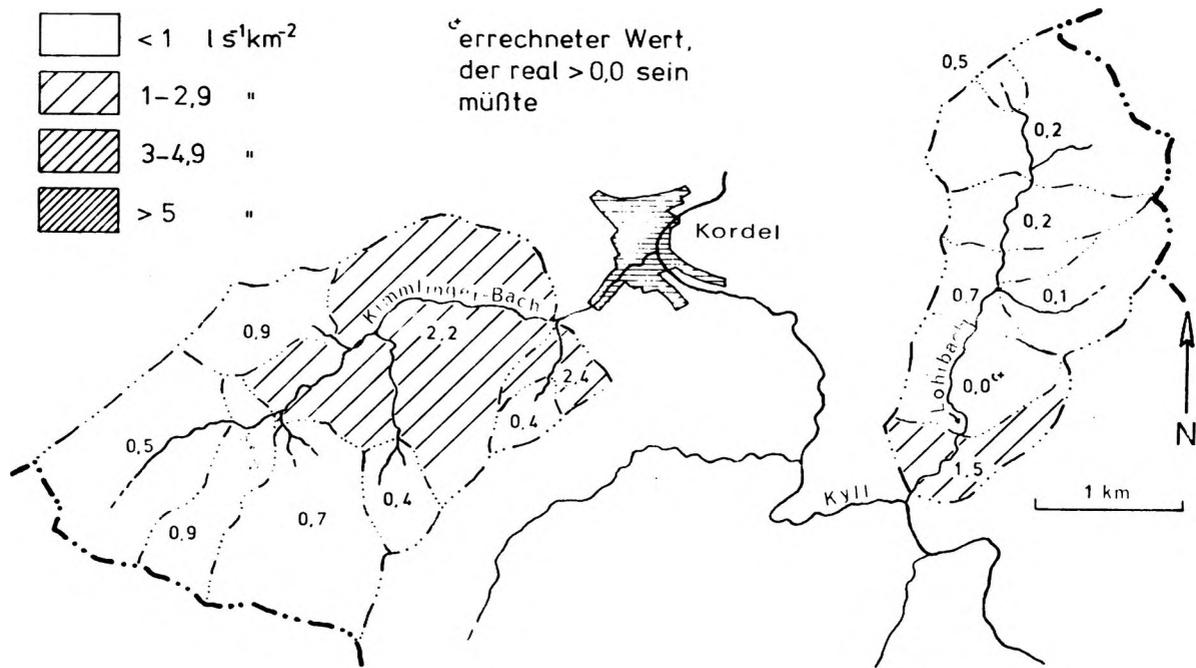


Abb. 16a: A_0 -Abflußspenden in $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ in den Einzugsgebieten I und III für das hydrologische Jahr 1973

Im Gebiet 7 sind weite Flächen vom Unteren und Mittleren Muschelkalk bedeckt, so daß sich hier eine Verhältniszahl von 3,1 ergibt.

Steile Hänge, die vom Oberen Muschelkalk gebildet werden, erhöhen in den Gebieten 6 - 7 und 8 im Sommer den oberirdischen Abfluß, so daß die Verhältniszahlen auf 1,6 bzw. 1,1 absinken.

Im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 liegen die Abflußspenden der Gebiete 4, 6 - 7, 7 und 8 sehr dicht beieinander. Sie reichen von $0,8 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ in 7 über $1,0 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ in 4 und 8 bis zu $1,1 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ in 6 - 7. In den beiden Einzugsgebieten 6 - 7 und 8 sind die geologischen und topographischen Verhältnisse sowie die landwirtschaftliche Nutzung nahezu gleich, so daß auch die ähnlichen oberirdischen Abflußspenden zu erklären sind.

Abweichend von den beiden letztgenannten Gebieten treten in 7 auch relativ wasserundurchlässiger Unterer- und Mittlerer Muschelkalk auf. Obwohl ein erhöhtes A_0 zu erwarten wäre, bleibt A_0 mit $0,8 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ gering, da der Einzugsbereich flacher ist als in 6 - 7 und 8.

Im Gebiet 4 kommt nur Unterer und Mittlerer Muschelkalk zum Austrich. Durch einen höheren Waldanteil, der über 1/3 der Fläche einnimmt, und ein geringeres Relief bleibt A_0 auch hier nur bei $1,0 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$.

Anders verhält sich A_0 im Meßbereich V. Gegenüber den kleinen Meßgebieten im Kimmlinger Bach ist A_0 mit $1,8 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$ im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 in V etwa doppelt so groß. Hier kann der höhere oberirdische Abfluß fast ausschließlich auf den hohen Anteil an Unterem- und Mittlerem Muschelkalk zurückgeführt werden. Auch die steilen Hänge des Oberen Muschelkalks lassen A_0 ansteigen.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 ist A_0 nur in den Einzugsgebieten V, 6 - 7 und 8 mit $0,7$ bzw. $0,8 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ erhöht, während die Abflußspenden in allen anderen Muschelkalkgebieten um $0,3 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ liegt.

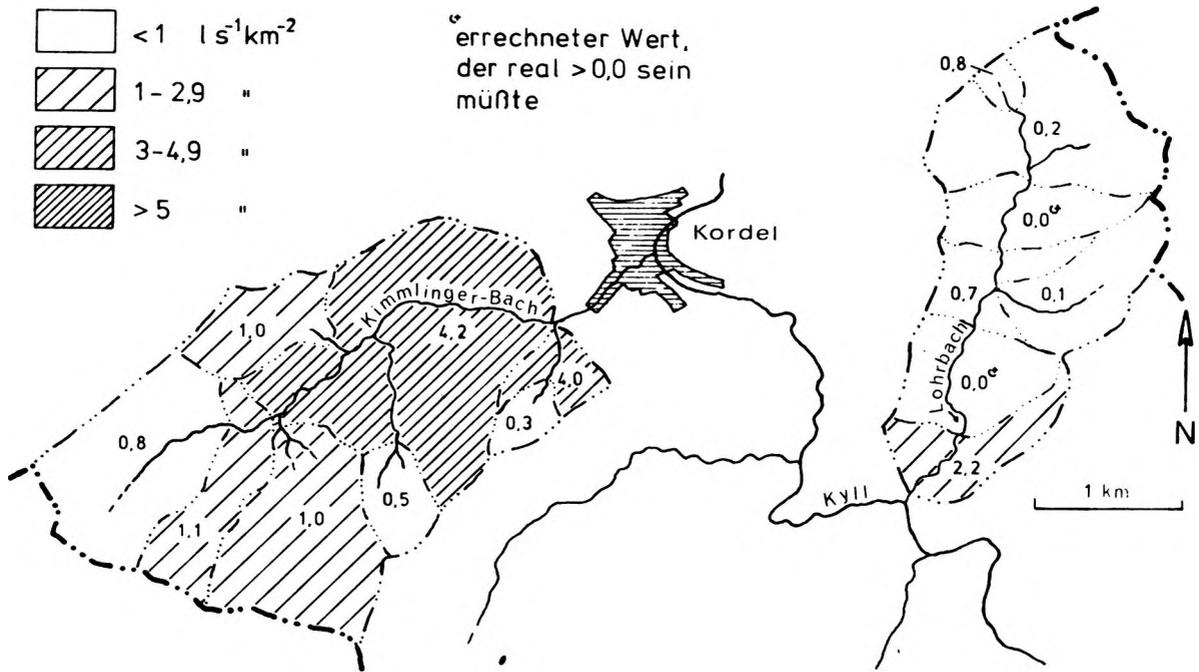


Abb. 16b: A_0 -Abflußspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ in den Einzugsgebieten I und III für das hydrologische Winterhalbjahr 1973

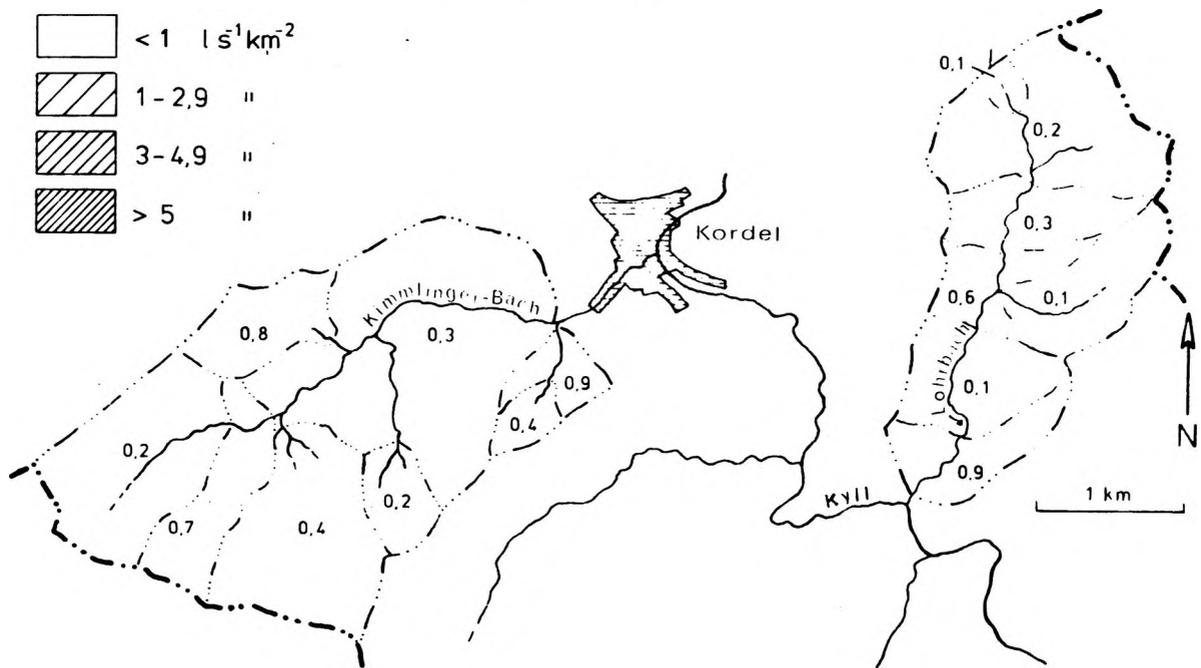


Abb. 16c: A_0 -Abflußspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ in den Einzugsgebieten I und III für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973

Einzugsgebiet Nr.	A _o 1973 mm	A _o % von N _m	A _o Wi mm	A _o % von N _m	A _o So mm	A _o % von N _m
I	12	2	6	3	6	2
9	6	1	2	1	4	1
I - 9	49	8	34	14	15	4
10	8	1	3	1	4	1
9 - 10	-	-	-	-	1	0,4
11	3	0,5	1	0,4	2	0,4
12	7	1	4	2	3	1
10 - 11 - 12	21	4	6	3	15	4
10 - 12	10	2	3	1	7	2
13	7	1	3	1	4	1
12 - 13	5	1	4	2	1	0,3
14	14	2	12	5	2	1
13 - 14	6	1	2	1	4	1
II	48	8	34	14	14	4
III	39	6	33	13	6	1
1	52	9	41	16	11	3
2	12	2	5	2	7	2
1 - 2	77	13	63	25	14	4
3	12	2	8	3	4	1
4	22	3	15	6	7	1
6	19	3	13	5	6	1
7	16	2	12	5	4	1
6 - 7	28	4	17	7	11	3
8	29	4	15	6	14	3
III - (3 bis 8)	70	11	65	27	5	1
IV	51	9	40	15	11	3
V	40	7	28	11	12	4
IV - V	66	11	57	23	9	3
VI	46	7	34	13	12	3
VII	35	6	27	11	8	2
VIII	45	8	38	16	7	2
IX	45	8	40	17	5	1,5
X	23	5	17	8	6	2
XI	29	6	25	11	4	1,4
XII	58	12	49	23	9	3
X - XI - XII	-	-	-	-	4	1,5
D - K ohne (III bis XII)	-	-	-	-	6	1,6
D - K	13	2	7	3	6	2
D - E	13	2	7	3	6	2

Tab. 11: Oberirdischer Abfluß A_o in mm und % von N_m im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn (D) und Kordel (K) bzw. Ehrang (E) für das hydrologische Jahr 1973 sowie für das hydrologische Winter- (Wi) und Sommerhalbjahr (So).

7.2.3 Oberirdischer Abfluß in Gebieten mit Buntsandstein, Muschelkalk und Tertiär

Am häufigsten sind im Kyllbereich zwischen Densborn (D) und Kordel (K) Einzugsgebiete, in denen A_0 sowohl vom Buntsandstein als auch vom Muschelkalk und den tertiären Deckschichten beeinflusst wird. In diese Gruppe gehören die Meßbereiche II, III, IV - V, VI, VII, VIII, X - XI - XII, D - K ohne (III bis XII) und im Gebiet III der Meßbereich 3.

Im hydrologischen Jahr 1973 liegt das Wi-/So-Verhältnis dieser Gebiete, außer in X - XI - XII und D - K ohne (III bis XII), zwischen 2,1 und 5,8.

Der hohe Wert von 5,8 in IV - V entsteht durch den sehr starken A_0 im Winterhalbjahr 1972/73. A_0 wird hier, im Unterlauf des Welschbilliger Baches, durch steile Hänge, das tief eingeschnittene Tal mit längeren Bodenfrostoperioden und weiten Bereichen von tonig-mergeligem Unterem- und Mittlerem Muschelkalk gefördert. Die gleichen Voraussetzungen für einen erhöhten A_0 , wie er in IV - V vorliegt, ergeben sich in den Gebieten III, VIII und XII mit Wi-/So-Verhältnissen von 5,7, 5,2 und 5,4. In VIII und XII tritt weit verbreitet tertiärer Decklehm auf, der neben dem Muschelkalk zu einem erhöhten A_0 beiträgt.

Auch der hohe Waldanteil in IV - V und VIII reduziert A_0 im Sommer, so daß das Wi-/So-Verhältnis größer wird.

Im Gebiet XII fehlt ein hoher Waldanteil. Eine Reduzierung des sommerlichen A_0 kann hier nur auf den geringeren Reliefunterschied zurückgeführt werden.

Der fehlende oder sehr geringe Waldbestand kann in II, VI und VII als Ursache für erhöhte oberirdische Abflüsse im Sommer angesehen werden, die ein Wi-/So-Verhältnis um 3,0 ergeben.

Der kleinste Wi-/So-Wert ergibt sich für das Gebiet 3 (im Meßgebiet III) mit 2,1, da ein hoher Waldanteil (ca. 50 %) vorliegt und das Gelände außerdem sehr flach ist.

Direkte Messungen des Abflusses fehlen in den Gebieten X - XI - XII und D - K ohne (III bis XII). Die errechneten A_0 -Spenden der beiden Flächen von $0,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ im Winterhalbjahr 1972/73 sind unrealistisch. Sie sind auf die subjektive $A_0 - A_u$ -Abtrennung für die Gebiete III bis XII zurückzuführen, die in die Berechnung eingehen. Der mögliche Fehler kann mit ca. 10 % angenommen werden, so daß der reale A_0 -Wert sehr klein angesetzt werden muß. Da A_0 im Sommer bei $0,3$ bzw. $0,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ liegt, ist das Wi-/So-Verhältnis kleiner als 1,0 anzusetzen. Ein Wert dieser Größenordnung ergibt sich sonst nur für die Buntsandsteingebiete (vgl. Kap. 7.2.1). Es kann daher angenommen werden, daß hauptsächlich die Schichten des Buntsandsteines den A_0 der Gebiete X - XI - XII und D - K ohne (III bis XII) prägen. In beiden Gebieten nimmt der Buntsandstein weite Areale ein. Nur etwa 5 % der Fläche des Zwischeneinzugsgebietes X - XI - XII bestehen aus Unterem Muschelkalk und Tertiär, während in D - K ohne (III bis XII) ca. 40 % der Fläche von Muschelkalk und Keuper gebildet werden.

Die absoluten Abflußspenden liegen in den Einzugsbereichen IV - V im Winter 1972/73 mit $3,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ und in XII mit $3,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ am höchsten.

Die Abflußspenden der Gebiete II, III, VI und VIII liegen alle zwischen 2,1 und $2,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, obwohl die bestimmenden Faktoren recht unterschiedlich sind. Während in II und III überwiegend die steilen Talhänge des Kimmlinger Bachtals (vgl. Kap. 7.2.1) einen hohen winterlichen A_0 herbeiführen, wird er in VI und VIII durch das wenig durchlässige Tertiär erhöht.

Eine Abflußspende von $1,8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ zeigt im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 das Einzugsgebiet VII. A_0 bleibt relativ klein, da in dem nur $2,8 \text{ km}^2$ großen Einzugsbereich der Hochflächenanteil mit sehr flachen Hängen bei weitem größer ist als der nur 500 m lange, tief eingeschnittene Unterlauf des Baches bei dem Ort Kyll. Der Einfluß der Morphologie zeigt sich ebenfalls sehr deutlich im Gebiet 3 (Teil von III), in dem A_0 im Winterhalbjahr nur $0,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ erreicht. Ein Waldanteil von ca. 50 % vermindert ihn in diesem flachen Einzugsbereich zusätzlich.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 müssen unterschiedliche A_0 -Werte auf den jeweiligen Waldanteil der verschiedenen Gebiete zurückgeführt werden. Während in III - (3 bis 8), 3, IV - V, VIII und X - XI - XII mit großen Waldflächen eine A_0 -Spende von 0,2 bis $0,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$

$s^{-1} \cdot km^{-2}$ erreicht wird (vgl. Abb. 15 c und 16 c), wächst A_0 in II und VI (mit geringem Waldanteil) auf 0,9 bzw. 0,8 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ an.

Relativ gering bleibt A_0 im Sommerhalbjahr auch in den Gebieten 3 mit 0,2 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, in VII mit 0,5 und in XII mit 0,6 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, obwohl in diesen drei Gebieten Muschelkalk und in XII auch Tertiärablagerungen anstehen, die beide, wegen ihrer geringen Durchlässigkeit, einen höheren A_0 erwarten lassen. Durch die geringen Reliefunterschiede bleibt A_0 aber kleiner. Der geringe A_0 in X - XI - XII von 0,3 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ entsteht vermutlich auch durch die geringe Hangneigung des Oberen Buntsandsteins, der hier den größten Teil des Einzugsgebietes einnimmt.

Für das Gesamtgebiet Densborn (D) - Kordel (K) ist der oberirdische Abfluß wenig aussagekräftig. Da in diesem Gebiet sehr unterschiedliche A_0 -Verhältnisse vorliegen, kann für D - K nur ein Mischwert entstehen, der im hydrologischen Jahr 1973 und auch im Winter- und Sommerhalbjahr 1973 jeweils bei 0,4 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ liegt.

7.3 Unterirdischer Abfluß

Die Abtrennung des A_u aus der Ganglinie nach dem NATERMANN-Verfahren ergibt im hydrologischen Jahr 1973 Werte, die zwischen 6 mm Abflußhöhe bzw. 0,2 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ Abflußspende und 455 mm oder 14,4 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ liegen (Tab. 12, Abb. 17a,b,c und 18 a,b,c).

Der unterirdische Abfluß umfaßt dabei nicht nur den grundwasserbürtigen Teil des Gesamtabflusses, der aus dem Aquifer in den Vorfluter gelangt, sondern auch den sog. Bodenabfluß. Der letztgenannte Abflußteil, der in den oberen Bodenschichten fließt, läßt sich bei dem Verfahren nach NATERMANN (1951) nicht ohne weiteres von dem Abflußanteil trennen, der aus dem Grundwasserspeicher stammt (vgl. Kap. 7.4). Der Bodenabfluß ist gegenüber dem grundwasserbürtigen Abfluß aber gering anzusetzen und wird nicht weiter berücksichtigt.

Bei der Berechnung der Abflußhöhen bzw. der Abflußspenden wird davon ausgegangen, daß das oberirdische Einzugsgebiet E_0 mit dem unterirdischen Einzugsgebiet E_u übereinstimmt. Diese Übereinstimmung ist im Arbeitsgebiet aber nicht immer realisiert. Aus dem A_u -Vergleich verschiedener Einzugsgebiete läßt sich dies oft ablesen. So können geologisch und morphologisch ähnliche Gebiete nicht derart unterschiedliche Abflüsse ergeben, wie sie z.B. im Gebiet I (vgl. Abb. 18 a, b, c) vorliegen. In solchen Fällen ist E_u zu korrigieren. Die Korrektur wird hier nur nach geologischen Gesichtspunkten vorgenommen. Künstliche Einflüsse müssen nicht berücksichtigt werden, da eine Ableitung von Grundwasser (G_a) in andere Einzugsgebiete nur in sehr geringem Umfang vorhanden ist.

Mehrjährig ist für das Einzugsgebiet zwischen den Pegeln Densborn (D) und Kordel (K) das Verhältnis zwischen dem A_u im Winterhalbjahr zu dem A_u im Sommerhalbjahr fast 1,4. Der unterirdische Abfluß ist demnach im Winter nur ca. 1/3 höher als im Sommer.

In vielen Teilgebieten zwischen D und K ist das Wi-/So-Verhältnis im hydrologischen Jahr 1973 mit 1,2 geringfügig niedriger.

Für das Gesamtgebiet D - K weicht das Wi-/So-Verhältnis im hydrologischen Jahr 1973 mit 21,5 allerdings stark von den oben genannten Werten ab, da die A_u -Höhe von 43 mm im Winterhalbjahr auf nur 2 mm im Sommerhalbjahr abfällt (vgl. Kap. 8.1).

7.3.1 Unterirdischer Abfluß in Buntsandsteingebieten

Das Verhältnis des winterlichen A_u zum sommerlichen A_u ist im hydrologischen Jahr 1973 in den meisten Buntsandsteingebieten etwa gleich dem Wi-/So-Verhältnis des Gesamtgebietes Densborn-Kordel, das geringfügig über 1 liegt. Der Buntsandstein gibt demnach relativ gleichmäßig Grundwasser an den Vorfluter ab. Dieses Wi-/So-Verhältnis kann als typisch für den Buntsandstein angesehen werden.

Da in dem hochgelegenen Buntsandsteingebiet 14 (Teilgebiet von I) der Bach im Sommer trocken fällt, steigt das Wi-/So-Verhältnis auf 3,0 an.

Auch im Zwischeneinzugsgebiet I - 9 ist der unterirdische Abfluß im Winter fast um das Dreifache größer als im Sommer. Als Ursache für dieses abweichende Verhalten könnte ein jahreszeitlich schwankendes E_u angenommen werden, das im Winter größer ist als im Sommer. Da die geologischen Verhältnisse außerhalb des Gebietes I - 9 denen innerhalb des Gebietes gleichen, kann nur ein Grundwassergefälle zur Kyll hin angenommen werden. Eine notwendig werdende Korrektur von E_u muß daher auf das Lohrbachgebiet beschränkt bleiben.

Die auf das Gebiet I - 9 ($0,45 \text{ km}^2$) bezogene Abflußspende von $4,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (70 mm) liegt im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 sehr hoch (vgl. Abb. 18 b).

Da im Gebiet 10 - 11 - 12 ebenfalls ein größerer A_u auftritt, hier scheint ein höheres Grundwasserstockwerk vorzuliegen (siehe unten), kann für I - 9 ein E_u bis an die Meßstelle 10 angenommen werden (vgl. Kap. 8.2.2 und Abb. 27). E_u wäre dann mit $1,08 \text{ km}^2$ (Meßstelle I bis 10) anzusetzen, bei dem sich die Abflußhöhe auf 29 mm (oder $1,8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) reduziert. Dieser A_u -Wert scheint realistisch zu sein, da er dem A_u des Winters 1972/73 ähnelt, der in den benachbarten Einzugsgebieten ermittelt wurde.

Wie bereits oben erwähnt, liegt A_u in 10 - 11 - 12 im Winter 1972/73 mit 51 mm Abflußhöhe, bei einem $E_u = E_0$ von $0,38 \text{ km}^2$, ebenfalls über dem Durchschnitt. Ober einem Stauhorizont, möglicherweise Rotliegendes (ro_2), scheint hier Grundwasser aus dem höher gelegenen Einzugsgebiet 11 mit erfaßt zu werden (vgl. Abb. 27 in Kap. 8.2.2, zwischen Meßstelle 10 und 12). Der neu berechnete unterirdische Abfluß für ein größeres E_u von $0,98 \text{ km}^2$, das dem Gebiet 10 - 12 entspricht, beträgt dann 26 mm . Erst dieser Wert gleicht dann dem A_u , das in Nachbargebieten ermittelt wurde.

Wie für 10 - 11 - 12 muß auch für 12 - 13 ($A_u = 35 \text{ mm}$ oder $1,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) ein größeres E_u angenommen werden, das von $0,38 \text{ km}^2$ auf $1,78 \text{ km}^2$ erweitert werden kann. Nach den geologischen Gegebenheiten umfaßt E_u damit das gesamte obere Lohrbachgebiet über der Meßstelle 12 mit den Meßstellen 13 und 14. Der aus diesem E_u errechnete A_u von 10 mm erscheint aber zu gering. Es muß angenommen werden, daß aus dem Gebiet 13 - 14 Grundwasser nach Westen in ein als Taurengrund bezeichnetes Tal abfließt und A_u mit 7 mm im Winter 1972/73 daher sehr klein ausfällt. Die Größenordnung des in Fremdgebiete abgegebenen Grundwassers kann aber nicht abgeschätzt werden, da im Taurengrund keine Abflußmessungen vorliegen. Der A_u -Wert des Gebietes 12 - 13 oder 13 - 14 wird daher nicht weiter korrigiert.

Im Kimmlinger Bach sind ähnliche Grundwasserbewegungen, wie sie für den Lohrbach angenommen werden, für das Gebiet III - (3 bis 8) zu erwarten. Der sehr geringe unterirdische Abfluß aus dem Gebiet 3 von 4 mm oder $0,3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ im Winter 1972/73 läßt den Schluß zu, daß eine Grundwasserbewegung aus dem Gebiet 3 zum Kimmlinger Bach hin stattfindet, so daß sich im Winter 1972/73 in III - (3 bis 8) ein A_u von $4,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (62 mm) ergibt (Abb. 18 b). Bei einer Korrektur von E_u (+ E_u des Gebietes 3) errechnet sich eine A_u -Spende von $3,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (53 mm). Diese immer noch sehr hohe Abflußspende ist, vergleicht man sie mit der A_u -Spende des Lohrbaches ($I = 1,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$), für ein überwiegend aus Buntsandstein aufgebautes Gebiet ungewöhnlich.

Sowohl nach geologischen Gesichtspunkten als auch nach den gemessenen A_u -Spenden kann E_u nicht weiter auf die höher gelegenen Muschelkalkgebiete im Gebiet III ausgedehnt werden. Die Bereiche mit oberem Muschelkalk können nicht einbezogen werden, da sie zum Liegenden hin vom Mittleren Muschelkalk abgedichtet sind. Auch vorhandene Störungen beeinflussen das Abflußverhalten nicht, das in diesen Bereichen eine deutliche Eigenständigkeit (vgl. Kap. 7.3.2) aufweist. Ähnliche Verhältnisse sind für die Gebiete 4 und 7 gegeben, in denen der Untere Muschelkalk ansteht, der an der Basis von Tonen und Mergeln des Oberen Buntsandsteins (so_2) abgedichtet wird.

Um die hohe Abflußspende in III - (3 bis 8) zu erklären, kann nur angenommen werden, daß Grundwasser aus anderen Teilen der Bitburger-Mulde in dem Gebiet III - (3 bis 8) dem Kimmlinger Bach zufließt. Um auf für den Buntsandstein typische A_u -Werte zu kommen, muß E_u von $2,43 \text{ km}^2$ ca. 7 km^2 anwachsen. Die Begrenzung dieses größeren E_u kann aber nicht festgelegt werden, da der Buntsandstein von Muschelkalk und Keuper überdeckt wird.

Mit $1,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ oder 25 mm fällt der A_U des Winters 1972/73 im Gebiet 1 - 2 normal aus, während im höher gelegenen Bereich 2 nur $0,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ gemessen wurden. Der kleine A_U im Einzugsbereich 2 muß auf die geringe Größe des Aquifers zurückgeführt werden, der im Winter und im Sommer nahezu vollständig auszulaufen scheint. Dieser Umstand dokumentiert sich auch in dem Wi-/So-Verhältnis, das bei 0,8 liegt.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 liegen nahezu die gleichen Verhältnisse vor, wie im hydrologischen Winterhalbjahr (Abb. 18 c). Lediglich in den Gebieten I - 9, 14 und III - (3 bis 8) verringert sich im Sommer A_U gegenüber dem Winter stärker. Der in dem sehr kleinen Einzugsgebiet 14 fließende Bach fällt im Spätsommer trocken, so daß die A_U -Spende auf $0,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ zurückgeht.

Geht man davon aus, daß E_O und E_U im Sommer 1973 in dem Gebiet I - 9 übereinstimmen (im Gegensatz zum Winter), so ist A_U mit $1,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ nur geringfügig kleiner als die A_U -Spende des Winters für ein größeres E_U ($1,8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$).

Im Gebiet III - (3 bis 8) entleert sich im Sommer 1973 der Aquifer, kleine höher gelegene Quellen fallen trocken, und die A_U -Spende geht auf $2,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ zurück. Mit diesem A_U (34 mm) bleibt das Gebiet III - (3 bis 8) aber noch über dem A_U anderer Gebiete, so daß auch im Sommer ein größeres E_U angenommen werden könnte.

7.3.2 Unterirdischer Abfluß in Muschelkalkgebieten

Im hydrologischen Jahr 1973 liegt das Wi-/So-Verhältnis in den von Muschelkalk eingenommenen Meßbereichen meist bei 1,2 bis 1,5 (Gebiete 6 - 7, 7, 8 und V). Diese Verhältnis-zahlen sind denen aus den Buntsandsteingebieten sehr ähnlich. Nur in drei Einzugsgebieten ist dieser Quotient mit 1,9 im Gebiet IX, mit 2,2 in 4 und 2,7 im Gebiet XI erhöht.

Im Einzugsbereich 4 kann angenommen werden, daß der Speicher, in diesem Fall der Untere Muschelkalk, durch sein geringes Speichervermögen schnell abnimmt. Im Sommerhalbjahr 1973 ist A_U daher wesentlich kleiner als im Winter. Auch werden große Teile des Einzugsgebietes von Mittlerem Muschelkalk eingenommen, der als relativ wasserundurchlässig anzusehen ist und die Versickerung in den tieferen Untergrund (I_U) behindert.

Ähnliche Voraussetzungen, wie sie in Gebiet 4 vorliegen, sind für die Gebiete IX und XI gegeben, in denen die Versickerung größerer Niederschlagsmengen (hauptsächlich im Winter) durch die Tertiärbedeckung verhindert wird.

Die sehr hohen Abflußspenden (siehe unten und Abb. 18a, b, c) in den beiden Gebieten 6 - 7 und 8 deuten auf ein unterirdisches Einzugsgebiet (E_U) hin, das wesentlich größer als das oberirdische Einzugsgebiet (E_O) ist.

Den höchsten A_U -Wert erreicht im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 das Gebiet 8, dessen Abflußspende bei $E_U = E_O$ $15,8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ergibt.

Wird die A_U -Höhe des Gebietes 8 von 248 mm aber nicht auf $E_O = 0,55 \text{ km}^2$ bezogen, sondern auf ein $E_U = 2,02 \text{ km}^2$, das nach den geologischen Gegebenheiten abgegrenzt werden kann, so ergeben sich nur noch $4,3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ oder 67 mm (vgl. Kap. 7.4, Kap. 8.2.2 und Anlage 1). Mit $11,0 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ist die A_U -Spende des hydrologischen Winterhalbjahres 1973 im Gebiet 6 - 7 ebenfalls überdurchschnittlich hoch. Auch hier muß E_U größer als E_O sein. Allein aus der Höhe des A_U kann an dieser Stelle aber keine Aussage über die Größe des E_U gemacht werden (vgl. Kap. 7.4.5 und Kap. 8.2.2).

Die beiden Einzugsgebiete 6 - 7 und 8 werden überwiegend von Oberem Muschelkalk (mo) aufgebaut, der durch seine gute Klüftung (möglicherweise auch Verkarstung) hohe A_U -Spenden erwarten läßt. Aus demselben Grund kann auch ein größeres E_U angenommen werden, das durch die zahlreichen Klüfte entsteht, die eine hydraulische Verbindung zu benachbarten mo-Komplexen herstellen. Durch den undurchlässigen Mittleren Muschelkalk (mm) wird das Grundwasser zum Liegenden hin abgesperrt, so daß es nur über den mo abfließen kann.

Wird für das Einzugsgebiet 6 - 7 ein größeres E_U angenommen, so muß das E_U der benachbarten Gebiete 4 und 7 kleiner angesetzt werden (vgl. Tab. 9 in Kap. 7.1 und Abb. 18a, b, c). Die im Winter 1972/73 gemessenen A_U -Spenden steigen daher in 4 von $2,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (34 mm)

auf $2,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (36 mm) und im Gebiet 7 von $1,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (20 mm) auf $1,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (28 mm) an. Sie bleiben aber gegenüber den A_U -Spenden der Gebiete 6 - 7 und 8 zurück, da das Speichervolumen der Einzugsgebiete 4 und 7 geringer anzusetzen ist (vgl. Kap. 7.4). In 4 und 7 steht hauptsächlich Mittlerer- und Unterer Buntsandstein an.

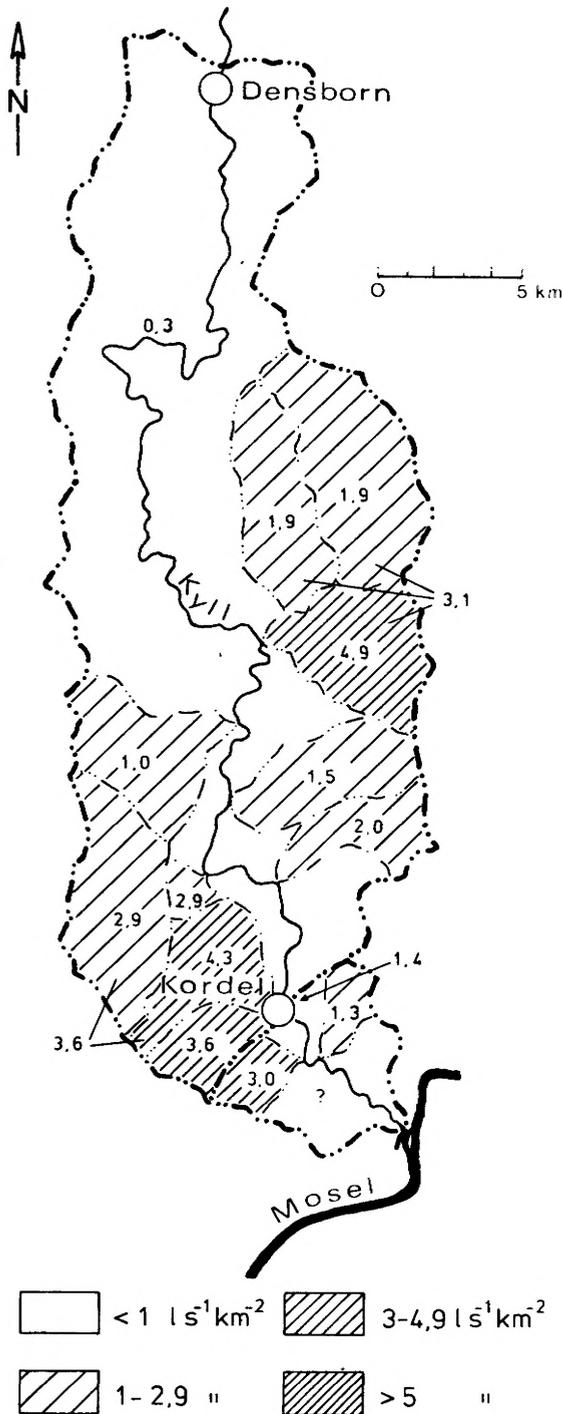


Abb. 17a: A_U -Abflußspenden in $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ des Kyll-einzugsgebietes zwischen Densborn (D) und Kordel (K) für das hydrologische Jahr 1973.

Auch im Gebiet V muß der unterirdische Abfluß überwiegend aus dem Oberen Muschelkalk stammen. Die A_U -Spende ist in diesem Gebiet mit $3,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (54 mm) im Winter 1972/73 daher auch entsprechend hoch (vgl. Abb. 17 b und Tab. 16 in Kap. 8.2.1). Eine relativ hohe A_U -Spende weist auch das Gebiet XI auf. Mit $2,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ bleibt A_U in XI aber hinter A_U des Gebietes V zurück. Als Ursache dafür kann die Tertiärbedeckung angesehen werden, die weite Flächen einnimmt. Große Areale des Einzugsgebietes werden außerdem von Mittlerem- und Unterem Muschelkalk bedeckt. Alle drei Schichtglieder tragen zur Verringerung der Versickerung bei.

Im Gebiet IX, in dem das Tertiär fast die gesamte Hochfläche bedeckt und der Obere Muschelkalk nur in schmalen Hangbereichen ansteht, fällt A_U im Winter 1972/73 auf $1,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ ab. Dieser A_U -Wert kann aber auch entstehen, wenn aus dem Gebiet IX Grundwasser nach Norden in das Nachbargebiet abfließt. Da in diesem Raum keine Meßstellen vorhanden sind, kann diese Möglichkeit aber nicht nachgewiesen werden.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 sind die geringen A_U -Spenden der Gebiete IX und XI ebenfalls auf die Tertiärbedeckung dieser Räume zurückzuführen. Mit $0,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ ist die A_U -Spende in IX am geringsten. Etwa $1,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ fließen in IX und 4 unterirdisch ab (Abb. 17 c und 18 c).

Sehr gering bleibt A_U mit $0,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ auch im Gebiet 7, das dem Gebiet 4 geologisch sehr ähnlich ist (s.o.).

Alle anderen Muschelkalkgebiete (6 - 7, 8 und V) zeigen im Sommer 1973 A_U -Werte (vgl. Tab. 12), die durch den geringeren sommerlichen Grundwasservorrat kleiner ausfallen als im hydrologischen Winterhalbjahr 1973. Sie liegen im Sommer 1973 für 6 - 7 bei $7,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, für 8 bei $13,1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ und für V bei $2,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$.

Durch ein größeres E_U der Gebiete

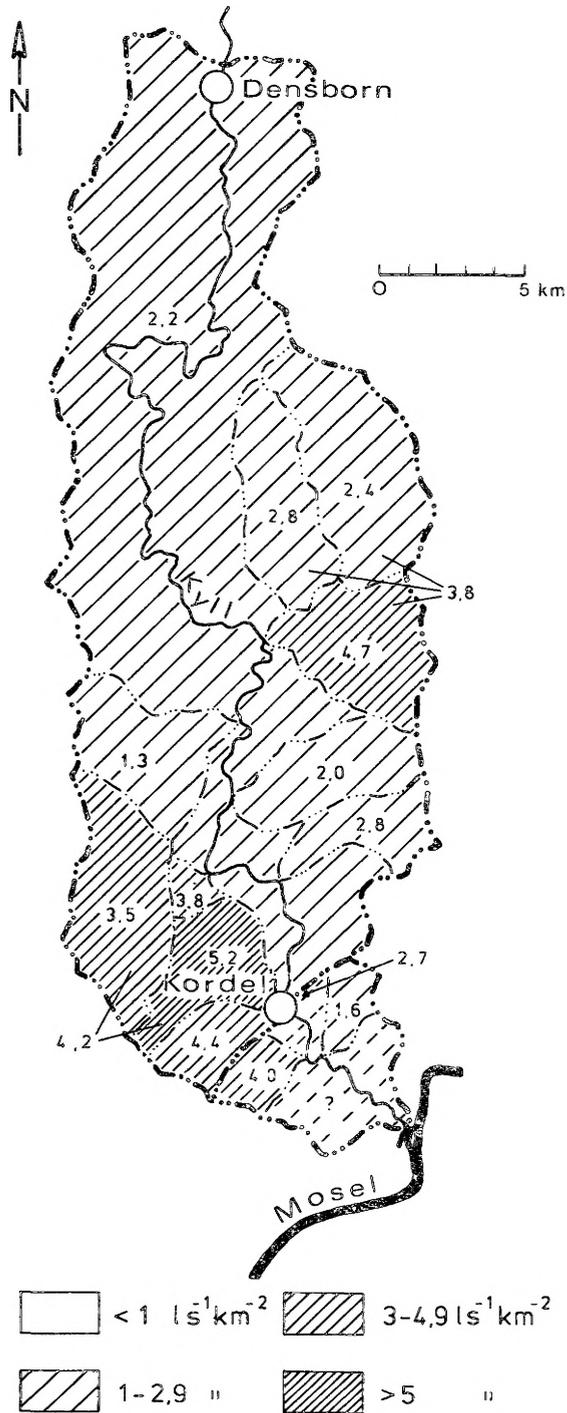


Abb. 17b: A_u-Abflußspenden in $\text{l s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ des Kyll-einzugsgebietes zwischen Densborn (D) und Kordel (K) für das hydrologische Winterhalbjahr 1973.

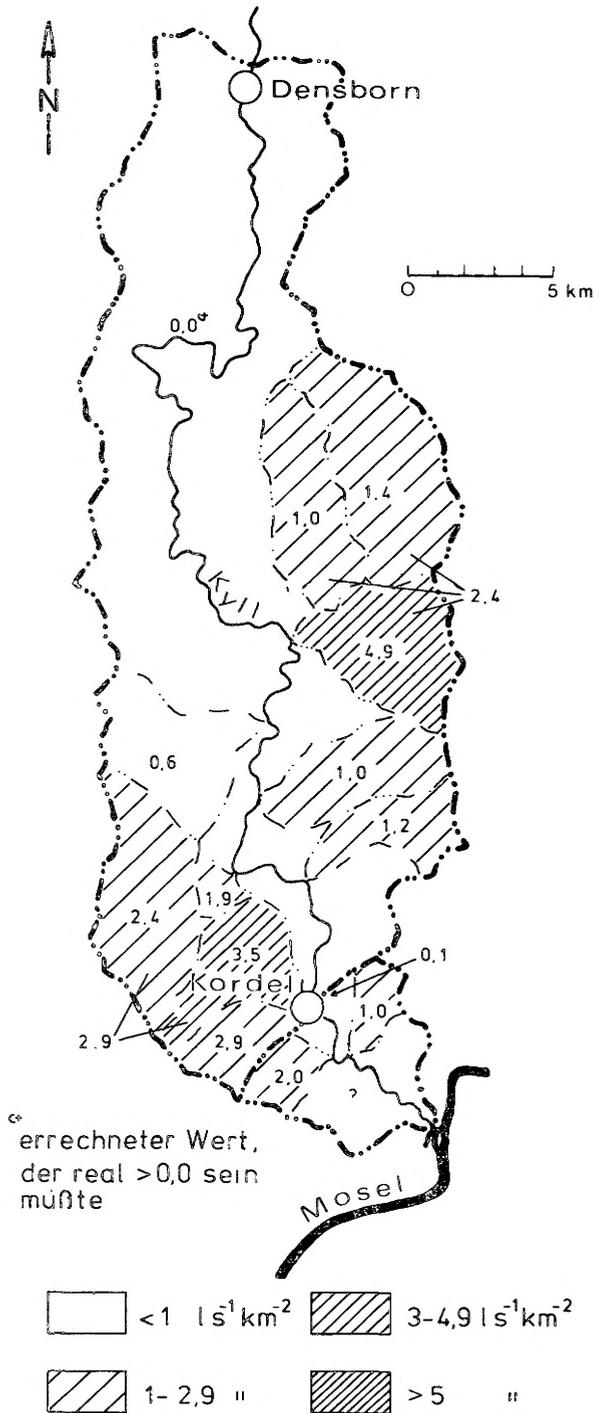


Abb. 17c: A_u-Abflußspenden in $\text{l s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ des Kyll-einzugsgebietes zwischen Densborn (D) und Kordel (K) für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973.

6 - 7 und 8 und der damit verbundenen Verkleinerung des E_U der Gebiete 4 und 7 (s.o.), ändern sich die A_U -Spenden des Sommers 1973. Die neu berechneten A_U -Spenden ergeben für 8 $A_U = 3,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ und für 4 und 7 $A_U = 1,1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. In 6 - 7 kann A_U danach zwischen 4,8 und $1,9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ liegen, da das E_U nicht genau abgegrenzt werden kann (vgl. Tab. 9 in Kap. 7.1, Kap. 8.2.2 und Anlage 1). Der echte A_U -Wert muß dem A_U des Gebietes 8 ähnlich sein, da das Grundwasser der beiden Gebiete überwiegend aus dem Oberen Muschelkalk stammt. Für 6 - 7 müßte A_U daher zwischen 3,0 und $3,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ liegen.

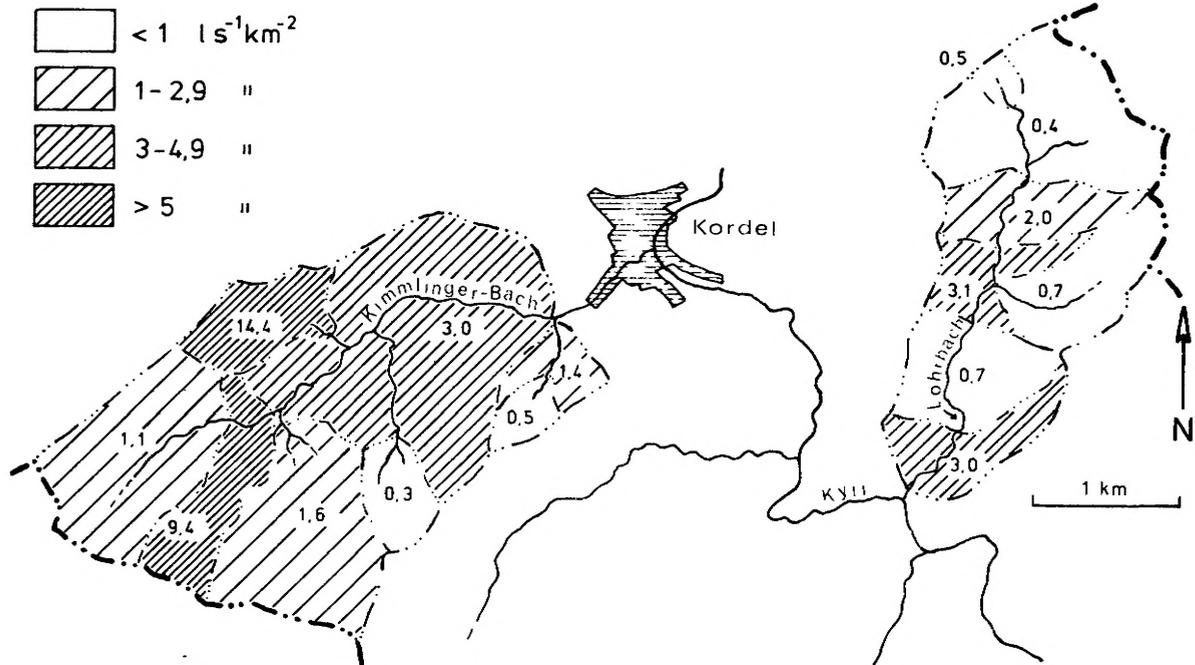


Abb. 18a: A_U -Abflussspenden in $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ in den Einzugsgebieten I und III für das hydrologische Jahr 1973.

7.3.3 Unterirdischer Abfluß in Gebieten mit Buntsandstein, Muschelkalk und Tertiär

Der Quotient, der sich aus der unterirdischen Abflußhöhe des hydrologischen Winterhalbjahres 1973 und der Abflußhöhe des hydrologischen Sommerhalbjahres 1973 errechnet, ist für die Gebiete mit den petrographisch sehr unterschiedlichen Schichten des Buntsandsteins, des Muschelkalks und des Tertiärs nur von geringer Aussagekraft.

Das spezifische A_U -Verhalten der einzelnen Schichtglieder ist in dem gemessenen A_U dieser Gebiete enthalten. Es ergibt sich daher ein Mischwert, der meist schwer zu interpretieren ist. Als Beispiel kann der Kimmlinger Bach (III) angeführt werden. Während in III im Winterhalbjahr 1972/73 die Einzugsgebiete mit Oberem Muschelkalk (nach Korrektur des E_U) hohe A_U -Spenden von 3 - 4 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ liefern (z.B. Gebiet 8), sind die A_U -Werte in Gebieten mit Unterem- und Mittlerem Muschelkalk mit ca. 2 - 3 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (z.B. Gebiet 4) kleiner. Die kleinsten A_U -Spenden ergeben sich mit ca. 1 - 2 $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ in den Buntsandsteingebieten (z.B. Gebiet 1 - 2). Für das Gesamtgebiet III wurde die A_U -Spende mit $4,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ ermittelt, die auch nach der Korrektur des E_U noch $3,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ ergibt. Dieser sogenannte Mischwert liegt im Gebiet III sehr hoch, so daß die in Kap. 7.3.1 angeführte mögliche Grundwasserzufuhr durch diesen Wert bestätigt werden könnte.

Im Winterhalbjahr 1972/73 entstehen ähnliche Mischwerte, wie sie im Gebiet III zu beobachten sind, auch in den Einzugsbereichen 3, II, IV - V, VI, VII, VIII, XII, X - XI - XII und in D - K ohne (II bis XII) (vgl. Tab. 12, Abb. 17 b und 18 b).

Die A_U -Spenden liegen zwischen $5,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ in IV - V und $0,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ in 3.

Einzugsgebiet Nr.	A_u 1973 mm	A_u % von N_m	A_u Wi mm	A_u % von N_m	A_u So mm	A_u % von N_m
I	41	7	24	11	17	5
9	34	6	18	8	16	4
I - 9	95	16	70	28	25	7
10	36	6	19	8	17	5
9 - 10	22	4	14	6	8	2
11	21	4	10	5	11	3
12	28	5	16	8	12	3
10 - 11 - 12	99	17	51	23	48	14
10 - 12	51	9	26	12	25	7
13	14	2	8	4	6	2
12 - 13	63	11	35	16	28	8
14	16	3	12	5	4	1
13 - 14	14	2	7	3	7	2
II	95	15	63	25	32	9
III	115	18	69	28	46	12
1	34	6	20	8	14	4
2	17	3	10	4	7	2
1 - 2	44	7	25	10	19	5
3	6	1	4	2	2	0,4
4	49	7	34	14	15	4
6	110	17	64	26	46	11
7	33	5	20	8	13	3
6 - 7	296	46	172	70	124	31
8	455	70	248	102	207	51
III - (3 bis 8)	96	15	62	26	34	9
IV	112	19	66	25	46	13
V	93	16	54	20	39	12
IV - V	137	23	82	33	55	16
VI	62	10	43	17	19	5
VII	90	16	60	24	30	9
VIII	48	8	32	13	16	5
IX	30	5	20	8	10	3
X	97	20	59	27	38	14
XI	60	12	44	19	16	6
XII	59	12	37	17	22	8
X - XI - XII	157	31	74	34	78	27
D - K ohne (III bis XII)	13	2	34	13	--	--
D - K	45	8	43	18	2	0,6
D - E	45	8	42	18	3	1

Tab. 12: Unterirdischer Abfluß A_u in mm und % von N_m im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn (D) und Kordel (K) bzw. Ehrang (E) für das hydrologische Jahr 1973 sowie für das hydrologische Winter (Wi)- und Sommerhalbjahr (So).

Die sehr kleine A_u -Spende in 3 erklärt sich aus der Tatsache, daß der Untere Muschelkalk als Speichergestein hier nur sehr geringmächtig mit geringem Speichervolumen über dem Oberen Buntsandstein erhalten ist und ein erheblicher N - Anteil im Oberen Buntsandstein

versickert, der nicht als A_u an der Meßstelle 3 registriert wird (vgl. Kap. 7.3.1).

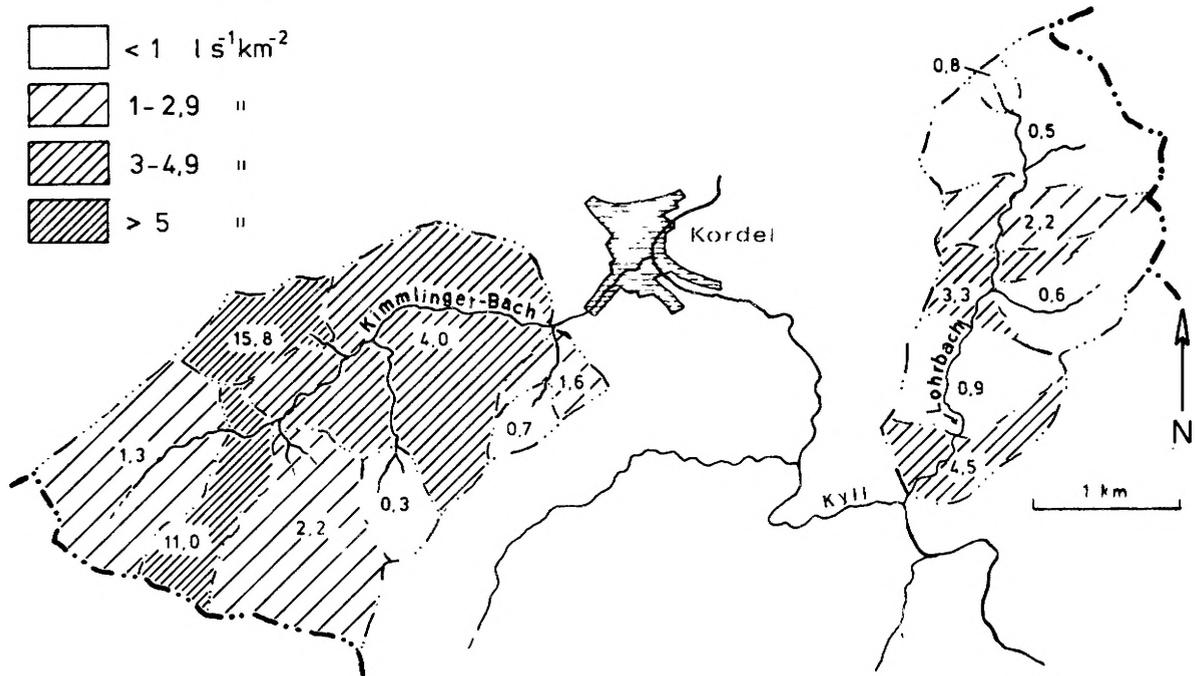


Abb. 18 b: A_u -Abflußspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ in den Einzugsgebieten I und III für das hydrologische Winterhalbjahr 1973.

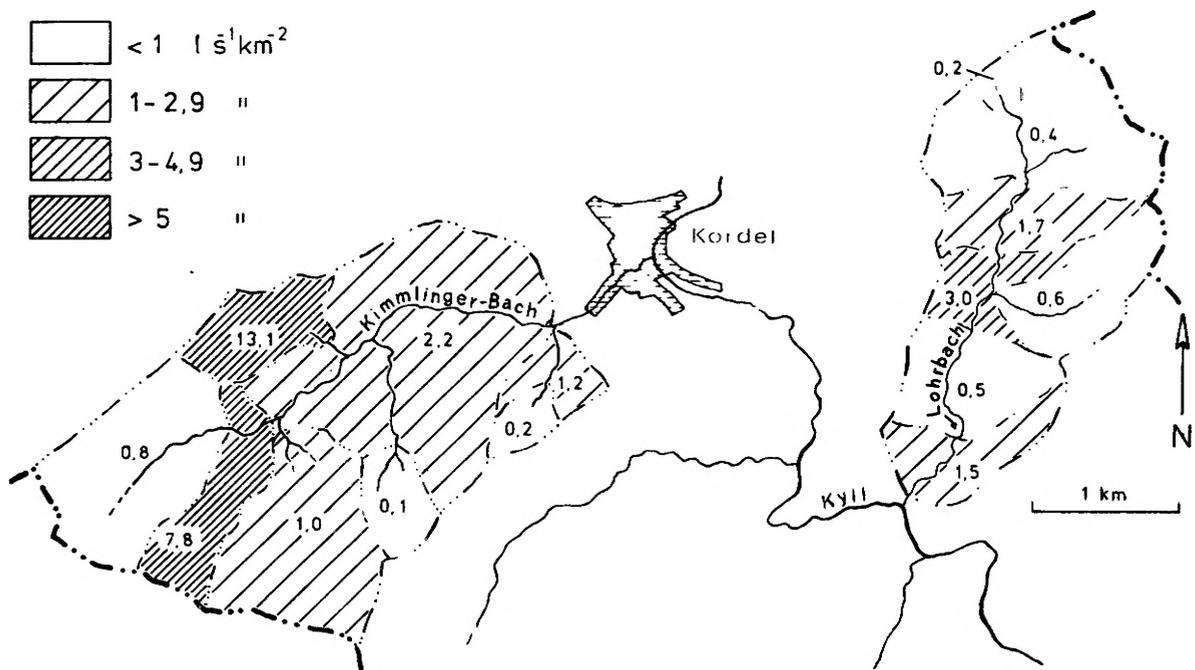


Abb. 18 c: A_u -Abflußspenden in $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ in den Einzugsgebieten I und III für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973.

In den Teilgebieten VI, VIII, XII und D - K ohne (III bis XII) stellt sich im Winter 1972/73 eine A_u -Spende von 2 - 3 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ein (Abb. 17 b). Nach den oben angeführten Ergebnissen könnte der Obere Muschelkalk diesen Wert im Gebiet XII und in D - K ohne (III bis XII) verursachen.

In VI und VIII hat der gesamte Muschelkalk nur einen Flächenanteil von ca. 10 % und der Obere Muschelkalk fehlt, so daß A_u nur vom Unteren Muschelkalk beeinflußt werden kann. In einigen Bereichen wird der Buntsandstein außerdem von tertiären Deckschichten überlagert. Für die Entstehung der A_u -Spenden von $2,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ in VI und $2,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ in VIII im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 ist eine vermutlich geringe (nicht genau nachweisbar) Grundwasserzufuhr aus dem Raum östlich des Kylleinzugsgebietes anzunehmen. Die A_u -Werte liegen daher geringfügig höher als in Gebieten, in denen nur Buntsandstein ansteht.

Eine Zufuhr von Grundwasser ist auch für das Gebiet X - XI - XII wahrscheinlich. Die A_u -Spende von $4,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ des zum größten Teil von Buntsandstein aufgebauten Gebietes wird wahrscheinlich, wenn Grundwasser aus dem Buntsandstein der nördlich angrenzenden Gebiete XI und XII hinzutritt (vgl. Kap. 7.3.1 und Kap. 8.2.1).

Auch dem Gebiet IV - V und dem Einzugsgebiet II muß Grundwasser zuströmen, hier aber aus westlicher Richtung, so daß die A_u -Spenden im Winter 1972/73 in IV - V $5,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ und in II $4,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ erreicht. Im Kap. 7.3.1 ist bereits auf derartige Vorgänge im Gebiet III - (3 bis 8) hingewiesen worden, die A_u dort auf $4,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ ansteigen lassen.

Die A_u -Spende von $3,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ im Einzugsbereich VII ist möglicherweise auch durch von Westen zuströmendes Grundwasser erhöht, das hier im Buntsandstein austritt. Ein A_u dieser Größenordnung kann aber auch durch den im Gebiet VII anstehenden Oberen Muschelkalk erreicht werden.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 (Tab. 12, Abb. 17 c und 18 c) ist die Situation gegenüber dem Winterhalbjahr im wesentlichen unverändert. In den meisten Gebieten ist der unterirdische Abfluß im Sommer allerdings etwa 1/3 geringer als im hydrologischen Winterhalbjahr.

Die A_u -Spende ist nur in X - XI - XII mit $4,9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ im Sommer 1973 etwas größer als im Winter, während in D - K ohne (III bis XII) im Sommer kein A_u zustande kommt. Beide Erscheinungen dürften auf die subjektive A_0 - A_u -Abtrennung zurückzuführen sein. Da bei der Berechnung des A_u der beiden Gebiete mit Fehlern behaftete A_u -Werte verschiedener Gebiete eingehen, fällt A_u für X - XI - XII zu groß und für das nördliche Restgebiet D - K ohne (III bis XII) zu klein aus.

7.4 Trockenwetterabfluß

In der, auf ein Niederschlagsereignis folgenden Trockenwetterperiode verringert sich die Schüttung einer Quelle oder der Gesamtabfluß A_g eines Baches oder Flusses annähernd exponentiell nach der Gleichung:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (1)$$

Q_t = Abflußmenge (l/s) nach der Zeit t (Tage) nach Beginn einer Trockenwetterperiode.

Q_0 = Abflußmenge (l/s) zu Beginn der Meßreihe in einer Trockenwetterperiode ($t = 0$ Tage = $Q_t = 0$).

e = Konstante (natürliche Zahl) = 2,71828.

α = Spezifische Konstante (s^{-1}) des Einzugsgebietes bzw. des auslaufenden Aquifers (Quellkoeffizient).

t = Zeit (Tage), in der sich die Abflußmenge Q_0 auf Q_t verringert.

Die oben genannte einfache e -Funktion wird bereits um die Jahrhundertwende von MAILLET (1904) und anderen Autoren zur Beschreibung des Abflußrückganges benutzt (vgl. dazu z.B. WEYER, 1972).

Der Koeffizient α , in der Exponentialgleichung, kann errechnet werden. Die Gleichung lautet dann:

$$\alpha = \frac{\ln \frac{Q_0}{Q_t}}{t \cdot 8,64 \cdot 10^4} \quad [s^{-1}] \quad (2)$$

Ob überhaupt eine einfache e-Funktion vorliegt, die der oben genannten Gleichung (1) entspricht, muß zuvor festgestellt werden. Dazu bietet sich ein graphisches Verfahren an, bei dem die Abflußmengen (l/s) einer Trockenwetterperiode logarithmisch und die Auslaufzeit normal (linear) aufgetragen wird. Liegt eine einfache e-Funktion vor, so bildet der Graph auf dem halblogarithmischen Papier eine Gerade.

In kleinen Einzugsgebieten wird diese Auslaufkurve sehr schnell in eine Gerade übergehen, während sich in großen Gebieten, durch die längeren Fließwege, unterschiedliche Abflußanteile (z.B. oberirdischer Abfluß und Grundwasserabfluß) überlagern und eine kompliziertere e-Funktion ergeben. Damit ist bereits angedeutet, daß aus einer Auslaufkurve nur eine Gerade wird, wenn bestimmte hydraulische Bedingungen erfüllt sind.

In 6 bis 8 Tagen nach einem Niederschlagsereignis kann in kleinen Gebieten (hier bis 4 km²) der Trockenwetterabfluß dem Grundwasserabfluß A_u gleichgesetzt werden. Stammt A_u aus einem geologisch relativ homogenen Aquifer, so sind die oben angeführten Voraussetzungen gegeben und A_u wird zu einer Geraden (siehe Abb. 19).

Aus der Abflußganglinie können, nachdem die A_u-Gerade um Δt (bis zum Zeitpunkt t = 0) nach links verlängert wurde, Q₀ und Q_t ermittelt werden. Der α-Wert für den entsprechenden Zeitraum wird dann nach der obigen Gleichung für A_u errechnet (Tab. 13).

In dem gekrümmten Kurventeil zu Beginn der Trockenwetterperiode sind weitere Abflußanteile enthalten (daher keine Gerade) wie Oberflächenabfluß und Bodenabfluß. Durch Subtraktion des A_u-Anteiles (Gerade) von dem Gesamtabfluß (Kurve) können neue Abflußwerte errechnet werden, die eine neue Abflußkurve ergeben. Aus der neu konstruierten Abflußkurve läßt sich oft wiederum ein Abflußanteil als Gerade abtrennen, für den ebenfalls ein α-Wert ermittelt werden kann.

Auf diese Weise ergeben sich mehrere α-Werte, die verschiedenen Abflußanteilen zuzuordnen sind. Die Zuordnung, ob es sich z.B. um Oberflächenabfluß oder um Bodenabfluß handelt, soll hier aber nicht weiter untersucht werden.

Nur α-Werte, die den grundwasserbürtigen Anteil (A_u) des Gesamtabflusses beschreiben, sollen hier behandelt werden.

Nach G. CASTANY (1967) ist der Koeffizient α :

1. Direkt proportional der wirksamen Infiltration.
2. Umgekehrt proportional der Höhe des Aquifers.
3. Eine Funktion der Größe des Aquifers (bei gleichem Q₀ zeigt ein kleiner α-Wert eine große, und ein großer α-Wert eine kleine Grundwasserreserve an).
4. Eine direkte Funktion der Permeabilität.

Mit Hilfe von α kann außerdem die sogenannte Halbwertszeit t' ermittelt werden. Sie gibt die Zeit an, in der ein Aquifer die Hälfte seiner auslauffähigen Grundwasserreserve an den Vorfluter abgibt (Tab. 13):

$$t' = \frac{\ln 2}{\alpha} \quad [s] \quad (3)$$

Auch die gesamte Menge (M), die von einem beliebigen Zeitpunkt an dem Trockenwetterabfluß zur Verfügung steht (hier nur A_u-Anteil), kann durch Grenzwertbildung von t gegen unendlich mit dem α-Wert nach der Gleichung

$$M = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (4)$$

errechnet werden (vgl. Tab. 13).

Der α-Wert, die Halbwertszeit t' und die Grundwasserreserve M ändern sich im Lauf der Zeit. Um diese gebietsspezifischen Größen regional vergleichen zu können, müssen die Werte für den gleichen Zeitpunkt bestimmt werden.

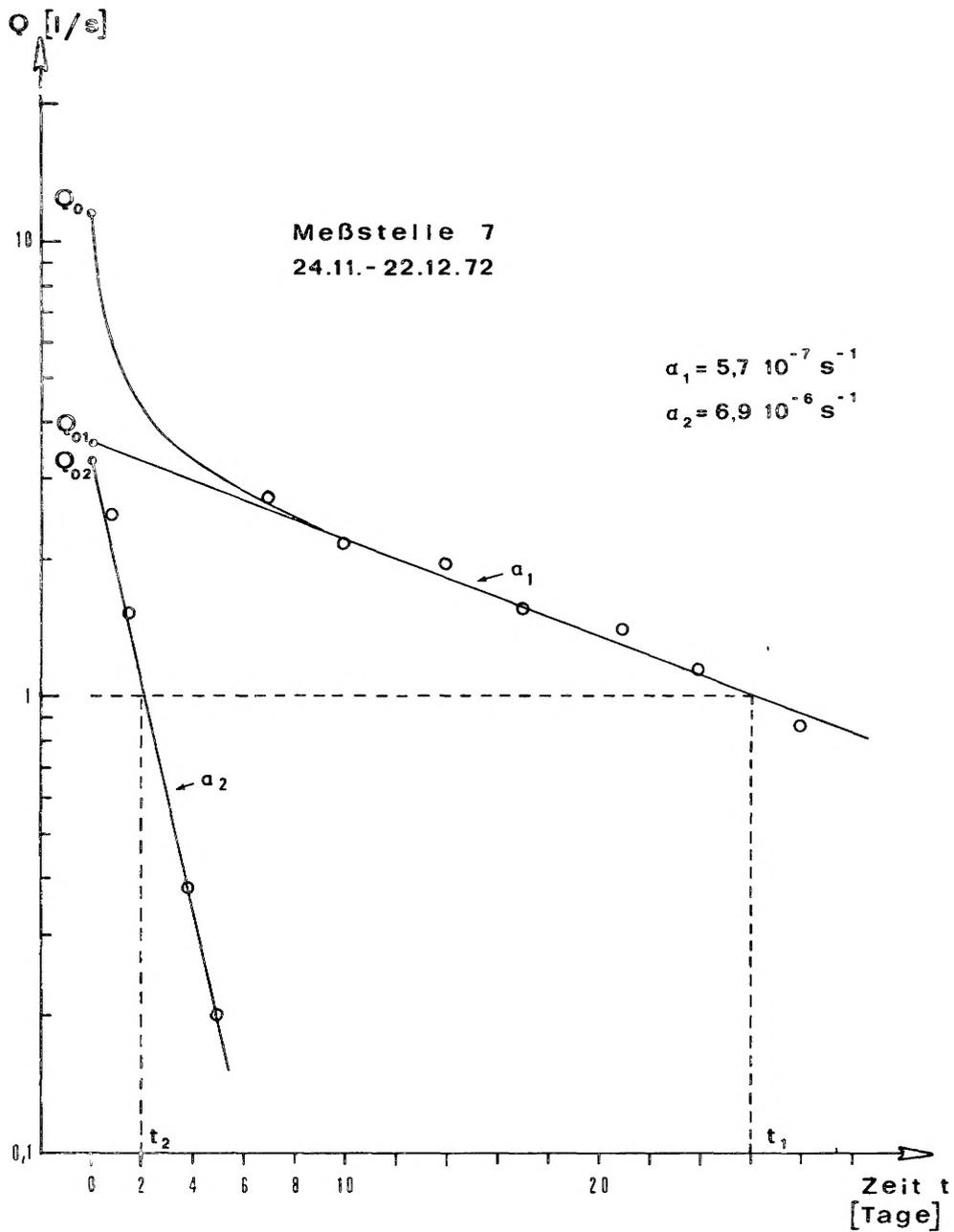


Abb. 19: Beispiel für Trockenwetterabfluß und α -Wert-Bestimmung.

Für die Teileinzugsgebiete im Lohrbach (I) und im Kimmlinger Bach (III), auf die hier näher eingegangen werden soll, eignet sich für diesen Vergleich z.B. der 24.11.1972 (Tab. 13 u. Abb. 20). Zu diesem Zeitpunkt sind die oben genannten hydraulischen Bedingungen in den Teileinzugsgebieten weitgehend erfüllt. Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 wird der Trockenwetterabfluß meist schon nach kurzer Zeit durch neu einsetzende Niederschläge gestört. Trotz dieser Störungen wurde versucht, im Sommer 1973 α -Werte zu ermitteln.

Um die jahreszeitliche Abhängigkeit von α zu überprüfen, wurden auch α -Werte des Zeitraumes September/Oktober 1972 herangezogen (Tab. 13).

Die Auswertung der Trockenwetterauslaufkurven kann hier nur Hinweise geben und als Interpretationshilfe dienen. Um die Aussagekraft der α -Werte zu erhöhen, ist ein längerer Beobachtungszeitraum notwendig. Nur dann können z.B. Störungen durch Niederschläge elimi-

niert werden und eine reproduzierbare Trockenwetterlinie aus verschiedenen Abschnitten der Ganglinie konstruiert werden.

Trotz der oben genannten Schwierigkeiten können zwei Typen von α -Werten unterschieden werden. Der 1. Typ umfaßt α -Werte für Gebiete, in denen sich α im Laufe der Zeit nicht oder nur geringfügig ändert. Der 2. Typ zeigt α -Werte, die sich mit den Jahreszeiten ändern.

7.4.1 Von jahreszeitlichen Schwankungen unabhängiger Trockenwetterabfluß

Ein α -Wert des 1. Typs wurde für die Meßgebiete 9, 10, 9 - 10 und III ermittelt. Die Meßgebiete 10, 9 - 10 liegen innerhalb des Gebietes 9, so daß α an der Meßstelle 9 einen Mischwert dieser Zwischeneinzugsgebiete darstellt. Das Meßgebiet 9 umfaßt außerdem die Meßstellen 11 - 14 und deren Zwischeneinzugsgebiete (siehe Kap. 7.4.2 und Abb. 9 in Kap. 5.2). Die über die Zeit relativ konstant bleibenden α -Werte können für 9, 10 und 9 - 10 auf einen Aquifer (Buntsandstein, überwiegend sm) zurückgeführt werden, dessen Infiltration (Versickerung I_u), Auffüllungsgrad (Höhe des Aquifers) und Durchlässigkeit zu den untersuchten Jahreszeiten ebenfalls gleich oder sehr ähnlich zu sein scheint.

Auch die α -Werte des Meßgebietes III für November - Dezember 1972 und Juli - September 1973 weichen kaum voneinander ab (Tab. 13). Die Konstanz von α wird hier ebenfalls hauptsächlich durch den Buntsandstein verursacht, der im Mittel- und Unterlauf des Kimmlinger Baches angeschnitten wird. Dieser Raum ist jedoch nicht durch weitere Teileinzugsgebiete abgedeckt. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, daß das unterirdische Einzugsgebiet des Buntsandsteines über die Einzugsgebietsgrenze hinwegreicht und dem Gebiet III gleichmäßig Grundwasser aus Fremdgebieten zufließt (vgl. Kap. 8.2.1). Die Konstanz von α könnte auf diese Weise erklärt werden. Ein Hinweis auf diese Tatsache gibt der errechnete abflußfähige Trockenwetterabfluß (Grundwasserreserve M), der besonders hoch liegt (vgl. Kap. 7.4.3). Für das gesamte Lohrbachgebiet (I) können ebenfalls zeitlich relativ konstante α -Werte angenommen werden. Aus den Daten des Zeitraumes September - Dezember 1972 konnten bei der Auswertung keine α -Werte ermittelt werden, da die durch Störungen beeinflussten Abflußmeßdaten dies nicht zuließen.

7.4.2 Von jahreszeitlichen Schwankungen abhängiger Trockenwetterabfluß

Zu diesem Typ zählen alle hochgelegenen Einzugsgebiete des Lohrbaches (I). Im Bachgebiet I sind dies die Einzugsgebiete 11, 13, 14 und 13 - 14 (Tab. 13).

Auch die Gebiete 1, 2, 1 - 2, 3 und 4 (in III), für die keine eindeutigen α -Werte bestimmt werden könnten, gehören wahrscheinlich in diese Gruppe.

Unterschiedliche α -Werte entstehen in den oben genannten Einzugsbereichen durch den variierenden Auffüllungsgrad des Aquifers (vgl. Kap. 7.4). Gegenüber dem Zeitraum November - Dezember 1972 ist im Juli - September 1973 α kleiner und ein höherer Auffüllungsgrad feststellbar, der sich in einem größeren M dokumentiert. Die im hydrologischen Winterhalbjahr versickerten Niederschläge haben zu dieser Grundwasseraufhöhung beigetragen (vgl. Kap. 8.2).

7.4.3 Quellkoeffizient α , Abfluß Q_0 und Grundwasserreserve M

Wie bereits oben angedeutet, ist ein Vergleich von α mit Q_0 (hier A_u -Schüttung zur Zeit 0) und M (abflußfähige Menge = Menge des A_u) nur möglich, wenn alle Daten für ein Vergleichsdatum zur Verfügung stehen.

Als geeignetes Datum wurde der 24.11.1972 gewählt. Für diesen Tag sind in Abb. 20, in Anlehnung an eine Darstellung von WEYER (1972), neben den logarithmisch aufgetragenen α -Werten, die Zusammenhänge von α mit Q_0 und M (beide ebenfalls logarithmisch aufgetragen) graphisch zusammengestellt.

Auf der linken Ordinate erscheint in Abb. 20 Q_0 in $l\ s^{-1}$ und auf der rechten Ordinate

M in $l \cdot 10^6$.

Die α -Werte in s^{-1} auf der Abszisse werden von links nach rechts kleiner. Der Abfluß Q_0 wird durch einen waagerechten Strich und die Menge M als Punkt über dem dazugehörigen α -Wert dargestellt.

Durch eine Senkrechte werden Q_0 und M zu einem Zeichen verbunden, dessen Länge nach Gleichung (4) von links nach rechts, über fallende α -Werte, zunimmt. Dabei entspricht der Abstand zwischen der Abszisse und der Diagonalen in Abb. 20 dem Abstand $M - Q_0$.

Deutlich zu unterscheiden sind in Abb. 20 zwei Gruppen von α -Werten. In die erste Gruppe fallen α -Werte zwischen $2 \cdot 10^{-7}$ und $1 \cdot 10^{-6} s^{-1}$, während in der zweiten Gruppe α kleiner als $2 \cdot 10^{-7} s^{-1}$ ist.

7.4.4 Q_0 und M bei großen α -Werten (Gruppe 1):

Mit $6,63 \cdot 10^{-6} s^{-1}$ ist in dieser Gruppe α im Gebiet 3 am größten. Der im Einzugsgebiet 3 anstehende Obere Buntsandstein (nur so_2) wird auf ca. 3/4 der Fläche von Unterem Muschelkalk (μ) überlagert. Die Durchlässigkeit des μ muß gering angesetzt werden und macht sich auch in dem relativ hohen oberirdischen Abfluß (vgl. Kap. 7.2.3 und Abb. 16 b) dieses relativ flachen Einzugsgebietes bemerkbar. Das nutzbare Hohlraumvolumen des μ muß daher auch klein angesetzt werden. Nur der Obere Buntsandstein (hier so_2), dessen räumliche Ausdehnung bei einer Mächtigkeit von 20 m sehr begrenzt ist, steht demnach als Aquifer zur Verfügung. Die errechnete Grundwasserreserve von nur $M = 0,15 \cdot 10^6 l$ kann als Bestätigung dieses Sachverhaltes angesehen werden.

Aus dem M-Wert und dem Volumen des Aquifers, das als Keil bzw. als Trapezoid berechnet wird, ergibt sich der mit Wasser erfüllte Hohlraum des Gesteinskörpers. Da M die Menge des frei auslaufenden Grundwassers darstellt, umfaßt das errechnete Hohlraumvolumen sowohl das nutzbare Porenvolumen als auch das nutzbare Kluftvolumen.

Das für den so_2 zusammen mit dem μ errechnete Hohlraumvolumen ergibt 1,2 %. Nimmt man jedoch an, daß nur der so_2 als Speicher fungiert, so errechnet sich ein nutzbares Hohlraumvolumen von 4,5 %. Der wahre Wert dürfte bei ca. 3 - 4 % liegen.

In dem hohen α -Wert dokumentiert sich auch eine gute Infiltration (vgl. Kap. 8.2.2 und Tab. 15) in den so_2 und eine gute Permeabilität des Buntsandsteins. Durch den μ ist die Infiltration in den so_2 wahrscheinlich auf den Bereich beschränkt, in dem der so_2 ansteht. Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß Niederschläge außerdem in dem μ -Bereich versickern, in dem der μ den so_2 nur geringmächtig überdeckt. Etwa in der Hälfte des Einzugsgebietes 3 ist dieser Fall denkbar, da hier μ und so_2 fast parallel zum Hang einfallen und der μ stark erodiert ist.

In die Gruppe 1 gehören auch die Meßgebiete 1, 2, 1 - 2, 4 und 7 des Kimmlinger Baches (III) und die Meßgebiete 11, 13 und 13 - 14 des Lohrbaches (I).

Alle Gebiete liegen im Oberlauf bzw. in hoch gelegenen Teilen des jeweiligen Bachgebietes. Sie ähneln sich daher in ihrem Abflußverhalten, dessen unterirdischer Abflußanteil durch eine größere Auflockerung und Entspannung des Gebirges in diesen Teilgebieten geprägt wird.

Innerhalb der 1. Gruppe lassen sich zwei Untergruppen unterscheiden.

In die 1. Untergruppe können alle Meßgebiete gestellt werden, in denen überwiegend oder ausschließlich Muschelkalk ansteht, wie die Gebiete 4 und 7.

Die 2. Untergruppe umfaßt alle anderen Gebiete der 1. Gruppe, in denen der Buntsandstein überwiegt (z.B. im Gebiet 3) oder in denen nur Buntsandstein zu finden ist.

Bei ähnlichen α -Werten zwischen $2,6 \cdot 10^{-7}$ und $6,6 \cdot 10^{-7} s^{-1}$ unterscheiden sich die beiden Untergruppen nur in ihren Q_0 - und M-Werten.

Während in den Muschelkalkgebieten (1. Untergruppe) Q_0 im Gebiet 4 bei $3,6 l s^{-1}$ und in 7 bei $1,5 l s^{-1}$ und M bei $9,9 \cdot 10^6 l$ bzw. $2,6 \cdot 10^6 l$ liegt (Abb. 20), ist in den Buntsandsteingebieten (2. Untergruppe) Q_0 und M kleiner als in der 1. Untergruppe. Q_0 reicht von $0,1 l/s$ bis $0,75 l/s$ und M nur von $0,15 \cdot 10^6$ bis $1,6 \cdot 10^6 l$.

1. U n t e r g r u p p e :

Der Größenunterschied der Q_0 - und M-Werte zwischen den beiden Untergruppen kann für das Gebiet 7 auf das höhere Kluftvolumen des Oberen Muschelkalkes (mo) zurückgeführt werden. In 7 stehen aber ebenfalls Unterer Muschelkalk (mu) und Mittlerer Muschelkalk (mm) an. Sowohl das Kluftvolumen, als auch das nutzbare Porenvolumen ist aber gegenüber dem mo kleiner anzusetzen, da in mu und mm tonige und mergelige Partien überwiegen.

Bis auf wenige 100 m^2 Buntsandstein (so_2) und mo steht im Gebiet 4 nur mu und mm an. Die erhöhten Q_0 - und M-Werte, die allerdings kleiner als in 7 sind, können daher weder aus dem mo (wie im Gebiet 7), noch aus dem mu und mm stammen. Als geeignetes Speichergestein muß überwiegend der so_2 angesehen werden. Die Vermutung liegt nahe, daß Q_0 und M durch ein gegenüber dem oberirdischen Einzugsgebiet (E_0) vergrößertes unterirdisches Einzugsgebiet (E_u) höher ausfallen. E_u reicht möglicherweise nach Süden und Südosten in das E_0 des Butzweiler Baches hinein. Auch über größere Störungen könnte eine Grundwasserzufuhr von Südosten erfolgen.

Das aus M und dem mit Grundwasser erfüllten Gesteinsvolumen errechnete Hohlraumvolumen beträgt in dem Gebiet 4 ca. 10 % und in 7 ca. 4 %. Dabei liegt der Wert für das Gebiet 4 zu hoch. Der wahre Wert muß niedriger liegen. Er kann auf ca. 3 - 4 % geschätzt werden, wenn ein größeres E_u des Gebietes 4 angenommen wird.

2. U n t e r g r u p p e :

In den Gebieten der 2. Untergruppe (1, 2, 1 - 2, 3, 11, 13 und 13 - 14) ergeben sich nutzbare Hohlraumvolumina zwischen 1,2 und ca. 5 %, die auf lokal unterschiedlichen Kluft- und Porenhohlräumen des Buntsandsteins beruhen.

Die geringen Hohlraumvolumina der Gebiete 1, 1 - 2, 11, 13 und 13 - 14 ergeben sich vermutlich durch den sm_5 (vgl. Kap. 3.3.1.5). Diese oberste Stufe des Mittleren Buntsandsteins weist fast ausschließlich Kleinklüftung auf (vgl. Kap. 4.2.1), durch die sich nur geringe vertikale Reichweiten ergeben. In den meist feinkörnigen, dichten Sandsteinen sind die Klüfte zudem kaum geöffnet.

Im Teilgebiet 2, in dem neben mu und so_1 überwiegend so_2 ansteht, ergibt sich ein nutzbares Hohlraumvolumen von ca. 5 %. Tritt jedoch sm_5 hinzu, wie im Zwischeneinzugsgebiet 1 - 2, so ist das errechnete Hohlraumvolumen nur noch 2 %. Für das Gesamtgebiet 1 (1 - 2 und 2) muß sich ein Mischwert ergeben, der bei der Berechnung auch 2,5 % ergibt.

Ähnliche Einflüsse des sm_5 sind im Gebiet 11 und im Zwischeneinzugsgebiet 13 - 14 festzustellen, in denen die Hohlraumvolumina 2 - 4 % betragen.

7.4.5 Q_0 und M bei kleinen α -Werten (Gruppe 2)

In die 2. Gruppe mit α -Werten, die kleiner als $2 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ sind, gehören die Gebiete 6, 6 - 7, 8, 9, 10, 9 - 10 und III. Auch das gesamte Lohrbachgebiet (Meßstelle I) muß an diese Gruppe gestellt werden. Die Meßergebnisse der Meßstelle I ließen jedoch keine eindeutige Bestimmung von α , Q_0 und M zu.

Deutlich lassen sich auch in dieser 2. Gruppe zwei Untergruppen unterscheiden.

1. U n t e r g r u p p e :

In diese Untergruppe gehören, wie im vorhergehenden Kapitel, alle Gebiete mit überwiegend Muschelkalkeinfluß.

In den Einzugsgebieten 6, 6 - 7 und 8 steht neben mu und mm in weiten Arealen mo an. Mit dem hohen mo-Anteil steigen in dieser Untergruppe auch die Q_0 - und M-Werte. Während in dieser Untergruppe im letzten Kapitel nur Teilbereiche von mo eingenommen werden und Q und M relativ klein bleiben, erreichen Q_0 und M in den Gebieten 6, 6 - 7 und 8 die höchsten Werte aller Einzugsgebiete.

Die Q_0 -Werte der Meßstellen 6, 6 - 7 und 8 liegen zwischen 8 und 10 l s^{-1} . Die Grundwasserreserven schwanken zwischen $75 \cdot 10^6 \text{ l}$ und $150 \cdot 10^6 \text{ l}$. Der Einfluß dieser drei Meßgebiete auf das Gesamtgebiet III ist sehr groß. Q_0 steigt daher auf 22 l s^{-1} und M steigt auf $391,5 \cdot 10^6 \text{ l an}$.

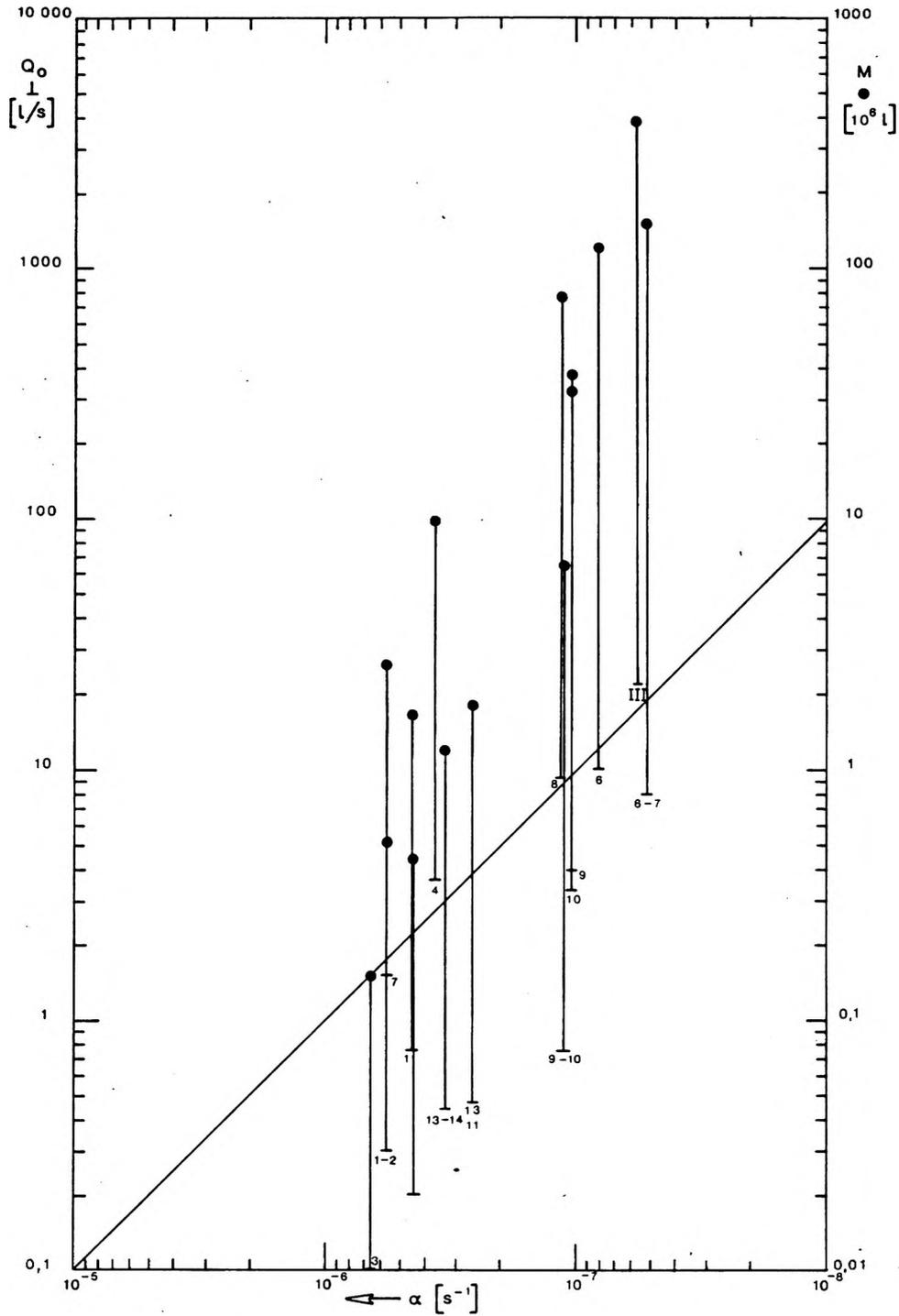


Abb. 20: Vergleich von Q_0 , α und M vom 24.11.1977 für die Einzugsgebiete des Lohrbachs (9-14) und des Kimmlinger Baches (III, 1 - 8).
 Q_0 = gemessener Abfluß, M = abflußfähige Grundwassermenge (vgl. Kap. 7.4).

Aus der Differenz zwischen der Grundwasserreserve des Gesamtgebietes III und den M-Werten der Teilgebiete (3 bis 8) errechnet sich ein M von $180,2 \cdot 10^6$ l für das Restgebiet III - (3 bis 8), dessen Abfluß nicht durch Meßstellen ermittelt werden konnte.

Verfährt man mit den Q_0 -Werten in gleicher Weise, wie mit den M-Werten, so ergibt sich eine negative Differenz, da die Summe der Q_0 -Werte der Teilgebiete mit ca. 24 l s^{-1} größer ist als das gemessene Q_0 des Gesamtgebietes III von 22 l s^{-1} . Nimmt man einen Meßfehler von $\pm 10 \%$ an, so ergibt sich für das Restgebiet ein sehr kleines Q_0 von $3 - 4 \text{ l s}^{-1}$. Bei einem angenommenen $Q_0 = 4 \text{ l s}^{-1}$ wird $\alpha = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$. Der sehr geringe Wert könnte für den Abfluß aus den tief gelegenen Buntsandsteinbereichen charakteristisch sein, die in dem Restgebiet III - (3 bis 8) anstehen. Da der oben angegebene M-Wert für den Buntsandstein aber zu hoch erscheint, kann die große Grundwasserreserve ($180,2 \cdot 10^6$ l) nur aus einem erweiterten unterirdischen Einzugsgebiet stammen (vgl. Kap. 8.2.1).

Die aus M und dem wassererfüllten Gesteinskörper berechneten Hohlraumvolumina liegen für die Muschelkalkgebiete (6, 6 - 7 und 8) zwischen 40 und 59 %. Diese Werte müssen als unrealistisch hoch angesehen werden. Um realistische Volumina zu erhalten, kann nur ein größeres unterirdisches Einzugsgebiet E_U angenommen werden.

Meßstelle Nr.	Sept. - Okt. 1972		Nov. - Dez. 1972		Juli - Sept. 1973	
	$\alpha \cdot 10^{-7}$ [s ⁻¹]	M 10^6 [l]	$\alpha \cdot 10^{-7}$ [s ⁻¹]	M 10^6 [l]	$\alpha \cdot 10^{-7}$ [s ⁻¹]	M 10^6 [l]
I	-	-	-	-	1,05	32,5
9	0,62	51,8	1,03	37,4	0,79	38,6
10	-	-	1,03	32,9	1,08	25,9
9-10	-	-	1,11	6,55	0,81	5,7
11	-	-	1,33	2,5	0,56	6,3
13	-	-	2,61	1,8	0,99	3,5
14	5,5	0,07	-	-	-	-
13-14	-	-	3,34	1,2	0,92	3,9
III	-	-	0,57	391,5	0,47	601,3
1	-	-	4,55	1,6	-	-
2	-	-	4,46	0,3	-	-
1-2	-	-	5,73	0,5	-	-
3	-	-	6,63	0,15	-	-
4	-	-	3,62	9,9	-	-
6	-	-	0,82	121,9	-	-
7	3,24	5,6	5,7	2,6	-	-
6-7	-	-	0,53	150,9	-	-
8	-	-	1,16	79,3	-	-

Tab. 13: Werte von α und M der Meßstellen im Lohrbach = I (von 9 bis 14) und im Kimmlinger Bach = III (von 1 bis 8).

Das E_U der Meßstelle 8 beträgt nur $0,55 \text{ km}^2$. Setzt man das Hohlraumvolumen mit ca. 15 % an, so muß E_U für die Meßstelle 8 etwa 6 km^2 groß und der Aquifer ca. 100 m mächtig sein (vgl. Kap. 8.2.2). Von der geologischen Situation her ist diese Annahme für das Gebiet 8 möglich. Dem E_U des Meßgebietes 8 kann der m_0 der westlich angrenzenden Einzugsgebiete 6, 7, 6 - 7 und VI - V (vgl. Anlage 1) zugeordnet werden. Eine eindeutige Abgrenzung des E_U ist jedoch nicht möglich, da nach Westen weite Bereiche vom m_0 eingenommen werden, die zudem von großen Verwerfungen (vgl. Kap. 4.1) durchzogen werden.

Die großen Hohlraumvolumina von 44 % in 6 und 59 % in 6 - 7 müssen ebenfalls auf realistische Werte um 15 % reduziert werden. Das E_U beider Gebiete kann wie in 8 nach Westen aber auch nach Südwesten vergrößert angenommen werden.

2. U n t e r g r u p p e :

Für diese Untergruppe lassen sich nutzbare Hohlraumvolumina von etwa 13 bis 15 % errechnen, die durch die ungenaue Berechnung des Gesteinskörpers um einige Prozent zu hoch liegen können.

In die 2. Untergruppe gehört das Buntsandsteingebiet 9 im Lohrbachtal (I) mit den Teilgebieten 10 und 9 - 10. Auch das Restgebiet III - (3 bis 8), in dem überwiegend Buntsandstein ansteht, ist in die 2. Untergruppe dieses Kapitels zu stellen (s.o.). Wie im vorhergehenden Kapitel geschildert, so ist auch hier mit dem Einfluß des sm_5 auf das Hohlraumvolumen der Buntsandsteinschichten zu rechnen. Da aber auch tiefere Bereiche des sm (sm_2 - sm_4) angeschnitten werden, fallen die errechneten Hohlraumvolumina meist höher aus als in der 2. Untergruppe der 1. Gruppe (vgl. Kap. 7.4.4). Die Q_0 -Werte liegen in der 2. Untergruppe höher als in den übrigen Buntsandsteingebieten. Mit $0,75 \text{ l s}^{-1}$ ist Q_0 nur im Einzugsgebiet 9 - 10 sehr klein, während sich für die Meßbereiche 9 und 10 Q_0 -Werte von 3,3 und $4,0 \text{ l s}^{-1}$ ergeben.

Bei gleichem Q_0 und einem vergleichbar großen Einzugsgebiet ist die Grundwasserreserve M in 9 - 10 mit $6,55 \cdot 10^6 \text{ l}$ wesentlich höher als z.B. im Gebiet 1 (1. Gruppe) mit $1,6 \cdot 10^6 \text{ l}$. Der Größenunterschied kann nur auf das größere Speichervermögen der tieferen sm -Komplexe in 9 - 10 zurückgeführt werden. Entsprechend hoch ist M auch an den Meßstellen 9 mit $37,4 \cdot 10^6 \text{ l}$ und an 10 mit $32,9 \cdot 10^7 \text{ l}$.

8.0 GRUNDWASSERNEUBILDUNG UND SPEICHERUNG

In der für lange Zeiträume gültigen Wasserbilanzgleichung (vgl. Kap. 6.2.1)

$$N = A_g + V_{\text{akt.}} \quad (1)$$

oder
$$N = A_o + A_u + V_{\text{akt.}} \quad (2)$$

entspricht die unterirdische Abflußhöhe A_u der Versickerung in den tieferen Untergrund I_u , da nur eine A_u -Höhe entstehen kann, die zuvor als I_u in den Aquifer gelangt ist. Langjährig muß also

$$A_u \geq I_u$$

sein. Voraussetzung ist dabei, daß das oberirdische Einzugsgebiet E_o dem unterirdischen Einzugsgebiet E_u entspricht, d.h. es darf kein Grundwasserzustrom oder Grundwasserabstrom vorhanden sein. Für kurze Beobachtungsperioden, wie z.B. für ein hydrologisches Jahr, kann A_u größer oder kleiner werden als I_u , so daß der vorhandene Grundwasservorrat sich ändert. Nach DIN 40 49 wird diese Vorratsänderung S , je nach Vorzeichen, als Rücklage $+R$ ($A_u < I_u$) oder als Aufbrauch $-B$ ($A_u > I_u$) bezeichnet. Die Vorratsänderung ist danach

$$S = R - B .$$

Wie bei EINSELE et al. (1969) soll in dieser Arbeit S nur mit einem positiven Vorzeichen (Rücklage) oder einem negativen Vorzeichen (Aufbrauch) versehen werden, ohne die Kürzel R und B zu benutzen.

Unter der Annahme, daß eine Vorratsänderung nur im tieferen Untergrund (die Grundwasseroberfläche liegt in größerer Tiefe, Evapotranspiration = 0) stattfindet, wird S zu S_u = Speicherung im tieferen Untergrund.

Da S_u nur von A_u und I_u beeinflusst wird, ergibt sich:

$$S_u = I_u - A_u \quad (3)$$

Für kurze Beobachtungsreihen muß die Wasserbilanzgleichung (2) um die Vorratsänderung S_u ergänzt werden. Sie lautet dann:

$$N = A_o + A_u + V_{akt.} + \text{bzw.} - S_u \quad (4)$$

Aus Gleichung (3) und (4) wird:

$$N = A_o + V_{akt.} + I_u$$

oder
$$I_u = N - V_{akt.} - A_o \quad (5)$$

Da für kurze Beobachtungsreihen nur die errechnete potentielle Verdunstung V_p bzw. die korrigierte potentielle Verdunstung V_{pk} bestimmt werden kann, wird $V_{akt.}$ in Gleichung (5) zu V_p bzw. zu V_{pk} , und die Gleichung lautet dann:

$$I_u = N - V_p - A_o \quad (6a)$$

oder
$$I_u = N - V_{pk} - A_o \quad (6b)$$

Eine künstliche Ableitung und/oder Zuleitung von Grundwasser muß nicht berücksichtigt werden, da sie nur in sehr geringem Umfang vorhanden ist. Die Gleichung (6) muß daher nicht erweitert werden.

In Gleichung (6) ist der gemessene Niederschlag N bzw. der als mittlerer Gebietsniederschlag errechnete Niederschlag N_m (vgl. Kap. 6.1), die Verdunstung (vgl. Kap. 6.2) und der oberirdische Abfluß A_o (vgl. Kap. 7.2) bekannt, so daß die Versickerung in den tieferen Untergrund I_u berechnet werden kann.

Wie aus Tabelle 14 zu ersehen ist, kann die Versickerung einen negativen Wert annehmen.

Da eine Negativversickerung in den tieferen Untergrund (bei I_u wird ein großer Flurabstand vorausgesetzt) unmöglich ist, soll dieser negative Wert nur als $-I$ (ohne Suffix u) bezeichnet werden (vgl. Abb. 21).

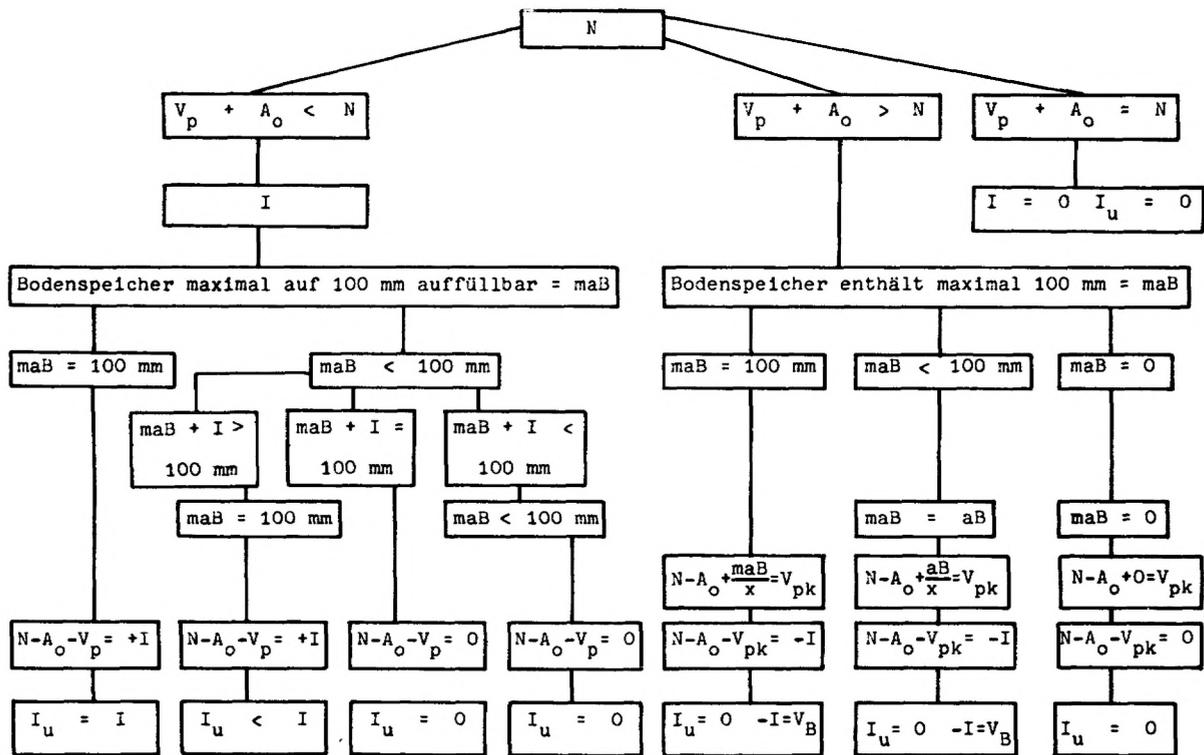


Abb. 21: Möglichkeiten zur Entstehung der Versickerung in den tieferen Untergrund. N = Niederschlag, A_o = oberirdischer Abfluß, V_p = potentielle Verdunstung, V_{pk} = korrigierte potentielle Verdunstung, I = Versickerung allgemein, I_u = Versickerung in den tieferen Untergrund, maB = maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte, aB = ausschöpfbare Bodenfeuchte, V_B = Verdunstung aus dem Bodenspeicher, $x \geq 1$.

Hauptsächlich tritt I in hydrologischen Sommerhalbjahr auf. Für diese Jahreszeit ist ein negativer I_U -Wert eindeutig auf die hohe sommerliche Verdunstung V_{pk} (vgl. Kap. 6.2.3 und Abb. 21) zurückzuführen, die auch aus dem Bodenspeicher gedeckt wird.

In Winterhalbjahr 1968 ist I ebenfalls negativ. In der Jahresreihe 1967 - 1973 ist diese Erscheinung allerdings auf diesen Winter beschränkt. Durch einen extrem hohen A_0 steht in Winter 1968 ein großer Teil des Niederschlages nicht mehr für die Verdunstung V_p zur Verfügung, so daß V_p auch aus dem Boden gedeckt wird (V_p wird hier auch im Winter zu V_{pk} , d.h. die potentielle Verdunstung entspricht der aktuellen Verdunstung). Ein negativer I -Wert zeigt demnach immer eine Verdunstung aus dem Boden V_B (vgl. Abb. 21 unten) an.

Im Kyllgebiet wird, wie in Kapitel 4.3.3 ausgeführt, für den Boden eine ausschöpfbare Bodenfeuchte von maximal 100 mm zu Grunde gelegt (maß = 100 mm). V_B kann, also maß oder einen Teil dieser Bodenfeuchte $\frac{MaB}{x}$ ($x \geq 1$) erreichen.

In Abbildung 21 ist in einem Flußdiagramm die Versickerung I sowie die Versickerung in den tieferen Untergrund I_U in Abhängigkeit vom Niederschlag N , dem oberirdischen Abfluß A_0 , der Verdunstung V_p bzw. V_{pk} und dem maximal ausschöpfbaren Bodenspeicher dargestellt. Danach kann die Versickerung I , die positiv bzw. negativ wird oder den Wert 0 annimmt, auf 7 verschiedenen Wegen zustande kommen (vgl. in Abb. 21, 2. Reihe von unten).

Die Tiefenversickerung I_U kann aber nur positiv oder 0 werden (vgl. in Abb. 21, unterste Reihe und rechts oben).

Wird I zu $-I$, so ist, wie oben ausgeführt, dem Bodenspeicher Wasser für die Verdunstung entzogen worden. Es entsteht im entsprechenden hydrologischen Halbjahr im Boden ein Defizit. Im folgenden hydrologischen Halbjahr kann dieses Defizit, falls I positiv ist, gedeckt werden (linke Hälfte der Abb. 21), d.h. ein Teil des versickerten Niederschlages bleibt im Bodenspeicher. Der zurückgehaltene Teil des Niederschlages geht der Tiefenversickerung I_U verloren, so daß I_U korrigiert werden muß.

Die Wassermenge, die zu einer Aufhöhung des tieferen Grundwassers beiträgt, wird in Tab. 14 als I_{uk} bezeichnet. Durch die korrigierte Versickerung I_{uk} wird die Vorratsänderung im Boden berücksichtigt. Sie kann nur vernachlässigt werden, wenn zu Beginn und am Ende eines hydrologischen Jahres der Wassergehalt im Boden gleich groß ist.

Aus Gleichung (3) kann, nachdem I_{uk} ermittelt ist, die Vorratsänderung bzw. die Speicheränderung S_U im tieferen Untergrund errechnet werden. In Gleichung (3) wird I_U dann durch I_{uk} ersetzt, so daß

$$S_U = I_{uk} - A_U \quad (7)$$

wird.

Wie aus Tabelle 14 zu ersehen ist, kann I_{uk} auch den Wert 0 annehmen, so daß $S_U = -A_U$ ist.

8.1 Grundwasserneubildung und Speicherung im Kyllgebiet

Für die Ermittlung von I_U bzw. I_{uk} und S_U bzw. S_{uk} stehen die Daten des A_0 , A_U , N_m und der V_p bzw. V_{pk} der Jahre 1967 - 1973 zur Verfügung. Nur für diesen Zeitraum, in dem auch entsprechende Abflußmessungen vorliegen (vgl. Kap. 5.1), kann I_U , I_{uk} , S_U und S_{uk} berechnet werden.

In der Reihe 1967 - 1973 wird N_m um 5 % reduziert. Dies geschieht nach den Erkenntnissen, die in Kap. 6.1.3 erläutert werden. Dieses mehrjährige Mittel des N_m liegt nach Tab. 14 bei 717 mm/a, während der um ebenfalls 5 % reduzierte Mittelwert für die Reihe 1891 - 1930 703 mm/a ergibt (vgl. Kap. 6.1.3). Da der Wert für die kürzere Reihe nur 2 % höher liegt als der Mittelwert der 40-jährigen Meßreihe, kann davon ausgegangen werden, daß der N_m der Reihe 1967 - 1973 das langjährige Niederschlagsgeschehen gut repräsentiert.

Nach Gleichung (6) ergibt sich mehrjährig ein I_U von

$$84 \text{ mm/a.}$$

Der mittlere I_{uk} -Wert entspricht mit 86 mm/a etwa diesem Wert (vgl. Tab. 14).

Der Mittelwert des A_u für das Kyllgebiet zwischen Densborn und Kordel ($E_0 = E_u$) liegt bei $A_u = 124$ mm/a. Langjährig sollte aber I_u bzw. I_{uk} dem unterirdischen Abfluß A_u entsprechen. Da A_u größer als I_u ist, kann angenommen werden, daß Grundwasser dem Kyllgebiet zufließt. Das E_u muß demnach größer angesetzt werden.

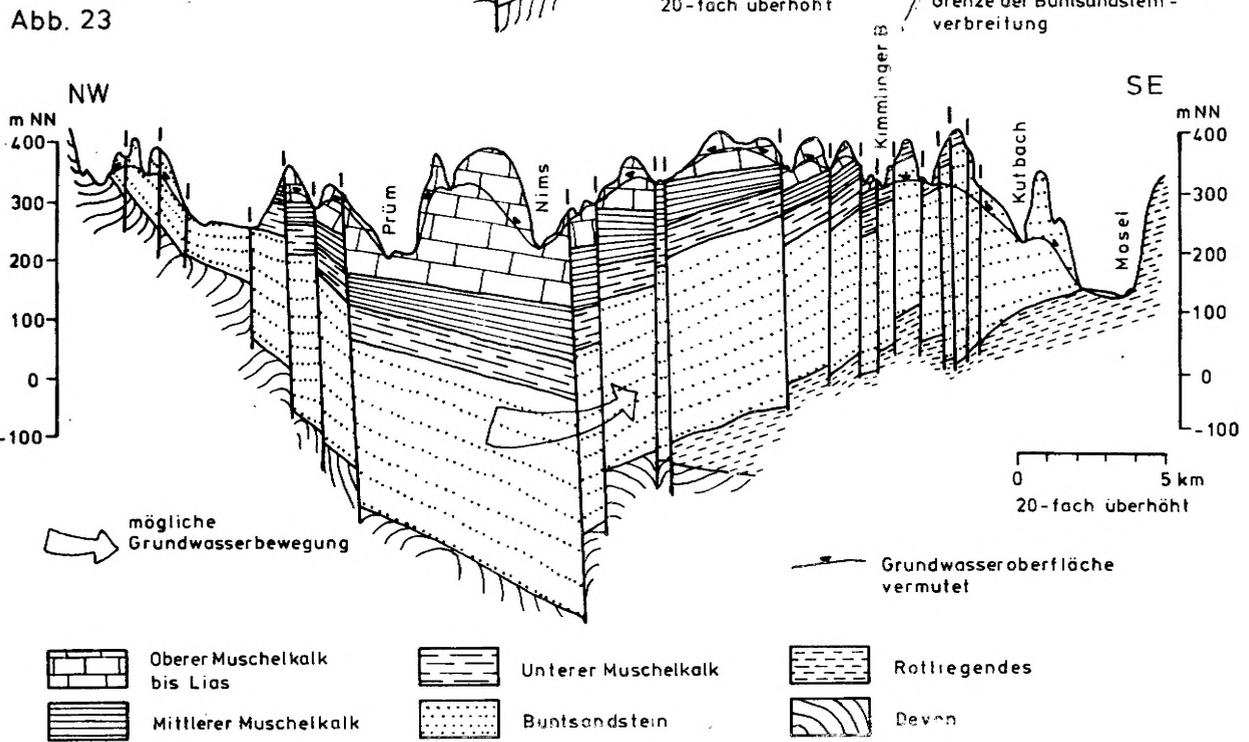
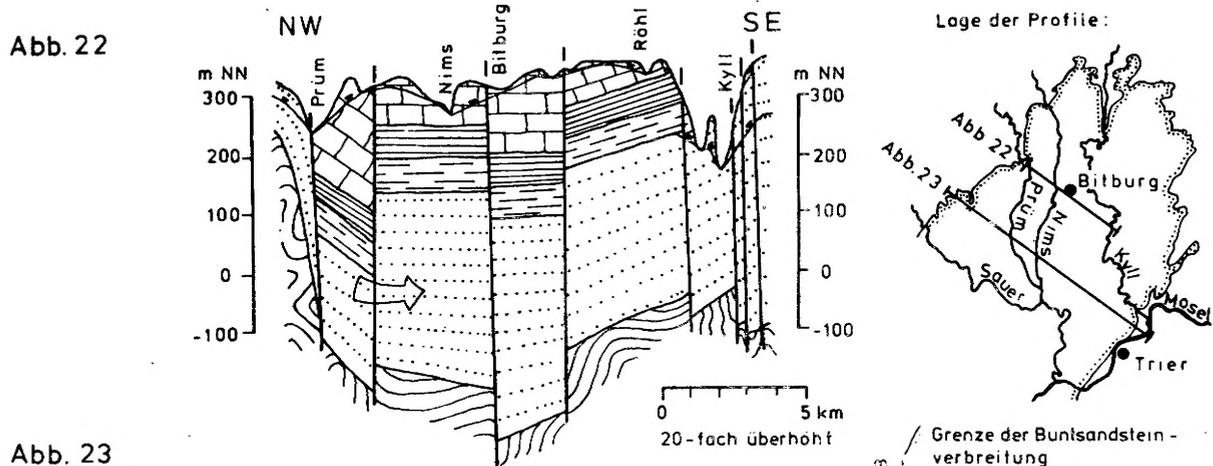


Abb. 22 und 23: Profile durch die Bitburger Mulde (schematisch) mit von GREBE (1892) festgestellten Störungen (20-fach überhöht).

Aus langjährigen Abflüßmessungen kann ein von E_0 abweichendes E_u bestimmt werden, wie dies EINSELE et al. (1969) tun:

$$E_u \text{ (km}^2\text{)} = \frac{A_u \text{ (l s}^{-1}\text{)}}{I_u \text{ (l s}^{-1}\text{ km}^{-2}\text{)}} \quad \text{langj. Mittel}$$

Auf diese Weise läßt sich auch E_u für das Gesamtgebiet D - K ermitteln.

Nach den mehrjährigen Werten für das Kyllgebiet zwischen Densborn und Kordel (vgl. Tab.

14) ergibt sich für die Jahresreihe 1967 - 1973:

$$E_U = \frac{1342,6}{2,7} = 497 \text{ km}^2 \text{ oder ca. } 500 \text{ km}^2$$

Das E_U von ca. 500 km^2 steht einem E_0 von nur 341 km^2 gegenüber.

Die Erweiterung des E_U um ca. 160 km^2 ist von den geologischen Gegebenheiten her in der Bitburger Mulde möglich. Denkbar wäre eine Ausweitung hauptsächlich nach Westen, in Richtung auf die Flüsse Nims und Prüm, deren Vorflutniveau im Oberen Muschelkalk und Keuper liegt. Der Mittlere Muschelkalk im Liegenden ist als Aquiclude anzusehen, so daß im Oberen Muschelkalk und Keuper ein vom Buntsandstein getrenntes Grundwasserstockwerk existiert. Auch für das Kyllgebiet selbst ist diese Unterteilung in 2 Stockwerke nachzuweisen (vgl. Kap. 8.2.2). Das tiefere Grundwasserstockwerk im Buntsandstein kann, unabhängig von den Flüssen Nims und Prüm, dem Kyllgebiet tributär sein. Durch den am westlichen und nordwestlichen Rand der Bitburger Mulde anstehenden Buntsandstein kann das tiefe Grundwasserstockwerk durch versickernde Niederschläge regeneriert werden (vgl. Abb. 22 und 23).

Alle A_U -Werte der Halbjahre 1967 - 1973, bis auf das Sommerhalbjahr 1973, wurden auf das E_U von 500 km^2 umgerechnet. Die A_U -Höhe, die auf ein $E_U = 341 \text{ km}^2$ ($E_U = E_0$) bezogen ist, wird dann zu A_{Uk} .

Das Sommerhalbjahr 1973 ist nicht in diese Umrechnung einbezogen worden, da das A_U von nur 2 mm darauf hin deutet, daß E_U nicht mehr 500 km^2 umfaßt.

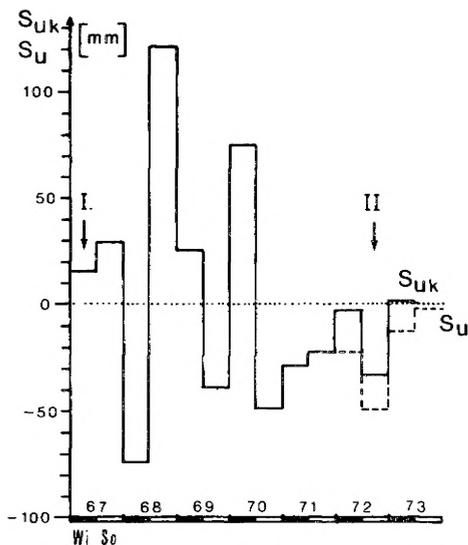


Abb. 24 a: Speicherung S_{Uk} ($E_U = 500 \text{ km}^2$) der hydrologischen Jahre 1967 bis 1973 und S_U ($E_U = 341 \text{ km}^2$) der hydrologischen Jahre 1972 und 1973.
I. = 1. Pumpversuch im Brunnen Zackfeld
II. = 2. Pumpversuch im Brunnen Zackfeld

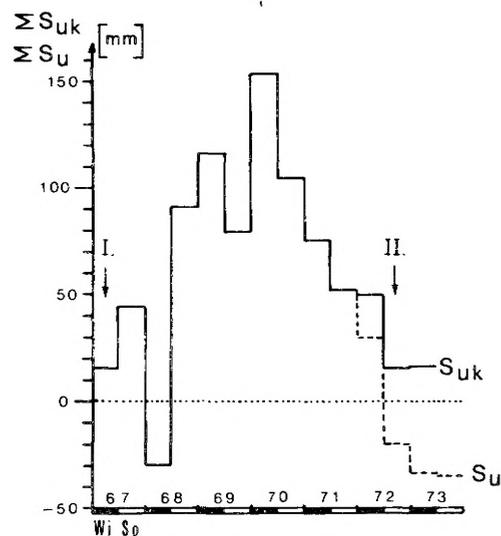


Abb. 24 b: Summierte Speicherung S_{Uk} der hydrologischen Jahre 1967 bis 1973 und Summe S_U der hydrologischen Jahre 1972 und 1973.
I. = 1. Pumpversuch im Brunnen Zackfeld
II. = 2. Pumpversuch im Brunnen Zackfeld

Da anzunehmen ist, daß in einer wesentlich längeren Meßreihe (mehr als 7 Jahre) eine I_{Uk} im hydrologischen Winterhalbjahr überwiegt, kann der Jahresmittelwert $I_{Uk} = 86 \text{ mm/a}$ als mittlere Versickerung I_{Uk} der Winterhalbjahre angesehen werden.

Damit erreichen 86 mm/a , das sind 12 % des langjährigen Niederschlages, das tiefere Grundwasser. Von dieser I_{Uk} -Höhe fließen in dem 7-Jahres-Mittel 49 mm als A_{Uk} im Winterhalbjahr und 37 mm im Sommer ab.

Das Verhältnis von A_{Uk} des Winters zu A_{Uk} des Sommers ist mehrjährig 1,3, d.h. der un-

terirdische Abfluß ist im Sommer nur ca. 1/4 kleiner als im Winter. Für die einzelnen hydrologischen Jahre der Reihe 1967 - 1973 schwankt dieses Verhältnis meist zwischen 1,0 und 1,5 (vgl. Kap. 7.3.1 und 7.3.2).

Nur im hydrologischen Jahr 1973 weicht der Winter-Sommer-Quotient mit 21,5 erheblich von dem langjährigen Wert ab (vgl. Kap. 7.3 und Kap. 8.1).

Die nach Gleichung (7) errechnete Speicherung S_u ist für die Halbjahre von 1967 bis 1973 überwiegend negativ (Tab. 14). Nur im hydrologischen Sommerhalbjahr 1967, 1968 und im Winter 1970 findet eine Speicherung statt. Diese Werte erscheinen sehr unrealistisch, da es demnach auch im hydrologischen Winterhalbjahr fast nie zu einer Auffüllung des Grundwassers kommt. Wird dagegen die Speicherung auf das oben erwähnte E_u von 500 km^2 bezogen, wobei A_u zu A_{uk} und S_u dann zu S_{uk} wird, so ist die nach folgender Gleichung

$$S_{uk} = I_{uk} - A_{uk} \quad (8)$$

errechnete Speicherung S_{uk} in den Jahren 1967 bis 1973 wesentlich häufiger positiv. Auch dieses Ergebnis kann als Argument für $E_u > E_o$ angesehen werden.

Hydrolog. Jahr	Halb-jahr	A_o	A_u	A_{uk} bei $E_u > E_o$	N_m (-5%)	V_p bzw. V_{pkm}	% von N_m	I bzw. I_u	I_{uk}	S_u	S_{uk} bei $E_u > E_o$
1967	Wi	182	70	48	397	151	38	64	64	-6	16
	So	32	67	46	477	371	78	74	74	7	28
1968	Wi	252	108	74	379	172	45	-45	--	-108	-74
	So	64	84	57	563	275	49	224	179	95	122
1969	Wi	90	88	60	307	132	43	85	85	-3	25
	So	14	57	39	275	358	130	-97	--	-57	-39
1970	Wi	159	75	51	468	86	18	223	126	51	75
	So	14	72	49	393	438	111	-59	--	-72	-49
1971	Wi	26	53	36	258	166	64	66	7	-46	-29
	So	7	34	23	319	357	112	-45	--	-34	-23
1972	Wi	4	64	44	241	151	63	86	41	-23	-3
	So	17	49	33	388	424	109	-53	--	-49	-33
1973	Wi	7	43	29	240	150	62	83	30	-13	1
	So	6	2	--	317	331	104	-20	--	-2	--
Mittel	Wi	103	71	49	327	144	47	80	50		
Mittel	So	22	52	37	390	365	99	3	36		
Mittel	Jahr	125	124	84	717	509	71	84	86		
Summe			866	589				586	606		

Tab. 14: Daten zur Halbjahreswasserbilanz für das Gebiet Densborn - Kordel in mm bei $E_u = E_o = 341 \text{ km}^2$ und bei $E_u > E_o$ mit $E_u = 500 \text{ km}^2$.

In den hydrologischen Jahren 1967 bis 1970 (ohne 1968) ist zu erkennen, daß in den Winterhalbjahren eine Speicherung S_{uk} stattfindet, während die Sommerhalbjahre überwiegend durch Verbrauch ($-S_{uk}$) gekennzeichnet sind (Tab. 14 und Abb. 24a). Nur 1968 ist S_{uk} im Winter negativ und im Sommer positiv. In diesem hydrologischen Jahr wirkt sich im Winter eine längere Frostperiode mit anschließendem Schmelzwasserabfluß (großes A_o) aus, während sich der Sommer 1968 durch eine große Niederschlagshöhe, eine geringere Verdunstungshöhe und starke Infiltration auszeichnet.

Eine überdurchschnittliche Niederschlagshöhe verursachte auch im hydrologischen Sommerhalbjahr 1967 einen Grundwasserzuwachs (Abb. 24 b).

Von 1971 bis 1973 wird das Grundwasser, den geringen Versickerungshöhen I_{uk} entsprechend, sowohl im Winter wie im Sommer ausschließlich aufgebraucht. Die summierte Speicherung S_{uk} zeigt dies sehr deutlich (Tab. 14 und Abb. 24 b). Sie geht von einer willkürlich angenomme=

nen Nulllinie zu Beginn des hydrologischen Winterhalbjahres 1967 aus.

Da ab 1972 die Speicherung nicht ohne weiteres auf ein E_U von 500 km^2 bezogen werden kann (vgl. Kap. 8.2), wird in Abbildung 24 a und b auch die Speicherung S_U dargestellt, die sich für ein E_U von 341 km^2 ($E_U = E_0$) ergibt (gestrichelte Linie).

Aus Abbildung 24 a und b könnte auch ein Zusammenhang zwischen dem Leistungsabfall des Brunnen Zackfeld (1. Pumpversuch 1967 = 40 l/s bei 30 m Absenkung und 2. Pumpversuch 1972 = 25 l/s bei 27 m Absenkung, siehe Kap. 8.2) und der Speicherung abgeleitet werden. Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang für S_U . Die Abnahme des Speichers könnte danach den Leistungsabfall bewirken.

8.2 Grundwasserneubildung und Speicherung im Kyllgebiet für das hydrologische Jahr 1973

Unabhängig vom E_U kann nach Gleichung (6a bzw. 6b) I_U ermittelt werden.

Obwohl der mittlere Gebietsniederschlag N_m zwischen Densborn und Kordel im hydrologischen Jahr 1973 um 20% unter dem langjährigen Mittelwert liegt bzw. im Winterhalbjahr sogar um ca. 25% kleiner ist als der langjährige N_m -Mittelwert (vgl. Kap. 6.1.3), ergibt im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 $I_U = 83 \text{ mm}$. Die Versickerung erreicht damit einen Wert, der infolge des geringen A_0 von 7 mm im Winter relativ hoch liegt.

Dem Bodenspeicher werden im vorhergehenden hydrologischen Sommerhalbjahr 1972 53 mm entzogen, so daß von der I_U -Höhe des Winters 1973 dieser Betrag abgezogen werden muß. I_U wird damit zu I_{Uk} korrigiert. Für I_{Uk} stehen danach noch 30 mm zur Verfügung, die auf den N_m des Winterhalbjahres bezogen etwa 12% ausmachen. Im gesamten hydrologischen Jahr 1973 sind dies nur 6% , während langjährig I_{Uk} mit 12% doppelt so hoch liegt.

Auf ein E_U von 341 km^2 bezogen, das dem E_0 der Kyll entspricht, ergibt die Speicherung nach Gleichung (7) für das Winterhalbjahr 1973 $S_U = -13 \text{ mm}$ (Abb. 24a).

Wird dagegen angenommen, daß A_U aus einem größeren E_U von 500 km^2 stammt, so verringert sich der unterirdische Abfluß im Winter 1972/73 auf $A_{Uk} = 29 \text{ mm}$ (Tab. 14). Die aus diesem A_{Uk} errechnete S_{Uk} ergibt dann 1 mm (Abb. 24a). Welcher dieser beiden Werte der Realität am nächsten kommt, kann nicht genau gesagt werden, da anzunehmen ist, daß die Größe des $E_U = 500 \text{ km}^2$ sich bereits im Winterhalbjahr zu verringern beginnt (s.u.).

Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, weicht im hydrologischen Jahr 1973 der Quotient aus A_U -Winter zu A_U -Sommer mit $21,5$ erheblich von dem langjährigen Quotienten ab.

Im Winter 1973 erreicht A_U mit 43 mm die geringste winterliche Abfluhöhe der Jahresreihe 1967 - 1973. Besonders stark fällt aber A_U im Sommerhalbjahr 1973 ab und erreicht nur $A_U = 2 \text{ mm}$. Da im Sommer 1973 kein bzw. kaum Niederschlag versickert, verringert sich der Grundwasservorrat nur um $S_U = -2 \text{ mm}$, die als A_U abfließen. Für das Trockenjahr 1973 ist diese sommerliche Vorratsänderung im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren auffallend gering.

Aus dem Vergleich der Abflußganglinien der Pegel Densborn und Kordel (Abb. 25) wird die Ursache für dieses Phänomen ersichtlich.

Der geringe unterirdische Abfluß und die daraus resultierende geringe Vorratsänderung des Sommerhalbjahres 1973 muß im Kyllgebiet auf influente Verhältnisse der Kyll zurückgeführt werden.

In den Monaten Mai bis Juli 1973 tritt am oberen Pegel Densborn (D) mehr Wasser (A_D) in das Gebiet D - K ein, als am Pegel Kordel (K) das Gebiet D - K wieder verläßt. Auch für A_U ist in diesem Zeitraum zwischen D und K ein A_U -Defizit zu verzeichnen.

Insgesamt fehlen zwischen beiden Pegeln $8,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ oder auf $E_0 = 341 \text{ km}^2$ bezogen 24 mm . Dieses Defizit gibt an, welche Mengen über den Buntsandstein und den Muschelkalk aus dem Kyllgebiet abfließen. Von beiden Schichtkomplexen wird das Kyllwasser bevorzugt über den Buntsandstein abfließen, da nur der Sandstein entsprechend weit verbreitet ist und mit den tieferen Teilen der Bitburger Mulde (unter Kyllniveau) hydraulisch verbunden ist.

Wie in den Kapiteln 8.2.1 und 8.2.1.1 ausgeführt, geht aber auch über den Oberen Muschelkalk ein Teil des Grundwassers aus dem Kyllgebiet verloren. Da dieser Anteil die Kyll aber gar nicht erst erreicht und außerdem sehr klein anzusetzen ist, kann er vernachlässigt werden.

Ein Teil des Defizits entsteht wahrscheinlich auch durch die Entnahme von Trink- und Brauchwasser, das dem Einzugsgebiet entzogen wird. Als Großverbraucher nimmt die Bitburger Brauerei eine führende Position ein, während andere kleine Verbraucher kaum einen Einfluß auf die Grundwasserbilanz des Kyllgebietes haben dürften.

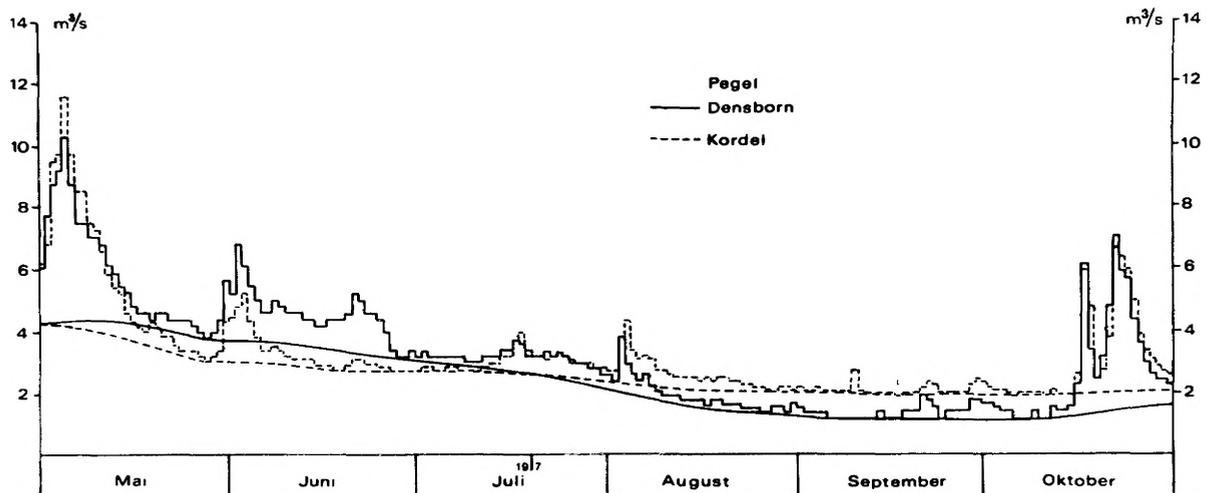


Abb. 25: Abflußganglinie der Kyllpegel Densborn und Kordel mit A_U -Abtrennung für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973.

Unter der Annahme, daß die Brauerei ca. $1,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ benötigt (genaue Zahlen liegen nicht vor), würde im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 ca. 2 - 3 mm des oben genannten Defizits durch diesen Betrieb entstehen. Die Brunnen der Brauerei liegen zwar außerhalb des Kyll Einzugsgebiets, werden aber bei influenten Verhältnissen auch von der Kyll her angeströmt.

Nach Abzug des Trink- und Brauchwasserbedarfs bleibt im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 ein Defizit von ca. 20 mm, das aus dem Kyllgebiet in den tieferen Teil der Bitburger Mulde abfließen muß. Über den Buntsandstein kann dieser Grundwasserabstrom die Mosel und auf einer kurzen Strecke im Unterlauf die Sauer erreichen.

Wenn es zutrifft, daß durch den Buntsandstein im Sommerhalbjahr 20 mm abfließen können, so ist auch der umgekehrte Fall denkbar. Bei effluenten Verhältnissen der Kyll müßten dann in einem Halbjahr auch 20 mm der Kyll zufließen können. Da ein Wechsel von effluenten zu influenten Verhältnissen hier in einer Größenordnung vor sich gehen muß (große Teile der Bitburger Mulde sind betroffen), der nur bei einem geringen Gefälle der Grundwasseroberfläche vorstellbar ist, dürfte sich auch die Höhe des Grundwasserzustromes bzw. des Grundwasserabstromes nur unwesentlich ändern.

Nach den Angaben von WEILER (1972) beträgt das Grundwassergefälle zwischen dem Ruhewasserspiegel des Brauereibrunnens und der Kyll nur 6 m auf ca. 4 km (etwa $1,5 \cdot 10^{-3}$).

Langjährig könnten in der Kyll demnach im hydrologischen Halbjahr 20 mm, d.h. im gesamten Jahr ca. 40 mm zusätzlich als A_U abfließen. Wird der langjährige A_U -Mittelwert des Kyllgebietes zwischen den Pegeln Densborn und Kordel mit $A_U = 124 \text{ mm}$ um diese 40 mm reduziert, so ist $A_U = 84 \text{ mm}$. A_U entspricht dann der Tiefenversickerung I_{Uk} von ebenfalls 86 mm (vgl. Tab. 14 und Kap. 6.1). Das Abflußdefizit des hydrologischen Sommerhalbjahres 1973 kann daher als zusätzlicher Hinweis auf ein erweitertes E_U angesehen werden.

Aus Abbildung 25 wird auch ersichtlich, wie es zu dem sehr kleinen $A_U = 2 \text{ mm}$ kommt. Über das gesamte Sommerhalbjahr ergibt sich dieser Wert aus der Differenz zwischen dem A_U -Defizit

des Zeitraumes vom 1. Mai bis zum 19. Juli, das 11,5 mm beträgt und dem A_u -Überschuß zwischen dem 19. Juli und Ende Oktober mit 13,5 mm:

$$13,5 - 11,5 = \underline{2,0 \text{ mm.}}$$

Der A_u -Überschuß entsteht durch das charakteristische Auslaufverhalten des überwiegend aus Buntsandstein und Muschelkalk bestehenden Kyllgebietes zwischen Densborn und Korde! und dem Auslaufverhalten der Devonschichten des Kyll Einzugsgebietes nördlich von Densborn. Während der Aquifer nördlich Densborn durch das sehr geringe Speichervermögen der weit verbreiteten unterdevonischen Schiefer-Quarzit und Quarzit-Schiefer Wechselfolgen schnell leerläuft, der größere Abfluß aus den devonischen Eifelkalkmulden verhindert wahrscheinlich einen noch rascheren Rückgang (vgl. Abb. 25, Pegel Densborn), nimmt A_u aus dem Buntsandstein und Muschelkalk langsamer ab. Ab Mitte Juli liegt die am Pegel Densborn ermittelte A_u -Linie unter der A_u -Linie des Pegels Korde!.

Die oben beschriebene Umkehrung der Vorflutverhältnisse setzt auch voraus, daß das unterirdische Einzugsgebiet der Kyll sich bereits vor dem Sommer 1973 allmählich geändert haben muß, da für eine Änderung von effluenten zu influenten Verhältnissen eine Zeitspanne von 1 bis 2 Jahren anzunehmen ist.

Die Änderung der Grundwasserfließrichtung könnte auch eine weitere Erklärung für den Leistungsabfall des Brunnens Zackfeld (vgl. Kap. 8.1) liefern. Dieser Brunnen liegt ca. 1,5 km nordwestlich des Stadtteiles Trier-Ehrang an der Kyll.

Bei dem 1. Pumpversuch im März 1967 konnten aus diesem Brunnen 40 l/s bei 30 m Absenkung gefördert werden. Bei dem 2. Pumpversuch im August 1972 lieferte der selbe Brunnen nur noch 25 l/s bei 27 m Absenkung. Technische Mängel im Brunnenausbau wurden nicht festgestellt. Durch Auenlehm ist der Brunnen zur Kyll hin abgedichtet.

Während bei einer festgestellten hohen Durchlässigkeit des Buntsandsteins im März 1967 dem Brunnen größere Grundwassermengen, wahrscheinlich aus westlicher Richtung (aus der Bitburger Mulde) zuströmen konnte, war die Zuströmung im August 1972 durch eine von der Kyll zum Muldenzentrum verlaufende Fließrichtung auf einen wesentlich kleineren, lokal begrenzten Einzugsbereich eingeengt.

Nach den oben ausgeführten Betrachtungen kann im hydrologischen Jahr 1973 keine Aussage über die Speicheränderung gemacht werden, die das ganze Kyll Einzugsgebiet betrifft.

8.2.1 Grundwasserneubildung und Speicherung in den Teileinzugsgebieten der Kyll

Grundwasserneubildung 1973 :

Die Versickerung I_u wird für die Teileinzugsgebiete aus der Gleichung (6a bzw. 6b) berechnet (Tab. 15 und 16, siehe Ende Kap. 8.2.2). Eine Korrektur von I_u zu I_{uk} , wie sie in Kap. 8.1 und 8.2 unter Berücksichtigung des Bodenfeuchtedefizits durchgeführt wurde, kann für das hydrologische Jahr 1973 in den Teileinzugsgebieten nicht vorgenommen werden, da die dazu benötigten Abflußmessungen des vorhergehenden hydrologischen Jahres nicht vorhanden sind. In den Teilgebieten wurden die Meßstellen erst im Herbst 1972 eingerichtet.

Aus der langjährigen I_u - und I_{uk} -Bestimmung (Kap. 8.1) ergibt sich für das hydrologische Winterhalbjahr 1973 eine $I_{uk} = 30$ mm, während für $I_u = 83$ mm errechnet wurden. Danach beträgt die wahre Versickerung I_{uk} , die das Grundwasser erreicht, nur 36 % von I_u (nur für 1973).

Um die Versickerung I_{uk} im Winter 1972/73 auch für die Teileinzugsgebiete abschätzen zu können, soll angenommen werden, daß auch in den kleineren Einzugsbereichen nur etwa 36 % der aus Gleichung (6a bzw. 6b) errechneten I_u das tiefe Grundwasser erreichen. Alle I_u -Werte sind daher in Tabelle 15 auf 36 % von I_u reduziert und als I_{uk} aufgeführt.

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 (Tab. 16) ist die aus Gleichung (6) errechnete I_u fast ausschließlich negativ. Nur in den Gebieten X, XII und X - XI - XII ist I_u positiv.

Da im vorhergehenden Winterhalbjahr kein Bodenfeuchtedefizit entsteht, muß im Sommer 1973 I_u nicht zu I_{uk} korrigiert werden. Die negativen I_u -Werte im Sommer stellen ein Boden=

feuchtedefizit dar, das erst in diesem Sommer entsteht und im hydrologischen Winter 1974 berücksichtigt werden muß. In Tabelle 16 ist daher kein I_{uk} aufgeführt.

Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr 1972/73: Für die Gebiete I bis XII und deren Zwischeneinzugsgebiete reicht I_{uk} im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 von 5 bis 39 mm. Diese große Streubreite entsteht durch die unterschiedlichen Niederschlagshöhen N_m sowie durch den von unterschiedlichen Faktoren abhängigen oberirdischen Abfluß A_o (vgl. Kap. 7.2, Abb. 15 und 26).

In allen Teilgebieten wird die Verdunstung als potentielle Verdunstung $V_p = 150$ mm angesetzt (vgl. Kap. 6.2.2).

Die in Kapitel 6.1.3 erwähnte Leewirkung macht sich besonders in den Gebieten X bis XII bemerkbar, deren N_m -Werte kleiner ausfallen (Tab. 15 und 16) als N_m der meisten anderen Gebiete. Der Niederschlag des Winterhalbjahres, der hauptsächlich für die Größe der I_{uk} -Höhen verantwortlich ist, liegt in diesen Gebieten ca. 10 - 15 % unter dem mittleren N_m des Kyllgebietes. Auch im Lohrbach (I) bleibt N_m im Winter hinter den sonst beobachteten Niederschlagshöhen zurück.

Wesentlichen Einfluß auf A_o und I_{uk} haben auch die geologischen Gegebenheiten. Nach dem in Kap. 7.2.1 und 7.2.3 angewandten Schema soll auch hier die Versickerung in Gebieten mit vergleichbarem geologischen Bau betrachtet werden. Nach diesem Schema können drei Gruppen unterschieden werden (Tab. 15 und 16, Ende Kap. 8.2.2):

1. Gruppe: Buntsandsteingebiete
2. Gruppe: Muschelkalkgebiete
3. Gruppe: Gebiete mit Buntsandstein, Muschelkalk und Tertiär.

Ähnliche Versickerungsraten sind in Einzugsgebieten zu erwarten, in denen fast ausschließlich Buntsandstein (1. Gruppe) oder Muschelkalk (2. Gruppe) ansteht.

In der 3. Gruppe wird die Versickerung nicht einheitlich ausfallen, da sowohl Buntsandstein, Muschelkalk und tertiäre Deckschichten anstehen. In diesem Fall variiert mit den Flächenanteilen der jeweiligen Schichtfolge auch die Versickerungshöhe. Unterschiede innerhalb der drei Gruppen entstehen auch durch wechselnde morphologische Verhältnisse.

In Abbildung 26 ist I_{uk} in Abhängigkeit von A_o für alle Gebiete aufgetragen. Für die 1. und 2. Gruppe sind Regressionsgeraden berechnet und in diese Abbildung eingetragen.

Die Gerade für die Buntsandsteingebiete (1. Gruppe) zeigt eine geringere Neigung als die Regressionsgerade der Muschelkalkgebiete (2. Gruppe).

Bei einem A_o bis zu 40 mm ist die Versickerung I_{uk} in den Muschelkalk meist höher als I_{uk} in den Buntsandstein.

Es wäre aber vorstellbar, daß der größere Reliefunterschied im Muschelkalk, der einen größeren A_o hervorruft (auch eine große Niederschlagshöhe kann dazu führen), kleinere I_{uk} -Werte entstehen läßt als im Buntsandstein. Auf einem steilen Hang aus Oberem Muschelkalk, über dem in den meisten Fällen nur ein geringmächtiger und vertonter Bodenhorizont liegt, muß die Versickerung stark reduziert werden. Auf einem gleich steilen Hang im Buntsandstein kann dagegen die Versickerung einen größeren Wert annehmen, da fast immer ein sandiger Bodenkörper die Versickerung begünstigt.

Die unterschiedlichen Versickerungshöhen entstehen auch durch die Vegetation. Die steilen Muschelkalkhänge sind im Kyllgebiet fast immer als Weideland genutzt. Auf den Wiesen fließt A_o schneller ab als auf einem meist bewaldeten Buntsandsteinhang, der durch ein größeres Retentionsvermögen die A_o -Versickerung fördert.

3. Gruppe :

Die meisten Gebiete gehören in die 3. Gruppe (II, III, IV, IV - V, VI, VII, VIII, IX, X, XII, X - XI - XII und D - K ohne (III bis XII), die daher hier zuerst aufgeführt werden soll.

Durch die stark variierenden Flächenanteile der verschiedenen Schichtfolgen streuen in Abbildung 26 diese Gebiete sehr weit. Eine Regressionsgerade wurde deshalb nicht bestimmt.

Dicht beieinander liegen in Abbildung 26 die Gebiete II, III, VIII und IX im mittleren Bereich. Die I_{uk} -Werte nehmen von VII mit 25 mm nach IX mit 16 mm über steigenden A_o -Werte ab. Deutlich zeigt sich hier der von VII nach IX zunehmende Anteil des Mittleren Muschelkalks (mm) und des Tertiärs.

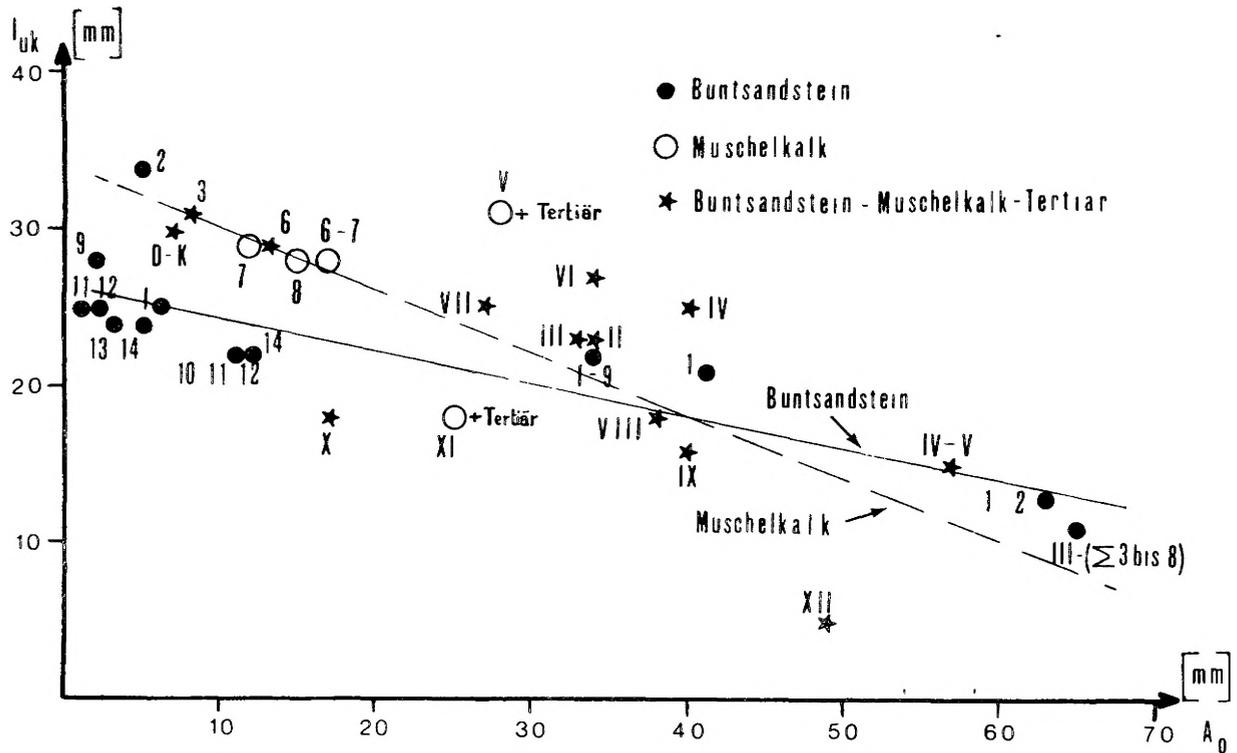


Abb. 26: Beziehung zwischen I_{uk} und A_0 im Kyllgebiet (D - K) und dessen Teilgebieten im hydrologischen Winterhalbjahr 1973.

In IX tritt der Buntsandstein fast völlig gegenüber Muschelkalk und Tertiär zurück. Dieses Gebiet könnte deshalb auch als Muschelkalkgebiet angesehen werden (vgl. Kap. 7.2.2 und 7.3.2).

In VIII und IX verringert sich außerdem N_m gegenüber II, III und VII, so daß auch I_{uk} kleiner wird.

Durch einen sehr hohen Mittleren Muschelkalk- und Tertiäranteil, bei gleichzeitig geringem N_m (kleinster Wert aller Gebiete) ist im Gebiet XII I_{uk} von 5 mm besonders klein. Da das Einzugsgebiet XII ein Teilgebiet von X darstellt, verursacht der kleine I_{uk} -Wert in XII auch im Gebiet X eine Verminderung der Versickerung auf 18 mm, obwohl der gesamte A_0 aus den Teileinzugsgebieten XI, XII und X - XI - XII (alle drei sind Teilgebiete von X) relativ klein ist.

Im Zwischeneinzugsgebiet IV - V, das am Unterlauf des Welschbilliger Bachgebietes liegt, wirken sich die steilen Hänge mit entsprechend hohem A_0 aus. Zusätzlich wird A_0 auch von größeren Flächen mit Mittlerem Muschelkalk gesteigert, so daß in IV - V I_{uk} mit 15 mm klein bleibt. Die Versickerung dieses Gebietes wirkt sich auch auf das Gesamtgebiet IV aus. Aus der hohen Grundwasserneubildung in V (s.u.) und der geringen Neubildung in IV - V entsteht in IV (dem Gesamtgebiet) ein Mischwert aus beiden Gebieten von $I_{uk} = 25$ mm.

Wie in Kapitel 7.2.3 erläutert, läßt sich für die Einzugsbereiche X - XI - XII und D - K ohne (III bis XII) kein A_0 bestimmen. Die errechnete I_{uk} ist daher eigentlich zu hoch. Es kann aber angenommen werden, daß der A_0 sehr klein ist, da weite Bereiche von Buntsandstein eingenommen werden. I_{uk} dürfte daher nur geringfügig kleiner werden.

Durch die nach Norden zunehmenden Niederschläge und einen hohen Buntsandsteinanteil erreicht in D - K ohne (III bis XII) die Versickerung den höchsten Wert aller Gebiete mit $I_{uk} = 39$ mm.

In dem geologisch sehr ähnlichen Gebiet X - XI - XII bleibt $I_{uk} = 23$ mm geringer als in D - K ohne (III bis XII) da N_m sehr klein ausfällt.

1. und 2. Gruppe :

Nur zwei Einzugsgebiete gehören in die 2. Gruppe. Dies sind die Einzugsbereiche V und XI, in denen E_o ausschließlich von Muschelkalk eingenommen wird. Die Versickerung I_{uk} ist bei ähnlichen A_o -Werten jedoch unterschiedlich, da der N_m in XI um 40 mm geringer ist als in V. Während in V $I_{uk} = 31$ mm beträgt, ist in XI $I_{uk} = 18$ mm. Beide Gebiete weichen daher von der für die Gebiete 6, 7, 6 - 7 und 8 (vgl. Kap. 8.2.2) gefundenen Regressionsgeraden stark ab.

Das Einzugsgebiet I wird nur von Buntsandstein eingenommen und kann daher in die 1. Gruppe gestellt werden. Bei einem kleinen A_o ist I_{uk} relativ hoch. Durch die geringe Niederschlagshöhe wird $I_{uk} = 25$ mm aber nicht größer als in den meisten anderen Gebieten.

Grundwasserneubildung im Sommerhalbjahr 1973 :

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 (Tab. 16) liegt die Verdunstung V_{pkm} in den meisten Teileinzugsgebieten über dem Gebietsniederschlag N_m . Ein Teil des N_m geht außerdem durch den oberirdischen Abfluß verloren, so daß die I_u -Werte negativ werden. Wie in Kapitel 8.0 bereits erwähnt, gibt dieser negative Wert die Verdunstung aus dem Boden an.

Zur Grundwasserneubildung kommt es nur in den Gebieten X, XII und X - XI - XII, die in X und XII mit 6 bzw. 3 mm aber unbedeutend ist. Nur in X - XI - XII erreicht $I_u = 21$ mm, da für diesen Einzugsbereich V_{pkm} mit 283 mm sehr klein bleibt. Hier verdunsteten 91 % des N_m , während in den übrigen Gebieten V_{pkm} immer höher liegt (vgl. Kap. 6.2.3 und Tab. 6).

Speicherung 1973 :

Für das hydrologische Winterhalbjahr 1973 wird die Speicherung S_u aller Gebiete nach Gleichung (6a bzw. 6b) berechnet. Sie liefert Werte, die das Bodenfeuchtedefizit des vorhergehenden Sommerhalbjahres nicht berücksichtigt. Erst die S_{uk} -Werte, die nach Gleichung (7) aus I_{uk} und A_u berechnet werden, geben die wahren Speicheränderungen wieder.

In den Teilgebieten, in denen E_u von E_o abweicht, wird S_{uk} nach Gleichung (8) bestimmt. In diesen Gebieten ist A_u durch A_{uk} in (8) ersetzt, das sich auf das veränderte E_u bezieht (vgl. Tab. 15).

Für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973 wird in Tabelle 16 ebenfalls S_u aufgeführt. Da bis auf drei Einzugsbereiche I_u immer negativ ist (s.o.), kann sich der Grundwasserspeicher aber nur um die A_u -Höhe reduzieren. Die S_u -Werte entsprechen daher den A_u -Werten. Nur in X, XII und X - XI - XII kann im Sommer S_u nach Gleichung (6a bzw. 6b) errechnet werden, da in diesen Gebieten eine positive Versickerung I_u vorhanden ist.

Speicherung im Winterhalbjahr 1972 / 73 :

Überwiegend wird im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 der Speicherinhalt aufgebraucht, d.h. S_{uk} wird negativ. Vergleicht man S_{uk} mit S_u , so ist S_u weit häufiger positiv als S_{uk} . Da das Winterhalbjahr 1973 mit seinen geringen Niederschlägen (vgl. Kap. 6.1.3) sehr trocken ist, erscheinen die negativen S_{uk} -Werte wesentlich wahrscheinlicher als die positiven S_u -Werte. Die Interpretation der S_{uk} -Werte bleibt jedoch problematisch, da bei der Berechnung der unterirdische Abfluß eingeht, dessen Höhe sich durch aus Fremdgebieten zuströmendes bzw. in Fremdgebiete abströmendes Grundwasser ändern kann. Dabei ist die Größenordnung der Grundwasserbewegung nicht bekannt. Nur durch den Vergleich der verschiedenen Einzugsgebiete kann auf mögliche Grundwasserbewegungen geschlossen werden.

Nach den hydrologischen Gegebenheiten kann das E_u anders abgegrenzt werden und A_{uk} bzw. S_{uk} neu berechnet werden. Diese Werte werden dann erneut auf ihre Interpretierbarkeit überprüft.

Wie bei der Grundwasserneubildung I_{uk} ist auch die Speicherung S_{uk} nach den im jeweiligen Einzugsgebiet hauptsächlich anstehenden Schichtfolgen zu gruppieren.

Wiederum lassen sich drei Gruppen von Einzugsgebieten unterscheiden. In die 1. Gruppe fallen die Buntsandsteingebiete, in die 2. Gruppe die Muschelkalkgebiete und in die 3. Gruppe lassen sich alle Gebiete mit Schichtkomplexen vom Buntsandstein bis

zu den tertiären Deckschichten eingliedern.

1 . G r u p p e :

Für die 1. Gruppe, in die nur das Einzugsgebiet I gehört, liegt S_{uk} im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 bei 1 mm. Da dieser Wert sehr klein ist, kann angenommen werden, daß in diesem Winter keine Speicherung und kein Aufbrauch stattfindet. Dieses Ergebnis entspricht den hydraulischen Eigenschaften des Buntsandsteins, die auch in Kapitel 7.4.3 aus der Bestimmung der α -Werte erkennbar sind. Durch die guten Speichereigenschaften des Sandsteins kann A_u über lange Zeiträume hinweg gleichmäßig abfließen (vgl. Kap. 7.3.1). Im Winterhalbjahr wird die als A_u abfließende Grundwassermenge durch die Versickerung I_{uk} wieder ergänzt, so daß sich der Speicherinhalt nur unmerklich ändert.

Durch ein $S_{uk} = 0$ mm könnte auch das Gebiet X - XI - XII (eigentlich 3. Gruppe) in die 1. Gruppe fallen. Für diese Möglichkeit spricht auch der hohe Buntsandsteinanteil von ca. 60 %. Der S_{uk} -Wert ergibt sich in X - XI - XII aber erst für ein A_{uk} , das auf ein $E_u = 70,4 \text{ km}^2$ ($E_o = 22,1 \text{ km}^2$) bezogen ist. Das E_u des Zwischeneinzugsgebietes X - XI - XII umfaßt in diesem Fall das gesamte Gebiet X mit den Teilgebieten XI, XII und X - XI - XII. Da der Buntsandstein in den Teilgebieten XI und XII fast vollkommen vom Muschelkalk überdeckt ist und das Vorflutniveau des Sandsteins nur im Gebiet X - XI - XII liegen kann, ist das große E_u realistisch, für das sich eine A_{uk} -Höhe von 23 mm ergibt, die dem A_u des Gebietes I entspricht und für den Buntsandstein charakteristisch ist.

2 . G r u p p e :

In der 2. Gruppe, zu der die Muschelkalkgebiete V und XI gehören, ist die Speicherung S_{uk} im Winter 1972/73 nur negativ. In beiden Gebieten zeigt S_{uk} mit -23 mm in V und mit -26 mm in XI einen fast gleich großen Grundwasseraufbrauch an, der bei sehr ähnlichen geologischen Verhältnissen und nahezu gleichen Flächenanteilen der verschiedenen Muschelkalkkomplexe auch zu erwarten ist.

Die Schichtabfolge beginnt in beiden Gebieten mit dem Unteren Muschelkalk (mu) und reicht über den Mittleren und Oberen Muschelkalk (mm und mo) bis zum Unteren Keuper (ku). In dieser Abfolge bilden mu und besonders mm einen Aquitard bzw. Aquiclude, so daß im mo, der im Hangenden ansteht, ein eigenes Grundwasserstockwerk ausgebildet ist. Nur an der Grenze mm zu mo treten deshalb Quellen auf.

Da der ku nur geringmächtig ist und auf kleine Flächen beschränkt bleibt, kann er bei den weiteren Betrachtungen vernachlässigt werden.

Durch die große Anzahl oft weit klaffender Klüfte, die in Aufschlüssen im mo außerhalb des Arbeitsgebietes beobachtet werden können, kann auch für den mo in V und XI ein großer Speicherinhalt und eine hohe Durchlässigkeit angenommen werden. In diesem Aquifer sind daher Änderungen des Speicherinhaltes in größerem Umfang zu beobachten als im Buntsandstein. Im trockenen hydrologischen Winter 1973 ist der Grundwasseraufbrauch im mo daher bedeutend höher als im Buntsandstein (vgl. Gruppe 1, Gebiet I).

3 . G r u p p e :

Der Einfluß des mo ist auch in der 3. Gruppe, die die Gebiete II, III, IV, IV - V, VI, VII, VII, IX, X, XII und D - K ohne (III bis XII) umfaßt, sehr deutlich. Fast in allen Gebieten dieser Gruppe ist Grundwasseraufbrauch festzustellen.

Die Speicheränderungen reichen im Winter 1972/73 von $S_{uk} = 5$ mm in D - K ohne (III bis XII) bis $S_{uk} = -42$ mm in IV.

Relativ hohe negative Vorratsänderungen treten in den Gebieten II, III, IV, VII, X und XII auf, in denen S_{uk} zwischen -32 mm und -42 mm liegt. Der Speicherinhalt nimmt in diesen Gebieten stärker ab als im mo (2. Gruppe, s.o.), obwohl auch Buntsandstein ansteht, der in I keiner Vorratsänderung unterliegt.

Da die Abnahme des Speicherinhaltes im Oberen Muschelkalk durch die Gebiete V und XI

(s. 2. Gruppe) bekannt ist, muß die größere Vorratsänderung der Gebiete II, III, IV, VII und XII auf einen stärkeren Rückgang des Grundwassers im Buntsandstein zurückgeführt werden. Es entsteht ein Mischwert, der sich aus dem S_{uk} -Wert des Oberen Muschelkalkes und dem S_{uk} -Wert des Buntsandsteins zusammensetzt.

Am Beispiel des Gebietes IV, das durch eine weitere Meßstelle im Oberlauf des Welschbilliger Baches in die Teilgebiete V (nur Muschelkalk) und IV - V (Buntsandstein und Muschelkalk) untergliedert wird, kann die größere Abnahme des Speicherinhaltes des Buntsandsteins bestätigt werden. Im Teilgebiet V ist im hydrologischen Winter 1973 $S_{uk} = -23$ mm, während für IV - V $S_{uk} = -67$ mm ergeben würde. Aus beiden Werten errechnet sich ein gewogenes Mittel $S_{uk} = -42$ mm, das die Flächen der beiden Teilgebiete berücksichtigt. Der gleiche S_{uk} -Wert ergibt sich auch aus I_{uk} und A_{uk} für das Gesamtgebiet IV (vgl. Tab. 15).

Die negative Vorratsänderung der Gebiete der 3. Gruppe, deren Buntsandsteinanteil in weiten Bereichen von Muschelkalk überdeckt wird, ist durch die Tatsache zu erklären, daß der Untere und Mittlere Muschelkalk relativ wasserundurchlässig ist und keine oder nur geringe Versickerung in den Buntsandstein zuläßt. Es kommt daher in diesen Gebieten nicht zu einem Ausgleich zwischen I_{uk} und dem A_u -Anteil wie in dem Gebiet I. Da A_u größer als I_{uk} wird, nimmt S_{uk} einen stärker negativen Wert an als im nicht abgedeckten Buntsandstein (vgl. Gebiet I).

Unter der Annahme, daß der Buntsandstein des Gebietes IV - V dem des Gebietes I gleicht, müßten in IV - V im Winter ebenfalls maximal 24 mm als A_u abfließen. Der A_u -Anteil ist in IV - V aber mit 82 mm im Winter 1972/73 bedeutend höher, so daß sich daraus $S_{uk} = -67$ mm errechnen würde. Sowohl A_u als auch S_{uk} sind für einen Buntsandsteinaquifer ungewöhnlich hoch.

Der größere A_u könnte durch eine größere Klufthäufigkeit des Buntsandsteins im Gebiet IV - V entstehen, für die es aber keinen Hinweis gibt. In IV - V abgeteufte Bohrungen zeigen z.B. bei Pumpversuchen keine erhöhten Ergiebigkeiten. Auch Quellen mit großen Schüttungsmengen treten nicht auf.

Eine andere Erklärung für den großen A_u scheint wesentlich wahrscheinlicher. Danach ist ein nach Westen erweitertes E_u die Ursache für den hohen unterirdischen Abfluß. Das E_u kann ohne Schwierigkeiten vergrößert werden, da der Buntsandstein des Gebietes IV - V sich nach Westen unter den Muschelkalk des Gebietes V fortsetzt und als hydraulische Einheit angesehen werden kann.

Die Größe des E_u des Gebietes IV - V könnte z.B. dem E_u des Gesamtgebietes IV entsprechen, für das sich bei $E_u = 31,9$ km² ein $A_{uk} = 34$ mm errechnet. Aus diesem A_{uk} und I_{uk} ergibt sich dann in IV - V eine Vorratsänderung $S_{uk} = -19$ mm (siehe Tab. 15).

Unter der Annahme, daß E_u noch größer als 31,9 km² ist, kann die negative S_{uk} noch kleiner werden oder sogar einen positiven Wert annehmen. Diese Möglichkeit ist durchaus realistisch, da der gesamte Bereich westlich von IV ebenfalls von Buntsandstein eingenommen wird, der durch Muschelkalk und Keuper überdeckt ist.

Nahezu gleiche Bedingungen, wie sie im Gebiet V vorliegen, sind im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 auch in den Einzugsgebieten II, III (vgl. Kap. 8.2.2) und VII (vgl. Tab. 15) anzutreffen, in denen im Winter ebenfalls E_u größer als E_0 sein muß. Über die Größe der unterirdischen Einzugsgebiete kann allerdings keine Aussage gemacht werden, da sie nach Westen unter dem Muschelkalk und Keuper nicht abgegrenzt werden können.

Im Gebiet II mit $S_{uk} = -40$ mm und in VII mit $S_{uk} = -35$ mm könnten die großen A_u -Werte und die daraus resultierenden S_{uk} -Werte allerdings auch durch eine größere Klufthäufigkeit im Buntsandstein hervorgerufen werden. Auf diese Möglichkeit deuten Kluftquellen in diesen Einzugsgebieten hin, die in VII z.B. in geringem Umfang für die Trinkwasserversorgung der Ortschaft Kyll genutzt werden. Auch Pumpversuche in Bohrungen im Gebiet II (Bohrung 61b mit 49 m³/h bei 40 m Absenkung) und nordöstlich von VII (Bohrung 9 mit 40 m³/h bei 38 m Absenkung) an der Kyll weisen darauf hin (vgl. Anlage 1). Gegenüber anderen Bohrungen weisen die Pumpeergebnisse eine erhöhte Ergiebigkeit auf, die auf eine größere Zahl grundwasserführender

Klüfte hindeuten.

Auch im Gebiet X sind die hydrogeologischen Bedingungen im Winter 1972/73 denen des Gebietes IV sehr ähnlich. Im Teileinzugsgebiet X - XI - XII, das mit dem Teilgebiet IV - V (s.o.) zu vergleichen ist, ergibt sich allenfalls eine große Vorratsänderung $S_{uk} = -51$ mm, wenn $E_u = E_o$ gesetzt wird. Erst wenn der hohe unterirdische Abfluß des Gebietes X - XI - XII (74 mm) auf das E_u des Gesamtgebietes X (70,4 km²) bezogen wird, ist $S_{uk} = 0$ mm und die Vorratsänderung des überwiegend von Buntsandstein aufgebauten Einzugsgebietes entspricht der des Buntsandsteingebietes I (s.o. S_{uk} der 1. Gruppe).

Die Vorratsänderung ist im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 in VI $S_{uk} = -16$ mm und in VIII $S_{uk} = -14$ mm. Beide Werte sind der Speicheränderung des Gebietes IV - V (s.o.) sehr ähnlich und liefern damit einen weiteren Hinweis für die Richtigkeit der oben gemachten Annahme, daß E_u in IV - V größer als E_o ist.

Obwohl im Gebiet IX 94 % der Einzugsgebietsfläche von Muschelkalk und Tertiär eingenommen wird, weicht die Vorratsänderung im hydrologischen Winter 1973 von S_{uk} vergleichbarer Muschelkalkgebiete der 2. Gruppe ab. Mit $S_{uk} = -4$ mm ist fast keine Vorratsänderung zu registrieren. Der geringe $A_u = 20$ mm und S_{uk} gleichen eher dem Buntsandsteingebiet I (1. Gruppe) als z.B. dem Gebiet IV (3. Gruppe). Die aus den Abflußdaten berechnete Vorratsänderung scheint sich demnach zu einem großen Teil auf den Oberen Buntsandstein (überwiegend so_2) des Gebietes IX zu beschränken. Der so_2 wird im Ostteil des Einzugsgebietes bis zu einer Mächtigkeit von ca. 50 m vom Keutelbach angeschnitten (vgl. Abb. 22 in Kap. 8.1, rechte Seite) und taucht nach Westen unter den Muschelkalk ab. Der meist sehr dichte Voltziensandstein so_2 (vgl. Kap. 3.3.2.2) hat anscheinend keine oder nur eine geringe hydraulische Verbindung zu den liegenden Buntsandsteinschichten.

Fast die gesamte westliche Hälfte des Gebietes IX wird von Oberem Muschelkalk aufgebaut, der in weiten Bereichen von Tertiär überdeckt ist. Die für dieses Teilgebiet festgestellte $S_{uk} = -4$ mm ist im Vergleich zu anderen Muschelkalkgebieten (vgl. 2. Gruppe) sehr klein. Zu erwarten wären 20 - 25 mm S_{uk} . Es muß daher angenommen werden, daß aus dem Oberen Muschelkalk ein Teil des Grundwassers aus dem Kyllgebiet nach Westen abfließt.

In dem Gebiet D - K ohne (III bis XII), das als Einzugsbereich ohne Abflußmeßstellen sich von Densborn (D) im Norden bis nach Kordel (K) im Süden erstreckt, ist im hydrologischen Winter 1973 $S_{uk} = 5$ mm.

Da S_{uk} aus Werten errechnet wird, die durch Differenzbildung zwischen dem Gesamtgebiet D - K und den Teilgebieten III bis XII entstanden sind, liegt diese Vorratsänderung im Bereich möglicher Meßfehler. Es könnte daher auch angenommen werden, daß die Vorratsänderung bei $S_{uk} = 0$ mm liegt. Da eine Änderung des Speicherinhaltes hauptsächlich durch den Buntsandstein, der ca. 70 % der Fläche einnimmt, beeinflusst wird, erscheint dieser Wert real und mit anderen Buntsandsteingebieten vergleichbar.

Andererseits gehört ein großer Teilbereich dem Oberen Muschelkalk an, der wie in IX den versickernden Niederschlag in Fremdgebiete abführen kann. Ein auf diese Weise entstehendes A_u -Defizit kann ebenfalls zu positiven S_{uk} -Werten führen.

Speicherung im Sommerhalbjahr 1973:

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 ist die Vorratsänderung S_u nur negativ, da fast kein Niederschlag versickert (Tab. 16).

Die Vorratsänderung zeigt in den Gebieten I bis XII und in D - K ohne (III bis XII) im Sommer deutliche Unterschiede.

Wie im Winterhalbjahr soll auch im hydrologischen Sommer zwischen Buntsandsteingebieten (1. Gruppe), Muschelkalkgebieten (2. Gruppe) und Einzugsgebieten mit beiden Schichtkomplexen (3. Gruppe) unterschieden werden. Dabei zeigt sich, daß in den meisten Teilgebieten nahezu die gleichen hydrologischen Bedingungen vorliegen, die auch im Winter 1972/73 festgestellt wurden.

1 . G r u p p e :

In der 1. Gruppe ergibt die Vorratsänderung im Gebiet I $S_u = -17$ mm, d.h. der Aquifer nimmt im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 im Gegensatz zum Winter geringfügig ab.

2 . G r u p p e :

Da das Grundwasser nicht durch versickernde Niederschläge ergänzt wird, steigt im Gebiet V der Grundwasseraufbrauch im Sommer auf $S_u = -39$ mm an.

Nur im Gebiet XI ist S_u mit -16 mm relativ klein. Vermutlich fließt ein Teil des Grundwassers nach Westen bzw. Südwesten zur Kyll hin ab, da die Schichten des Oberen Muschelkalkes in XI in diese Richtungen einfallen.

3 . G r u p p e :

In den Gebieten der 3. Gruppe reichen die S_u -Werte im Sommer 1973 von $S_u = 3$ mm in X - XI - XII bis $S_u = -47$ mm in IV.

Dicht beieinander liegen die S_u -Werte für die Gebiete IV-V, VI, VIII und XII zwischen -16 mm und -19 mm. Da die Abnahme des Speicherinhaltes etwa dem S_u des Buntsandsteingebietes I entspricht, kann dies als Bestätigung dafür angesehen werden, daß in diesen Gebieten das Grundwasser fast ausschließlich aus dem Buntsandstein stammt. Eindeutig trifft dies für die Gebiete VI und VII zu, in denen der Buntsandstein nur geringmächtig von Unterem Muschelkalk und Tertiär überlagert wird.

Für das Gebiet IV - V ist die A_u -Höhe wie im Winter auf das E_u des Gebietes IV bezogen (s.o.). Da der daraus errechnete S_u -Wert (-17 mm) gut mit anderen S_u -Werten des Buntsandsteins übereinstimmt, muß angenommen werden, daß das größere E_u auch im Sommerhalbjahr gerechtfertigt ist. Da A_u klein ist, muß nicht wie im Winter ein E_u vermutet werden, das noch größer als das E_u des Gebietes IV ist. Ein Grundwasserstrom aus der Bitburger Mulde ist demnach im Sommer nicht mehr vorhanden.

Für das Gebiet IV mit den Teilgebieten V (s.o., 2. Gruppe) und IV - V ist im Sommer $S_u = -47$ mm. Er stellt einen Mischwert dar, der sich als gewogenes Mittel aus S_u des Muschelkalkstockwerkes (Gebiet V) und dem S_u des Buntsandsteins (Gebiet IV - V) ergibt. Dieser Mischwert stellt jedoch nicht den realen S_u -Wert dar, da E_u des Buntsandsteins (IV - V) größer angesetzt werden muß. Das gewogene Mittel aus $S_u = 49$ mm in V und $S_u = -17$ mm in IV - V (E_u größer als E_0) ergibt die wahre sommerliche Vorratsänderung $S_u = 40$ mm.

Ähnliche Mischwerte wie in IV ergeben sich auch in den Gebieten II, III, VII und X. In allen vier Gebieten ist der Flächenanteil, der vom Oberem Muschelkalk eingenommen wird, aber kleiner als in IV. Der Einfluß des Muschelkalkes ist daher geringer. Auch die Mischwerte aus den Vorratsänderungen des Buntsandsteines und des Muschelkalkes sind daher mit $S_u = -32$ mm in II, mit $S_u = -37$ mm in III, $S_u = -30$ mm in VII und mit $S_u = -32$ mm in X geringer als in IV.

Da die Einzugsgebiete nur teilweise durch Meßstellen abgedeckt sind oder nicht zwischen reinen Muschelkalk- bzw. Buntsandsteingebieten unterschieden werden kann, ist für diese Gebiete im Sommer 1973 keine Angabe der wahren Vorratsänderung möglich.

Die A_u -Höhe des Teilgebietes X - XI - XII, die auf das E_u des Gebietes X bezogen $A_u = 24$ mm ergibt, stimmt mit dem A_u anderer Gebiete mit überwiegendem Buntsandsteinanteil gut überein. Da in X - XI - XII aber auch im hydrologischen Sommer 1973 ein Teil des Niederschlages versickert ($I_u = 21$ mm), weicht S_u von S_u vergleichbarer Gebiete ab. Mit $S_u = -3$ mm bleibt sie in X - XI - XII daher sehr klein.

Relativ klein bleibt $S_u = -10$ mm auch in IX. Wie im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 angenommen, scheint auch im Sommer die Vorratsänderung von dem großen Muschelkalkanteil des Einzugsgebietes IX nahezu unbeeinflusst zu sein, so daß hier keine Mischwerte wie in den vorher genannten Einzugsbereichen entstehen.

Der kleine S_u -Wert in IX deutet auf eine Vorratsänderung hin, die fast nur im Buntsand-

stein stattfindet.

Für den Oberen Muschelkalk ist keine Speicheränderung nachweisbar. Es kann nur vermutet werden, daß wie im Winter auch im Sommer ein A_U aus dem Oberen Muschelkalk nach Westen in die Bitburger Mulde vorhanden ist.

Für das Restgebiet D - K ohne (III bis XII), das im Kyllgebiet nicht durch Teileinzugsgebiete mit Abflußmeßstellen abgedeckt ist, kann im hydrologischen Sommer 1973 keine Vorratsänderung festgestellt werden. Wie in Kap. 7.3.3 ausgeführt, kann für dieses Gebiet kein A_U ermittelt werden, da aus der Differenz zwischen dem A_U des Gesamtgebietes D - K und der Summe aller A_U -Höhen der Teilgebiete III bis XII sich ein Fehlbetrag von $A_U = 24$ mm ergibt. Bezogen auf das Gesamtgebiet D - K beträgt dieser Fehlbetrag $A_U = 13$ mm und stellt einen Teil des Abflußdefizits dar, das in Kapitel 8.2 mit -24 mm bestimmt wird.

8.2.2 Grundwasserneubildung und Speicherung in den Teilgebieten des Kimmlinger Baches und des Lohrbaches

Grundwasserneubildung 1973:

Die Tiefenversickerung I_U kann für die kleinen Einzugsgebiete 9-14 im Lohrbach (I) und für 1-8 im Kimmlinger Bach (III), wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben, berechnet und zu I_{uk} korrigiert werden.

In den Tabellen 15 und 16 sind die Versickerungswerte der Gebiete 1 - 8, die Teilgebiete des Gebietes III darstellen, unter III aufgeführt. Entsprechend finden sich die Werte für die Teilgebiete 9 - 14 unter Ziffer I.

Die Untergliederung in drei Gruppen, wie sie in dem Kapitel 8.2.1 vorgenommen wird, kann für die kleinen Einzugsgebiete dieses Kapitels ebenfalls durchgeführt werden.

Da die Einzugsgebiete meist kleiner als 1 km^2 sind, liegen in den einzelnen Gruppen meist Gebiete vor, die nur von Buntsandstein oder nur von Muschelkalk eingenommen werden und keinerlei Beeinflussung durch andere Schichtkomplexe aufweisen.

Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr 1972 / 73:

1. Gruppe:

Im Gegensatz zum vorhergehenden Kapitel ist die 1. Gruppe der Einzugsgebiete mit Buntsandsteinvornacht in diesem Kapitel am häufigsten vertreten. In diese Gruppe gehören alle Teilgebiete im Lohrbachtal (I) und vier Teilgebiete des Kimmlinger Bachtals.

Im Gebiet I liegt I_{uk} im hydrologischen Winterhalbjahr 1973 in den Teileinzugsgebieten 9 - 14 und deren Zwischeneinzugsgebieten I - 9, 9 - 10, 10 - 11 - 12, 10 - 12, 12 - 13 und 13 - 14 im Mittel bei $I_{uk} = 24$ mm. Die Abweichung von diesem Mittel ist in allen Teilbereichen gering, da I_{uk} nur von 22 - 28 mm reicht (Abb. 26).

Wie in Kapitel 8.2.1 bereits erwähnt, weichen diese Werte durch den geringen N_m (vgl. Tab. 15) nicht wesentlich von I_{uk} der Muschelkalkgebiete ab.

Im Teilgebiet 2 (Einzugsbereich III) steigt I_{uk} durch den erhöhten N_m gegenüber den anderen Buntsandsteingebieten auf 34 mm an.

Trotz höherer Niederschläge ist in 1 - 2 und in III - (3 bis 8) I_{uk} nur 13 mm bzw. 11 mm. In beiden Teilgebieten zeigt sich deutlich der Einfluß der steilen Hänge, die A_0 gegenüber den flacheren Gebieten auf über 60 mm ansteigen läßt.

Im Gebiet 1 wirkt sich sowohl die geringe Versickerung des Teilgebietes 1 - 2 als auch die erhöhte Versickerung des Teilgebietes 2 aus, so daß an der Meßstelle 1 ein Mischwert $I_{uk} = 21$ mm entsteht.

2. Gruppe:

Die 2. Gruppe (Gebiete mit Muschelkalkvornacht) ist durch die Einzugsbereiche 4, 6, 7, 6 - 7 und 8 repräsentiert. In allen diesen Gebieten ist A_0 durch größere Flächenanteile von Mittlerem und Unterem Muschelkalk, die die Niederschläge nur in geringem Umfang in den Untergrund versickern lassen, höher als in den Buntsandsteingebieten. I_{uk} erreicht deshalb

nur Werte, die mit 28 - 29 mm auch für den Buntsandstein errechnet werden.

Für den Oberen Muschelkalk muß durch die größere Klufthäufigkeit I_{uk} höher angenommen werden. Da aber kein Einzugsgebiet vorliegt, in dem nur Oberer Muschelkalk ansteht, ergeben sich an den Meßstellen nur I_{uk} -Mischwerte aus Oberem, Mittlerem und Unterem Muschelkalk.

3 . G r u p p e :

Die Versickerungshöhe eines Mischgebietes, in dem sowohl Buntsandstein als auch Muschelkalk ansteht (3. Gruppe), kann in diesem Kapitel nicht beschrieben werden. Zwar kann das Gebiet 3 als Mischgebiet gelten, jedoch ist hier nur der Untere Muschelkalk in geringer Mächtigkeit und auf einer kleinen Fläche über dem Buntsandstein erhalten. Der Einfluß des Buntsandsteins überwiegt daher und das Gebiet 3 zeigt deutlich A_o - und A_u -Werte des Sandsteins (vgl. Kap. 7.3.3). Auch $I_{uk} = 31$ mm ist eher der I_{uk} des Gebietes 2 ähnlich, das in die 1. Gruppe gehört.

G r u n d w a s s e r n e u b i l d u n g i m S o m m e r h a l b j a h r 1 9 7 3 :
Da die Verdunstung V_{pkm} aller Gebiete im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 bereits über N_m liegt, wird die sommerliche Versickerung I_u (vgl. Kap. 6.0) nach Abzug von A_o immer negativ und ist als Verdunstung aus dem Boden zu deuten. Die I_u -Werte liegen zwischen -18 und -57 mm. Sie werden an dieser Stelle nicht weiter diskutiert und sind nur in der Tabelle 16 aufgeführt.

S p e i c h e r u n g 1 9 7 3 :

S p e i c h e r u n g i m W i n t e r h a l b j a h r 1 9 7 2 / 7 3 :

Die Vorratsänderung S_{uk} (vgl. Kap. 8.1) weicht im hydrologischen Winter 1973 in den Buntsandsteingebieten 2, 1 - 2 und 9 bis 14 von der in Kapitel 8.2.1 ermittelten Vorratsänderung ab. Für den Buntsandstein war in diesem Kapitel $S_{uk} = \pm 0$ mm ermittelt worden, während sich nun in den oben genannten Gebieten S_{uk} von -12 mm bis +24 mm ergibt.

1 . G r u p p e :

Nur im Gebiet 1 zeigt S_{uk} den für den Buntsandstein im Winter 1972/73 typischen Wert $S_{uk} = 1$ mm, der auch im Gebiet I (s.o.) ermittelt wurde. Obwohl das Gebiet 1 mit $0,4 \text{ km}^2$ sehr klein ist, gleicht es dem Lohrbachgebiet I in geologischer Hinsicht und in der Position zum Vorfluter, so daß sich auch die S_{uk} -Werte gleichen.

Die von I und 1 abweichenden S_{uk} -Werte der Gebiete I - 9 und 9 - 14 können durch die Tatsache erklärt werden, daß mehrere Grundwasserstockwerke vorliegen (vgl. Kap. 7.3.1).

Da der sm_4 (vgl. Kap. 3.3.1.4) als stauende Schicht anzusehen ist, kann sich über dem tieferen Grundwasserstockwerk, dessen Aquifer durch die Schichten des sm_1 bis sm_3 gebildet wird, ein zweites Grundwasserstockwerk im sm_5 ausbilden (Abb. 27 und 27a). Durch die über dem Stauhorizont sm_4 im Lohrbach auftretenden Schichtquellen kann dies belegt werden.

Hauptsächlich liegen die Quellen am SE-Hang des Lohrbachtales, z.B. über der Meßstelle 11, zwischen 11 und 12 und nordöstlich von Meßstelle 13 (vgl. Anlage 1). Die Schichten fallen auf dieser Talseite mit dem Hang ein.

Oberhalb der Meßstelle 14, über dem sm_4 , tritt das Grundwasser des oberen Stockwerkes an einer Oberfallquelle aus, da hier der sm_4 gegen den Hang einfällt. Durch dieses Schicht-einfallen wird auch der in Kapitel 7.3.1 vermutete Grundwasserabstrom in das westlich gelegene Nachbargebiet (Taurengrund) begünstigt.

Ein drittes Stockwerk kann im Oberen Buntsandstein so_1 (vgl. Kap. 3.3.2.1) ausgebildet sein, wenn an der Basis die sog. Violette Grenzzone (VG) als stauende Schicht vorhanden ist.

Im Lohrbach ist die VG in keinem Aufschluß nachweisbar. Lediglich Quellen am Osthang zwischen Meßstelle 12 und 13, die an der Grenze $sm_5 - so_1$ liegen, könnten auf eine lokal ausgebildete VG hindeuten.

Wie in Abbildung 27 und 27a dargestellt, gelangen die in die beiden oberen Stockwerke

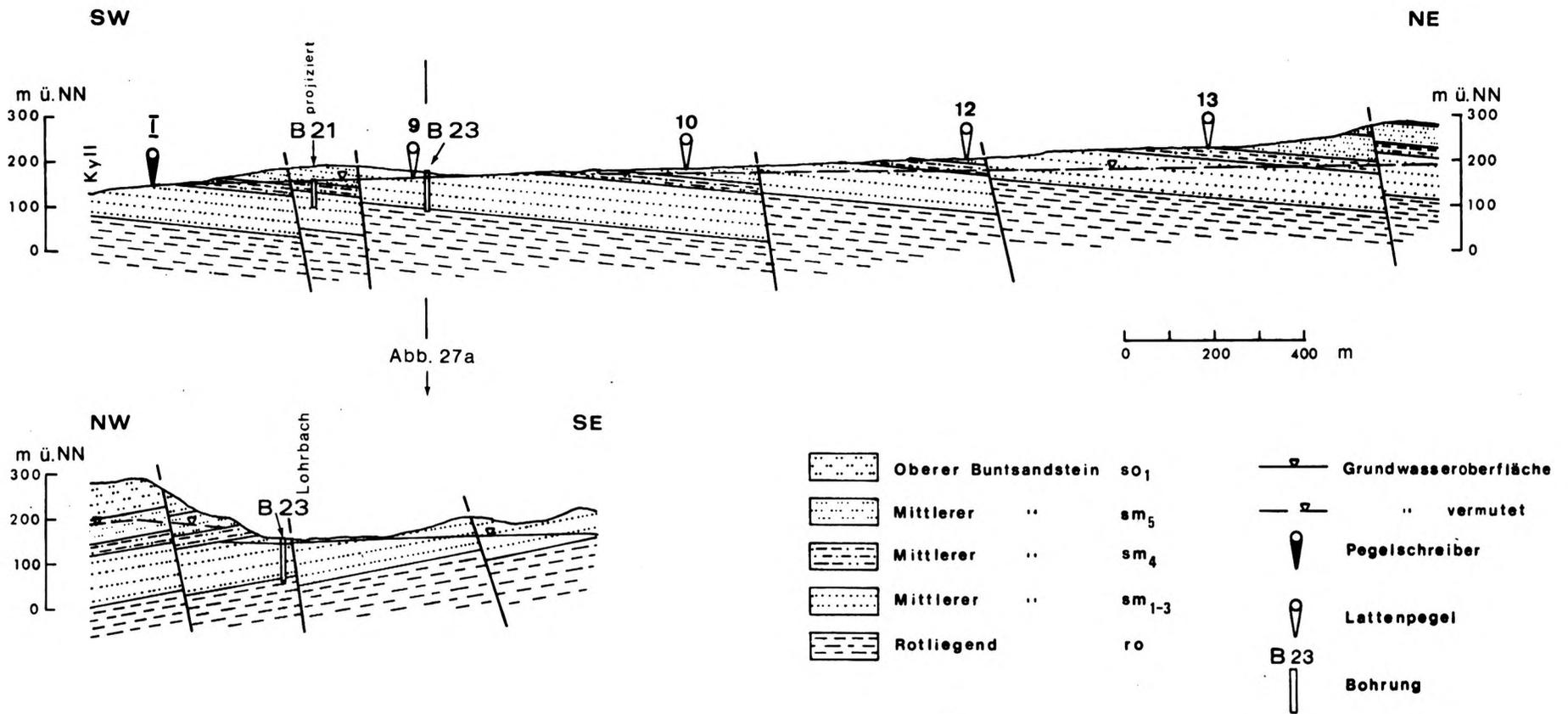


Abb. 27 und 27a: Schematische Profile durch das Lohrbachtal.
 Abb. 27 = parallel zum Lohrbach
 Abb. 27a = senkrecht zum Lohrbach (senkrecht zum Schichtstreichen),
 Lage der Profile, vgl. Anlage 1

(ohne VG nur ein Stockwerk) versickerten Niederschläge meist nicht in den nahegelegenen Vorfluter, sondern versinken über Störungen und Klüfte in das tiefere Stockwerk (Abb. 27a).

Die Grundwasseroberfläche des tieferen Stockwerkes muß in den Einzugsgebieten 9 - 10, 11, 10 - 11 - 12, 12 - 13, 13 - 14 und 14 im hydrologischen Jahr 1973 unter dem Vorflutniveau liegen. Einen Hinweis auf diese Tatsache liefert auch der Ruhewasserspiegel in der Bohrung 23 im Lohrbachtal (vgl. Anlage 1), der ca. 5 m unter der Talsohle liegt.

Das in den oben aufgeführten Meßgebieten fließende Grundwasser kann daher nicht an den Meßstellen 9 bis 14 erfaßt werden. Nur der über die Quellen abfließende Teil des Grundwassers (obere Stockwerke) kann an den Meßstellen registriert werden (vgl. A_U bzw. A_{Uk} in Tab. 15).

Der über Störungen und Klüfte, aber auch als Seihwasser aus dem Bachbett versickernde bzw. versinkende Teil des Niederschlages macht sich in erhöhten S_{Uk} -Werten bemerkbar (Tab. 15).

Zwischen Meßstelle 13 und 14 ist eine Abgabe von Oberflächenwasser aus dem Lohrbach an das tiefere Grundwasser nachweisbar, da in diesem Gebiet Bachschwinden vorhanden sind.

Im Teilgebiet I - 9, in dem auch die Bohrung 21 abgeteuft wurde, die zu einem Brunnen ausgebaut wurde (Leistung des Brunnens ca. $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), befindet sich die Grundwasseroberfläche nicht mehr unter dem Vorflutniveau. Entsprechend fällt $S_{Uk} = -7 \text{ mm}$ aus, die anzeigt, daß der Speicherinhalt aufgebraucht wird.

Einfachere Verhältnisse als im Lohrbach (I) liegen im hydrologischen Winter 1973 in den Teilgebieten 2 und 1 - 2 des Gebietes 1 im Kimmlinger Bachtal vor. Im Gebiet 2, in dem nur Oberer Buntsandstein (so_1 und so_2) ansteht, tritt nur ein Teil der I_{Uk} als A_U auf. Der größte Teil versinkt tiefer ($S_{Uk} = 24 \text{ mm}$), um in 1 - 2 als $A_U = 25 \text{ mm}$ auszutreten.

Das Zwischeneinzugsgebiet III- (3 bis 8), das überwiegend von Buntsandstein eingenommen wird, zeigt als einziges Buntsandsteingebiet eine hohe negative Vorratsänderung. Auch wenn E_U des Zwischeneinzugsgebietes um das Gebiet 3 (s.o.) auf $2,8 \text{ km}^2$ erweitert wird, bleibt $S_{Uk} = -42 \text{ mm}$. Selbst ein E_U , das das gesamte Bachgebiet III mit ca. 8 km^2 umfaßt, ergibt noch $S_{Uk} = -8 \text{ mm}$. Wie in Kapitel 8.2.1 vermutet, deutet dieser S_{Uk} -Wert auf eine Grundwasserzufuhr aus der Bitburger Mulde hin.

2 . G r u p p e :

In der 2. Gruppe (Muschelkalkgebiete), zu der die Gebiete 4, 6, 8 und die Teilgebiete 7 und 6 - 7 des Gebietes 6 gehören, können, bis auf das Einzugsgebiet 7, im hydrologischen Winter 1973 nur negative S_{Uk} -Werte ermittelt werden, d.h. der Grundwasservorrat wird aufgebraucht. Hauptsächlich wird dabei der Obere Muschelkalk mo entwässert, dessen Rückhaltevermögen gering anzusetzen ist (vgl. Kap. 8.2.1).

Da in 4 kaum mo ansteht, fällt auch $S_{Uk} = -8 \text{ mm}$ klein aus. Ein Teil des A_U muß in 4 aus dem liegenden Buntsandstein (so_2) stammen, so daß auch aus diesem Grund S_{Uk} klein bleibt.

In 7 steht zwar mo an, jedoch muß, nach $S_{Uk} = 1 \text{ mm}$ und $A_U = 20 \text{ mm}$, angenommen werden, daß der mo Grundwasser an die Gebiete 6 - 7 und 8 abgibt (s.u.). Betrachtet man die hohen A_U -Werte der Nachbargebiete, so erscheint eine Grundwasserableitung aus 7 zwingend (Tab. 15). Auch die, als isolierte Schollen vorliegenden mo -Schichtkomplexe lassen nach geologischen Gesichtspunkten eine Ableitung in Fremdgebiete wahrscheinlich erscheinen. Der geringe $A_U = 20 \text{ mm}$ stammt demnach fast ausschließlich aus dem Unteren Keuper (vgl. Kap. 3.5.1), in den auch Sandsteinpartien eingeschaltet sind. Die Vorratsänderung könnte daher auch mit $S_{Uk} = 1 \text{ mm}$ einen Wert annehmen, der sonst nur im Buntsandstein vorkommt (vgl. Kap. 8.2.1). Beide Sandsteinkomplexe hätten nach dem obigen Ergebnis ähnliche hydraulische Eigenschaften.

In den Gebieten 6 - 7 und 8 steigt A_U , im Verhältnis zu den Nachbargebieten, im Winter 1972/73 stark an. Wie oben bereits angeführt, ist dieser A_U -Anstieg auf eine Grundwasserzufuhr aus den Nachbargebieten zurückzuführen (vgl. Kap. 7.3.2).

Für das Gebiet 8, in dem über dem gegen den Hang einfallenden Mittleren Muschelkalk das Grundwasser des mo als Oberfallquelle austritt, ist die Abgrenzung des E_U nach den geolo-

Meßstelle Nr.	N _m	A _o	A _u	A _{uk} bei E _u diff. [km ²]	I _u	I _{uk}	S _u	S _{uk}	vorherrsch.
I	225	6	24		69	25	45	1	B
9	229	2	18		77	28	59	10	B
I-9	245	34	70	29 / 1,1	61	22	-9	-7	B
10	221	3	19		68	24	49	5	B
9-10	221	--	14		71	25	57	11	B
11	221	1	10		70	25	60	15	B
12	221	2	16		69	25	53	9	B
10-11-12	221	11	51	7 / 2,8	60	22	9	15	B
10-12	221	5	26	9 / 2,8	66	24	40	15	B
13	221	3	8		68	24	60	16	B
12-13	221	--	35	10 / 1,8	71	25	36	15	B
14	221	12	12		59	22	47	10	B
13-14	221	3	7		68	24	61	17	B
II	247	34	63		63	23	0	-40	B-T
III	246	33	69	56 / 8,0	63	23	-6	-33	B-T
1	249	41	20		58	21	38	1	B
2	249	5	10		94	34	84	24	B
1-2	249	63	25		36	13	11	-12	B
3	244	8	4		86	31	82	27	B-M
4	244	15	34	36 / 1,3	79	28	45	-8	M
5	244	--	--		--	--	--	--	M
6	244	13	64	79 / 1,4	81	29	17	-50	M
7	244	12	20	28 / 1,0	82	29	62	1	M
6-7	244	17	172	105 / 0,8	77	28	-95	-77	M
				62 / 1,4				-34	
8	244	15	248	67 / 2,0	79	28	-169	-39	M
III-(3 bis 8)	246	65	62	53 / 2,8	31	11	-31	-42	B
				19 / 8,0				-8	
IV	259	40	66	67 / 31,2	69	25	3	-42	B-T
V	265	28	54		87	31	33	-23	M
IV-V	250	57	82	34 / 31,2	43	15	-39	-19	B-T
VI	258	34	43		74	27	31	-16	B-T
VII	246	27	60		69	25	-9	-35	B-T
VIII	239	38	32		51	18	19	-14	B-T
IX	235	40	20		45	16	25	-4	B-T
X	217	17	59		50	18	-9	-41	B-T
XI	225	25	44		50	18	6	-26	M
XII	213	49	37		14	5	-23	-32	B-T
X-XI-XII	215	--	74	23 / 70,4	65	23	-9	0	B
D-K ohne (III bis XII)	259	--	34		109	39	75	5	B-T
D-K	240	7	43	29 / 500	83	30	40	1	B-T

Tab. 15: Wasserbilanzdaten für das hydrologische Winterhalbjahr 1973 der Einzugsgebiete im Kyllgebiet zwischen Densborn (D) und Kordel (K). V_{DKM} aller Gebiete = 150 mm. A_{uk} bei E_u diff. = E_u weicht von E_o ab, B = Buntsandstein, M = Muschelkalk, T_{uk} = Tertiar.

Meßstelle Nr.	N _m	V _{pkm}	A _o	A _u	A _{uk} bei E _u diff. km ²	I _u	S _u	S _u bei E _u diff.	vorherrsch.
I	345	366	6	17		-27	-17		B
9	348	371	4	16		-27	-16		B
I-9	352	391	15	25	2 / 1,1	-54	-25	-2	B
10	344	361	4	17		-21	-17		B
9-10	344	361	1	8		-18	- 8		B
11	344	361	2	11		-19	-11		B
12	344	361	3	12		-20	-12		B
10-11-12	344	361	15	48	7 / 2,8	-32	-48	-7	B
10-12	344	361	7	25	9 / 2,8	-24	-25	-9	B
13	344	361	4	6		-21	- 6		B
12-13	344	361	1	28	8 / 1,8	-18	-28	-8	B
14	344	361	2	4		-19	- 4		B
13-14	344	361	4	7		-21	- 7		B
II	370	406	14	32		-50	-32		B-T
III	387	420	6	46	37 / 8,0	-39	-46	-37	B-T
1	353	396	11	14		-54	-14		B
2	353	396	7	7		-50	- 7		B
1-2	353	396	14	19		-57	-19		B
3	404	431	4	2		-31	- 2		B-M
4	404	431	7	15	16 / 1,3	-34	-15	-16	M
5	404	431	--	--		--	--		M
6	404	431	6	46	57 / 1,4	-33	-46	-57	M
7	404	431	4	13	18 / 1,0	-31	-13	-18	M
6-7	404	431	11	124	75 / 0,8	-38	-124	-75	M
					44 / 1,4			-44	
8	404	431	14	207	56 / 2,0	-41	-207	-56	M
III-(3 bis 8)	387	420	5	34	29 / 2,8	-38	-34	-29	B
					10 / 8,0			-10	
IV	328	364	11	46	47 / 31,2	-47	-46	-47	B-T
V	322	361	12	39		-51	-39		M
IV-V	339	369	9	55	17 / 31,2	-39	-55	-17	B-T
VI	350	400	12	19		-62	-19		B-T
VII	316	344	8	30		-36	-30		B-T
VIII	323	334	7	16		-18	-16		B-T
IX	337	344	5	10		-12	-10		B-T
X	277	265	6	38		6	-32		B-T
XI	276	280	4	16		-8	-16		M
XII	271	259	9	22		3	-19		B-T
X-XI-XII	283	258	4	78	24 / 70,4	21	-57	- 3	B
D-K ohne (III bis XII)	313	346	6	--		-39	--		B-T
D-K	317	330	6	2		-19	-2		B-T

Tab. 16: Wasserbilanzdaten für das hydrologische Sommerhalbjahr 1973 der Einzugsgebiete im Kyllgebiet zwischen Densborn (D) und Kordel (K).
A_{uk} bei E_u diff. = E_u weicht von E_o ab, B = Buntsandstein, M = Muschelkalk,
T = Tertiär.

gischen Gegebenheiten relativ einfach. Das E_u kann auf den m_o des Gebietes 7 und den m_o des Gebietes IV - V (südwestlich der Ortschaft Möhn) ausgedehnt werden (Abb. 14 in Kap. 7.1). Durch das erweiterte E_u (ca. 2 km²) kann ein als realistisch anzusehender Aufbrauch des Speichers von $S_{uk} = -39$ mm errechnet werden. Bei $E_u = E_o$ ergeben sich $S_u = -169$ mm.

Wesentlich schwieriger ist eine E_u -Begrenzung für das Gebiet 6 - 7 vorzunehmen. Im ersten Fall, bei dem E_u nur um den im Nachbargebiet 7 anstehenden m_o erweitert wird, ergibt sich eine Vorratsänderung $S_{uk} = -77$ mm, die als zu hoch anzusehen ist. Im zweiten Fall entspricht E_u fast dem gesamten unterirdischen Einzugsgebiet von 6. Nur der m_o -Anteil, der zum Gebiet 8 hin entwässert (s.o.), bleibt unberücksichtigt. In diesem Fall gleicht $S_{uk} = -34$ mm fast genau der Vorratsänderung des Einzugsbereiches 8 und scheint dem realen Wert sehr nahe zu sein.

Auch für das Gebiet 6 (Teilgebiete von 6 sind 7 und 6 - 7) muß der m_o -Anteil, der in das Gebiet 8 entwässert, berücksichtigt werden. Die S_{uk} , bei einem gegenüber E_o verkleinerten $E_u = 1,4$ km², beträgt dann $S_{uk} = -50$ mm und zeigt an, daß der Grundwasseraufbrauch größer als im Gebiet 8 ist. Die höhere Vorratsänderung entsteht in 6 wahrscheinlich durch die mit dem Hang einfallenden Schichten. Vor allem der m_o kann in diesem Fall mehr Grundwasser an den Vorfluter abgeben als im Gebiet 8 (s.o.).

3 . G r u p p e :

Nur das Gebiet 3 kann in diesem Kapitel der 3. Gruppe von Einzugsgebieten mit Buntsandstein und Muschelkalk zugeordnet werden. Ein $S_{uk} = 27$ mm zeigt allerdings deutlich, daß im Winterhalbjahr 1972/73 der Einfluß des Buntsandsteins (vgl. 1. Gruppe, oben) in 3 überwiegt. Die geringmächtige Oberdeckung des Buntsandsteins durch den Unteren Muschelkalk wirkt sich nicht auf S_{uk} aus. Wie im Gebiet 2 (1. Gruppe) versickert bzw. versinkt ein erheblicher Teil des Niederschlages in den so_2 und fließt dem Kimmlinger Bach zu.

S p e i c h e r u n g i m S o m m e r h a l b j a h r 1 9 7 3 :

Im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 ist die Vorratsänderung S_u in allen Gebieten negativ, da keine bzw. eine zu vernachlässigend kleine Versickerung vorhanden ist. S_u entspricht daher dem jeweiligen A_u der einzelnen Gebiete (Tab. 16).

Entsprechend dem A_u -Verhalten des Buntsandsteins (vgl. Kap. 7.3.1 und 7.4.1) fällt S_u dieser Gebiete = 1 . G r u p p e mit $S_u = -2$ mm bis $S_u = -19$ mm klein aus, während S_u in den Muschelkalkgebieten = 2 . G r u p p e von $S_u = -16$ mm bis -57 mm reicht. Dabei ist S_u für einige Gebiete bereits auf ein von E_o abweichendes E_u bezogen (Tab. 16, letzte Spalte).

9. AUSWERTUNG VON PUMPVERSUCHEN

In den über 80 Bohrungen und Brunnen im Einzugsgebiet der Kyll zwischen Densborn und Kordel und in Bohrungen westlich der Kyll wurden Pumpversuche durchgeführt.

Die Pumptests wurden meist in den unverrohrten Aufschlußbohrungen mit der Mammutpumpe vorgenommen. Zum Zeitpunkt des Abschlusses der Arbeit standen nur wenige ausgebaute Brunnen zur Verfügung.

Da es den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, alle durchgeführten Pumptests auszuwerten und zu interpretieren, wurden nur 20 Tests berücksichtigt, um die Gebirgsdurchlässigkeit im Bitburg-Trierer-Raum abschätzen zu können.

Die Pumpversuche wurden teils nach dem Verfahren von THEIS und teils nach dem Verfahren von JACOB ausgewertet. Bei 9 Versuchen wurden beide Verfahren angewendet, wobei eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse festgestellt werden konnte.

Aus beiden Verfahren läßt sich die Transmissivität T und der Speicherkoeffizient S berechnen. Der Durchlässigkeitsbeiwert k kann dann aus T und der Mächtigkeit des Aquifers nach

der Gleichung $k = T \cdot M$ ermittelt werden.

Für den gesamten Buntsandstein (sm + so) wurde die mittlere Transmissivität mit $T = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (die Werte liegen zwischen $3,2 \cdot 10^{-4}$ und $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ in einem engen Bereich, da auch die Mächtigkeit des Aquifers nur gering schwankt) und ein mittlerer k - Wert von $k = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (die Werte liegen zwischen $8,4 \cdot 10^{-6}$ und $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$) ermittelt. Das schließt nicht aus, daß partiell auf Klüften größere k -Werte entstehen können.

Im Mittleren Buntsandstein (sm) liegt T im Mittel mit $T = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ($2,0 \cdot 10^{-4}$ bis $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) etwas höher als im gesamten Buntsandstein, da im sm im Gegensatz zum überwiegend feinkörnigen so ein größeres Porenvolumen vorhanden ist.

Eine bedeutend höhere Transmissivität als der Sandstein weist der Obere Muschelkalk auf. In einer Bohrung im Prümatal beträgt $T = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Verfahren nach JACOB) bzw. $T = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Verfahren nach THEIS).

Andere Bohrungen im Prüm- und Nimstal, die auch Keuper und Mittleren Muschelkalk durchteufen, zeigen T -Werte, die den Werten des Buntsandsteins ähneln. Diese Werte entstehen durch die große Transmissivität des Oberen Muschelkalks und den im selben Bohrloch anstehenden Mittleren Muschelkalk, der stauend wirkt. Der Speicherkoeffizient S liegt für den Mittleren Buntsandstein im ungespannten Grundwasser bei ca. 0,01.

Andere Werte für S von $1 \cdot 10^{-6}$ bis $3 \cdot 10^{-5}$ deuten auf gespanntes Grundwasser. S -Werte dieser Größenordnung finden sich nur in den Bohrungen westlich des Kylltales im Zentrum der Bitburger Mulde.

Für den Oberen Muschelkalk ergibt sich ein durchschnittlicher Speicherkoeffizient, der bei $S = 0,02$ liegt und auf den hohen Durchtrennungsgrad durch Störungen und Klüfte zurückzuführen ist.

10. HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

In den Jahren 1970 bis 1973 wurden 106 Wasserproben aus dem Kyll Einzugsgebiet zwischen Densborn und Ehrang hydrochemisch untersucht.

Neben allgemein interessierenden Parametern, wie z.B. pH-Wert, Härte, Leitfähigkeit, KMNO_4 -Verbrauch etc. wurden für 90 Proben folgende Ionen analysiert bzw. errechnet: die Kationen Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} und die Anionen Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- und SO_4^{--} . Mit diesen Werten wird eine Typisierung der Wässer möglich, wie sie LANGGUTH (1966) vornimmt (Abb. 28).

Bis auf die Kationen Na^+ und K^+ wurden die Analysen durch das Labor der Stadtwerke Trier ausgeführt, bei denen die Analysendaten hinterlegt sind.

In 55 Proben, die fast ausschließlich aus dem südlichen Teil des Kyll Einzugsgebietes zwischen Ehrang und Kordel stammen, wurden vom Verfasser außerdem die Kationen Natrium, Kalium und Lithium mit dem Flammenphotometer sowie Strontium und Kupfer mit dem Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS) bestimmt.

Während Lithium und Kupfer nur in sehr geringen Konzentrationen an der Nachweisgrenze liegen bzw. nicht nachweisbar sind, ergeben sich für das Strontium Werte zwischen 0,03 und 0,42 mg/l. Im Buntsandstein erreicht Strontium im Mittel ca. 0,05 mg/l. Nur in Gebieten mit Muschelkalkeinfluß steigt Sr^{++} auf Werte um 0,15 mg/l an, im reinen Muschelkalkgebiet 8 auf 0,18 mg/l.

Höhere Sr-Gehalte ergeben sich mit 0,42 mg/l für den Kimmlinger Bach an der Meßstelle III und beim 2. Pumpversuch im Brunnen Auw, der dicht neben dem Bohrpunkt 9b (vgl. Anlage 1) ausgebaut wurde.

Unter der Annahme, daß an der Meßstelle III Grundwasser aus der Bitburger Mulde in den Vorfluter gelangt (vgl. Kap. 6.2.1), kann das Wasser der Meßstelle III und das Brunnenwasser als Tiefengrundwasser aus der Bitburger Mulde angesehen werden. Obwohl nur diese beiden Proben erhöhte Sr-Werte aufweisen, liegt die Vermutung nahe, daß sich hier der Einfluß von

westlich der Kyll versunkenen Niederschlägen zeigt. Möglicherweise wird die Sr-Erhöpfung durch die im Zentrum der Bitburger Mulde tief liegenden Muschelkalk- und Keuperschichten hervorgerufen.

Durch eine gezielte Probennahme und eine größere Probenzahl könnte die Richtigkeit dieser Vermutung überprüft werden. Dies muß jedoch einer späteren Bearbeitung überlassen bleiben.

Entsprechend der Lage im Diagramm, das LANGGUTH (1966) zur Typisierung süßer Grundwässer verwendet, können nach der geologischen Herkunft bei den Quell- und Vorflutwässern (Abb. 29) im Kyll-einzugsgebiet drei Typen unterschieden werden:

- ... 1. Wasser aus reinen Buntsandsteingebieten
- ... 2. Wasser aus reinen Muschelkalkgebieten
- ... 3. Mischwässer aus 1. und 2.

Bei den Brunnenwässern (Abb. 30) kann eine solche Typisierung nicht vorgenommen werden.

Alle Brunnen sind zwar in den Buntsandstein abgeteuft, ihre Zusammensetzung zeigt jedoch nicht die eines Buntsandsteinwassers. In einem Teil der Bohrungen und Brunnen richtet sich die chemische Beschaffenheit nach den in der Umgebung anstehenden Muschelkalkkomplexen, deren Grundwasser stärker mineralisiert ist als das des Buntsandsteins (vgl. Abb. 29 und 30). In den meisten Fällen liegen, wie in Kap. 10.2 ausgeführt, allerdings Austauschwässer vor.

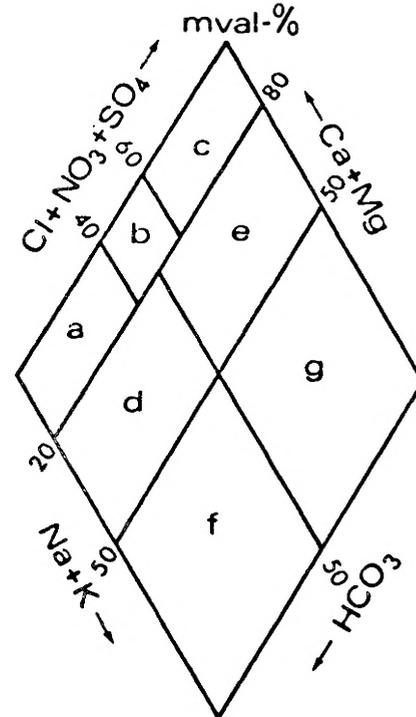


Abb. 28: Grundwassertypen nach LANGGUTH (1966).

10.1 Quell- und Vorflutwässer

10.1.1 Wässer aus reinen Buntsandsteingebieten

Diese Wässer, die hauptsächlich aus dem Lohrbachgebiet (I) stammen, können als erdaikalische Süßwässer mit höherem Alkalianteil, überwiegend sulfatisch bezeichnet werden.

Der pH-Wert reicht von 5,2 bis 7,3. Die Wässer dieses Typs sind damit sauer bis schwach alkalisch, meist jedoch sauer.

Die Leitfähigkeit (bei 20⁰ C) schwankt zwischen 57 und 103 $\mu\text{S cm}^{-1}$ und bestätigt damit die geringe Gesamtmineralisation der Buntsandsteinwässer, die von 0,78 mval/l bis 1,15 mval/l reicht.

Die Gesamthärte ist in allen Proben sehr gering. In fast allen Wässern ist die Nichtkarbonathärte mit 0,6 - 2,0 ⁰dH wesentlich höher als die Karbonathärte.

Mit 21 bis 33 mg/l ist SO_4^{--} an der Gesamtmineralisation am stärksten beteiligt. Die übrigen Gehalte liegen bei:

- Na^+ = 3,6 bis 9,2 mg/l
- K^+ = 1,7 bis 4,6 mg/l
- Ca^{++} = 2,1 bis 8,6 mg/l
- Mg^{++} = 2,3 bis 6,7 mg/l
- Cl^- = 5 bis 14 mg/l
- NO_3^- = 0,6 bis 6,5 mg/l.

10.1.2 Wässer aus reinen Muschelkalkgebieten

Aus Gebieten, in denen nur Muschelkalk bzw. karbonatische Folgen des Keupers anstehen, stammen 4 Analysen.

Nach Abbildung 29 handelt es sich um überwiegend hydrogencarbonatische, normal erdaika-

liche Süßwässer.

Der pH-Wert dieser Wässer liegt meist im schwach alkalischen Bereich zwischen 7,4 und 8,2, kann sich aber auch bis 8,4 in den phenolphthalein-alkalischen Bereich erhöhen.

Die Leitfähigkeit ist mit 459 bis 621 $\mu\text{S cm}^{-1}$ im Gegensatz zu den Buntsandsteingebieten um ein Vielfaches höher. Die Gesamtmineralisation erreicht in den Muschelkalkwässern Werte von 6,98 mval/l bis 7,88 mval/l.

Herkunft der Wässer

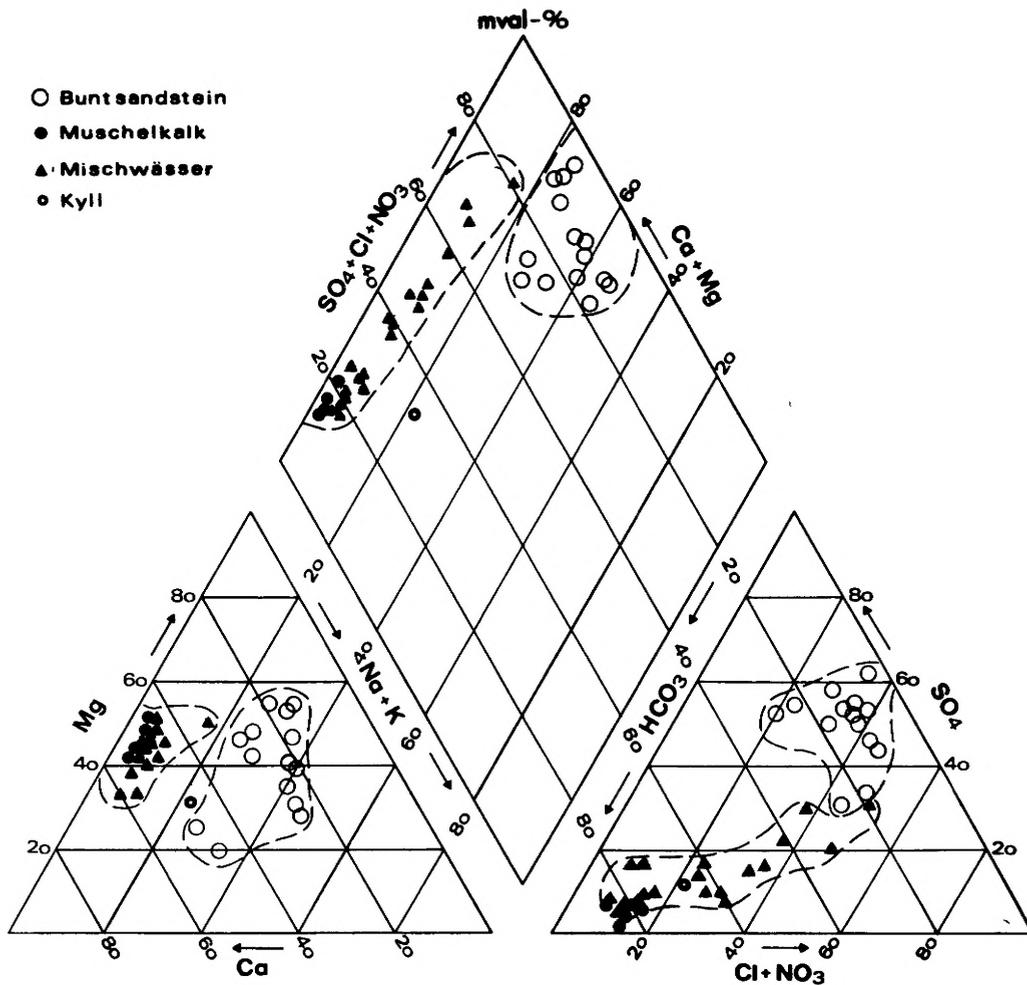


Abb. 29: Quell- und Vorflutwässer aus dem Kyll Einzugsgebiet.

Der lithologischen Position entsprechend fallen auch die Gesamthärten hoch aus und liegen zwischen 18,1 und 21,5 $^{\circ}\text{dH}$. Die Gehalte liegen bei:

HCO_3^-	=	366,0 bis 391,6	mg/l
Ca^{++}	=	61,2 bis 85,8	mg/l
Mg^{++}	=	38,4 bis 47,8	mg/l
Cl^-	=	14 bis 20	mg/l
NO_3^-	=	10,5 bis 20,5	mg/l
SO_4^{--}	=	3 bis 24	mg/l

10.1.3 Mischtypwässer

Geologisch unterschiedlich aufgebaute Einzugsgebiete sind im Kyllgebiet am häufigsten vertreten, so daß in diesen Bereichen Mischtypwässer entstehen können.

Der Grundwassertyp entspricht den Flächen- bzw. den Volumenanteilen der verschiedenen geologischen Schichtkomplexe, die im jeweiligen Einzugsgebiet anstehen. Die entstehenden Grundwassertypen reichen von einem fast reinen Muschelkalkwasser (s.o. Kap. 10.1.2), das als überwiegend hydrogencarbonatisches normal erdalkalisches Wasser vorliegt, über einen mehr hydrogencarbonatisch-sulfatischen Typ, bis zu einem überwiegend sulfatischen normal erdalkalischen Typ (Abb. 29). Die chemische Zusammensetzung dieser Wässer entspricht der Variationsbreite der in Kapitel 10.1.1 und 10.1.2 aufgeführten Ionenkonzentrationen, die deshalb hier nicht noch einmal aufgeführt werden sollen.

Zusätzlich treten geringe anthropogene Einflüsse auf, die sich hauptsächlich in der Kyll durch leicht erhöhte NO_3^- und PO_4^{3-} -Werte bemerkbar machen.

In Abbildung 29 und 30 ist das Kyllwasser, dessen Zusammensetzung aus 18 Analysen (Dezember 1971 bis April 1973) mit sehr ähnlichen Ionenkonzentrationen gemittelt wurde, gesondert dargestellt.

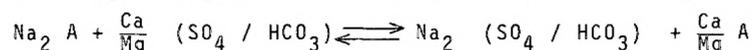
In Abbildung 29 liegt dieser Mittelwert außerhalb der für die anderen Vorfluter feststellbaren Felder (Buntsandstein-, Muschelkalk- und Mischwasserfeld).

10.2 Grundwasser aus Bohrungen und Brunnen

Obwohl alle Bohrungen und Brunnen im Oberen bzw. im Mittleren Buntsandstein abgeteuft sind, liegen diese Grundwässer nicht in dem in Kapitel 10.1.1 beschriebenen Bereich des überwiegend sulfatischen Typs mit höherem Alkaligehalt (Abb. 30).

Eine Erhöhung des Hydrogencarbonatanteiles ist in dem Grundwasser aller Bohrungen feststellbar, die in dem Buntsandsteinbereich zwischen Kordel und Ehrang abgeteuft sind. Dieser Bereich (z.B. im Lohrbachtal) ist vom Muschelkalk unbeeinflusst.

Mit der Erhöhung des Hydrogencarbonatanteiles geht in diesen Wässern eine Erhöhung des Na + K-Anteiles einher. Es entstehen überwiegend hydrogencarbonatische, erdalkalische Wässer mit höherem Alkalianteil bzw. überwiegend hydrogencarbonatische und überwiegend sulfatisch-chloridische, alkalische Wässer (vgl. Abb. 28). Die Entstehung dieser Grundwassertypen kann auf Ionenaustauschvorgänge zurückgeführt werden, wie sie z.B. SCHWILLE (1954) beschreibt. Danach kann unter Mitwirkung von SO_4^{2-} und HCO_3^- beispielsweise das Kation Na^+ leicht gegen Ca^{++} und Mg^{++} ausgetauscht werden (A = Austauschmasse):



Im Bereich des Lohrbaches (vgl. Abb. 29, Buntsandsteinwässer), dessen Quell- und Vorflutwässer hohe Mg^{++} - und SO_4^{2-} -Anteile aufweisen (Mg^{++} ca. 40-50 mval % und SO_4^{2-} ca. 50-60 mval %), entsteht durch Ionenaustausch im tieferen Grundwasser ein Na- SO_4 -Wasser (Mg^{++} und SO_4^{2-} nur noch ca. 20-30 mval %).

Als Ionenaustauscher reagieren wahrscheinlich Feldspäte und Glimmer im Buntsandstein, die Na^+ enthalten. Nach SCHWILLE (1954) stammen diese Austauschwässer häufig aus Gesteinen mit geringer Durchlässigkeit, da größere Fließgeschwindigkeiten die Austauschkapazität in kurzer Zeit erschöpfen würden.

Auf den Hochflächen nördlich von Kordel tritt beiderseits der Kyll der Muschelkalk in größerer Verbreitung auf. In diesem Gebiet läßt sich die geringe Entfernung zum Muschelkalk an den Analysendaten ablesen. Erhöhte Hydrogencarbonatanteile und ein Ansteigen der Gesamthärte bis auf 29 °dH treten auf. Diesen Zusammenhang hat auch WEILER (1972) beschrieben.

Trotz des relativ wasserundurchlässigen Mittleren Muschelkalkes deutet der Einfluß des Muschelkalkes auf den Buntsandstein an, daß ein Teil der versickernden Niederschläge auf Trennfugen zwischen den einzelnen Schollen (vgl. Kap. 4) in den Buntsandstein absinken. Über den zeitlichen Verlauf dieses Vorganges kann allerdings keine Aussage gemacht werden.

Andere Wässer zeichnen sich durch hohe Cl-Gehalte von über 100 mg/l aus, die in Bohrung 11 (siehe Anlage 1) sogar 808 mg/l erreicht. Auch der Sulfatgehalt liegt in dieser Bohrung mit 114 mg/l sehr hoch.

Herkunft der Wässer

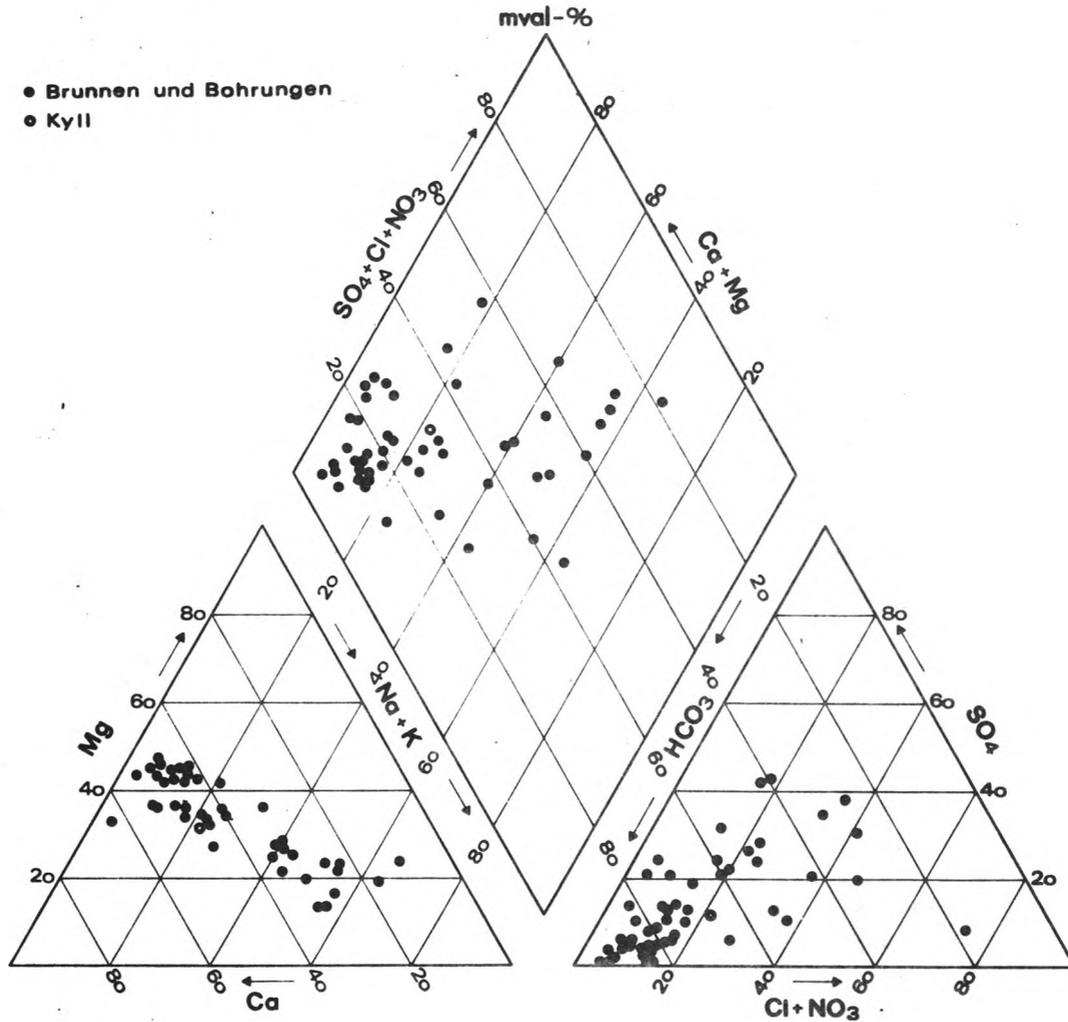


Abb. 30: Wässer der Brunnen und Bohrungen aus dem Kalleinzugsgebiet und Wasser der Kyll.

In diesen Fällen kann angenommen werden, daß fossiles Grundwasser vorliegt. Diese Wässer werden nur in Bohrungen angetroffen, die nördlich der Deimplinger Devonschwelle liegen. Es ist zu vermuten, daß sich das spezifisch schwere Wasser in vom Wasserkreislauf unberührten Vertiefungen des devonischen Reliefs erhalten hat. Die höheren Cl-Gehalte wurden z.B. in Bohrung 11 erst während des 2. Pumpversuches bei einer Endteufe von 274 m ermittelt. Bei dem 1. Pumpversuch (Bohrlochtiefe 106 m) wurden nur 12 mg/l Cl^- und 2 mg/l SO_4^{--} festgestellt.

11. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Im Bereich der Bitburger Mulde lassen sich drei Grundwasserstockwerke unterscheiden. Vom Hangenden zum Liegenden sind dies:

- ... 1. Stockwerk im Luxemburger Sandstein (Lias)
- ... 2. Stockwerk im Oberen Muschelkalk
- ... 3. Stockwerk im Buntsandstein

Im Arbeitsgebiet an der unteren Kyll fehlen die Sedimentgesteine des Lias, so daß hier nur

die beiden unteren Grundwasserleiter vertreten sind.

Während Muschelkalk, Keuper und vor allem Lias auf den zentralen Teil der Bitburger Mulde beschränkt sind, ist der Buntsandstein über die gesamte Mulde verbreitet.

Als Kluft- und Porenaquifer ist der Buntsandstein des Bitburger Raumes durch seine große räumliche Ausdehnung für die Grundwassergewinnung besonders bedeutungsvoll. Diese Schichtfolge wurde deshalb bevorzugt geologisch bearbeitet.

Der Mittlere Buntsandstein, dessen Mächtigkeit im südlichen Kylltal zwischen der Deimlinger Mühle (Devonschwelle) und Ehrang maximal 310 m beträgt, kann hier nach lithologischen Merkmalen gegliedert werden. Eine Unterteilung in fünf Einheiten ($sm_1 - sm_5$) bietet sich an, die der Gliederung im südlichen Saarland entspricht.

Nördlich der Devonschwelle im Bereich der Deimlinger Mühle und im zentralen Bereich der Bitburger Mulde ist eine Unterteilung des Mittleren Buntsandsteins nicht ohne weiteres möglich.

Ähnlich wie im Mittleren Buntsandstein differieren auch im Oberen Buntsandstein die Mächtigkeiten. Die Mächtigkeitsänderungen beschränken sich jedoch auf die sogenannten Zwischenschichten. Dieser untere Teil des Oberen Buntsandsteins wird 80 bis 200 m mächtig.

Es kann nachgewiesen werden, daß der Buntsandstein des Kyllgebietes mit dem Buntsandstein in den Randbereichen der Bitburger Mulde eine hydraulische Einheit bildet.

Das Grundwasser im Buntsandstein ist im Zeitraum 1967 bis 1972 der Kyll tributär. Während der Kyll in dieser Zeit pro Jahr im Mittel ca. 40 mm (auf das oberirdische Einzugsgebiet $E_o = 341 \text{ km}^2$ bezogen) zufließen, gibt die Kyll dagegen allein im hydrologischen Sommerhalbjahr 1973 20 mm an den Buntsandsteinaquifer ab. Das Defizit des Sommerhalbjahres kann aus den Daten der Abflußpegel Densborn im Mittellauf der Kyll und Kordel im Unterlauf eindeutig belegt werden.

Schon nach zwei vorangegangenen Trockenjahren (1971 und 1972) bilden sich demnach hier influente Verhältnisse heraus.

Aus den mehrjährigen Daten (1967 - 1973) für den unterirdischen Abfluß (A_u) und die Grundwasserneubildung (I_u) des Kyll Einzugsgebietes kann ein vom oberirdischen Einzugsgebiet ($E_o = 341 \text{ km}^2$) abweichendes unterirdisches Einzugsgebiet (E_u) der Kyll bestimmt werden, das ca. 500 km^2 beträgt. Die Differenz von ca. 160 km^2 entspricht der Fläche, die (westlich der Flüsse Nims und Prüm) in den Randbereichen der Bitburger Mulde von Buntsandstein eingenommen wird. Ein Teil der Grundwasserneubildung in diesen marginalen Bereichen muß der Kyll zufließen (s.o. ca. 40 mm a^{-1}).

Der für die mehrjährige Grundwasserneubildung (I_{uk}) gefundene Mittelwert von

86 mm pro Jahr

entspricht 12 % des mittleren jährlichen Gebietsniederschlags (N_m). Dieser Wert für das Kyllgebiet kann allerdings nicht auf die Randbereiche der Bitburger Mulde übertragen werden.

Der N_m der Jahresreihe 1967 - 1973 beträgt 717 mm pro Jahr. Er ergibt sich aus den Niederschlagswerten von 7 Meßstationen. Die nach der Polygonmethode errechneten Jahreswerte von N_m sind für die Wasserbilanzen der einzelnen Jahre um 5 % reduziert worden. Die Jahreswerte wurden niedriger angesetzt, weil bei einem Vergleich der Werte aus 16 Stationen (nur im Jahre 1973) mit denen von den 7 älteren Stationen sich ein Korrekturfaktor von 0,95 ergibt.

Bei der Ermittlung der Grundwasserneubildung (I_{uk}) und der Speicherung (S_{uk}) wird von einem oberirdischen Abfluß (A_o) ausgegangen, der nach dem Verfahren von NATERMANN bestimmt wurde. Der nach dem selben Verfahren ermittelte unterirdische Abfluß (A_u) geht als korrigierter Wert (A_{uk}) in die Bilanz ein, da er auf ein erweitertes unterirdisches Einzugsgebiet (E_u) bezogen ist.

Die nach der HAUDE-Formel für die Klimastation Trier-Petrisberg errechnete potentielle Evapotranspiration wird unter Berücksichtigung des A_o , des Niederschlagsdefizits und der hier mit 100 mm angesetzten maximal ausschöpfbaren Bodenfeuchte für das Gesamtgebiet der Kyll (in Teilgebieten werden andere Werte angenommen) zur korrigierten, potentiellen, mittleren Gebietsverdunstung (V_{pkm}) umgerechnet. Diese erreicht im mehrjährigen Mittel (1967 -

1973) 71 % des mittleren Gebietsniederschlages (N_m).

Im hydrologischen Jahr 1973, für das in dieser Arbeit auch mehrere Teileinzugsgebiete bilanziert werden, beträgt V_{pkm} 86 % des N_m .

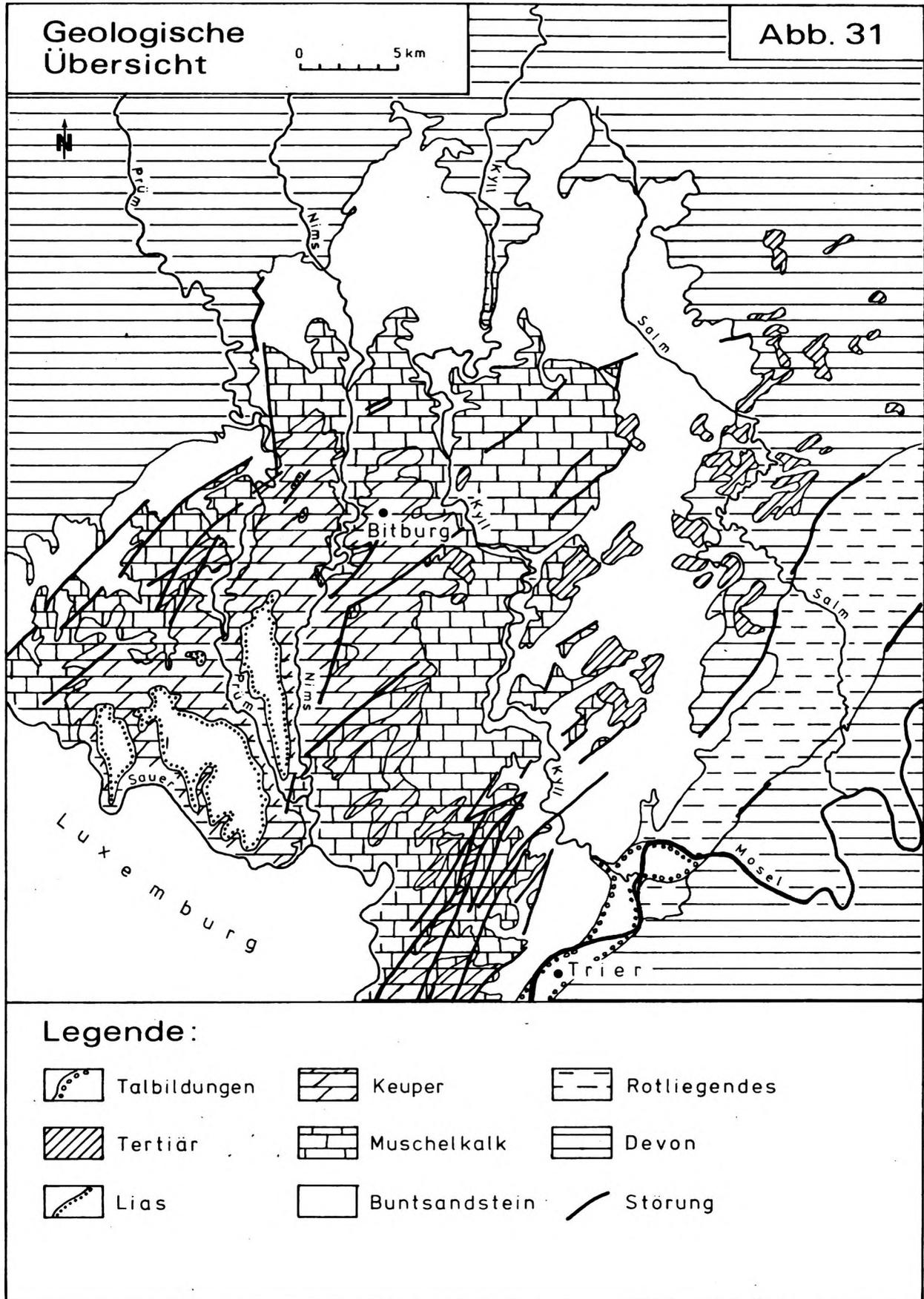
Für die wasserwirtschaftliche Betrachtung des Buntsandsteinaquifers im Kyll Einzugsgebiet muß, neben der Grundwasserneubildung im Bereich der unteren Kyll (86 mm pro Jahr), auch die oben angeführte Grundwasserzufuhr von ca. 40 mm pro Jahr beachtet werden. Es kann daher eine jährliche mittlere Grundwasserneubildung (i.w.S.) von insgesamt

130 mm

angenommen werden.

Größere oder kleinere Werte für die Grundwasserneubildung und Speicherung können sich ergeben, wenn die oben angeführten Ausgangsdaten der Wasserbilanz nach anderen Methoden bestimmt werden.

Die Richtigkeit der gefundenen Werte kann nur nach einem langjährigen Betrieb des neu errichteten Wasserwerks überprüft werden, wobei die Auswertung von Grundwasserstandsganglinien aus einem Netz von Beobachtungsrohren hilfreich sein würde.



12. LITERATURVERZEICHNIS

- BAECKER, P. (1953): Hydrochemie und Tektonik. - GWE, 94, H. 14, S. 417-420, München
- BECKSMANN, E. (1954): Grundwasserchemismus und Speichergestein. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., 106, S. 23-35, Hannover
- BRECHTEL, M. (1969): Wald und Abfluß-Methoden zur Erforschung der Bedeutung des Waldes für das Wasserdargebot. - Dtsch. Gewässerkd. Mitt., Sonderheft, S. 24-30, Koblenz
- CASTANY, G. (1967): Introduction à l'étude des courbes de tarissement. - BRGM, Chronique d'Hydrogéologie, Nr. 10, S. 23-30, Paris
- DACHROTH, W. (1967): Stratigraphie und Tektonik im Hauptbuntsandstein des östlichen Saarlandes. - Ann. Univ. Saraviensis, H. 5, S. 173-219, Saarbrücken
- DAMMANN, W. (1965): Meteorologische Verdunstungsmessungen, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. - Die Wasserwirtschaft, 55, H. 10, S. 315-321, Stuttgart
- DIN 4049, Blatt 1 (1954): Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen. - Deutsche Normen, Berlin (Beuth-Vertrieb, Berlin)
- DORN, P. (1966): Geologie von Mitteleuropa. - 488 S., Stuttgart (E. Schweizerbart)
- DROGUE, C. (1967): Essai de détermination des composantes de l'écoulement des sources karstiques; Evaluation de la capacité de rétention par chenaux et fissures. - BRGM, Chromique d'Hydrogéologie, Nr. 10, S. 43-47, Paris
- DORBAUM, H.-J. und LILLICH, W. (1969): Zur Bestimmung der Grundwasser-Neubildung als einer der Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planungen. - Dtsch. Gewässerkd. Mitt., Sonderheft, S. 41-44, Koblenz
- DORBAUM, H.-J. und MATTHESS, G. und RAMBOW, D. (1969): Untersuchungen der Gesteins- und Bergsdurchlässigkeit des Buntsandsteins in Nordhessen. - Notizbl. hess. L.-A. Bodenforsch., 97, S. 258-274, Wiesbaden
- EINSELE, G. (1970): Ober- und unterirdischer Abfluß im saarländischen Buntsandstein. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 43-67, Hannover
- EINSELE, G. und SCHIEDT, H.-R. (1971): Brunnencharakteristik, Dauerleistung, Wasserchemismus und Einzugsgebiet der 30 Tiefbohrungen im Bliestal, Saarland. - Geol. Mitt., 11, S. 185-248, Aachen
- EINSELE, G.; BOZORGZAD-ARAB, D; HEITEL, H; KLOCK, M. und SEILER, K.-P. (1969): Hydrogeologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes (allgem. Teil). - Geol. Mitt., 9, S. 1-74, Aachen
- EISSELE, K. (1966): Ober Grundwasserbewegung in klüftigem Sandstein. - Jh. geol. L.-A. Baden-Württemberg, 8, S. 105-111, Freiburg
- EISSELE, K. (1967): Zur Hydrogeologie des Buntsandstein - Tiefenwässer am Schwarzwald - Ostrand. - Jb. geol. L.-A. Baden-Württemberg, 9, S. 69-80, Freiburg
- ELBERSKIRCH, W. (1937): Zur Tektonik der Trias der Eifelsenke. - Jb. Preuß. Geol. L.-A., 58, S. 38-78, Berlin
- FAST, H. und SAUER, K. (1958): Die chemische Zusammensetzung südbadischer Grundwässer, Herkunftsfragen und Versuch einer Typologie. - Vom Wasser, 25, S. 48-81, Weinheim
- FESSLER, F. (1972): Beitrag zur Theorie und Berechnung der Grundwasserabsenkung für die Praxis (I) und II. - bbr, H. 8, S. 279-285, Köln und bbr, H. 9, S. 322-325, Köln
- GEORGOTAS, N. (1972): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Bad Kissinger Raum unter besonderer Berücksichtigung der dortigen Heil- und Mineralquellen. - 197 S., Diss. Tech. Univ. München, München
- GEORGOTAS, N. (1975): Hydrochemische Untersuchungen an Grund- und Oberflächenwässern im Einzugsgebiet der Fränkischen Saale. - Steir. Beitr. z. Hydrogeol., 27, S. 29-43, Graz
- GERB, L. (1953): "Reduzierte" Wässer - Beitrag zur Typologie bayrischer Grundwässer. - GWF, 94, H. 4, S. 87-92, H. 6, S. 157-161, München
- GLANDER, H. (1966): Zur Interpretation des Niederschlags für hydrogeologische Zwecke. - Ztschr. angew. Geol., 12, H. 11, S. 594-599, Berlin
- GREBE, H. (1884): Ober die Trias-Mulde zwischen dem Hunrück und Eifel-Devon. - Jb. preuß. geol. L.-A., 1883, S. 462-485, Berlin
- GREBE, H. (1892): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten, 1 : 25 000, Blatt Bitburg. - 14 S., Berlin (S. Schropp'sche Hof-Landkartenhandlung J.H. Neumann)

- GREBE, H. (1892): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten, 1 : 25 000, Blatt Bollendorf. - 16 S., Berlin (S. Schropp'sche Hof-Landkartenhandlung J.H. Neumann)
- GREBE, H. (1892): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten, 1 : 25 000, Blatt Landscheid. - 17 S., Berlin (S. Schropp'sche Hof-Landkartenhandlung J.H. Neumann)
- GREBE, H. (1892): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten 1 : 25 000, Blatt Schweich, - 17 S., Berlin (S. Schropp'sche Hof-Landkartenhandlung J.H. Neumann)
- GREBE, H. (1892): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten 1 : 25 000, Blatt Trier. - 30 S., Berlin (S. Schropp'sche Hof-Landkartenhandlung J.H. Neumann)
- GREBE, H. (1892): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten 1 : 25 000, Blatt Welschbillig. - 17 S., Berlin (S. Schropp'sche Hof-Landkartenhandlung J.H. Neumann)
- HAMANN, K. und MATTHESS, G. (1966): Biogene Schwankungen des Sulfatgehaltes von Grundwässern. - GWF, 107, H. 18, S. 480-484, München
- HAUDE, W. (1952): Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas. - Ber. Dtsch. Wetterdienst US-Zone, Nr. 42, S. 225-229, Bad Kissingen
- HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. - Mitt. Dtsch. Wetterdienstes, Nr. 8, S. 3 - 22, Bad Kissingen
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. - Mitt. Dtsch. Wetterdienst, Nr. 11, Bd. 2, S. 3-24, Bad Kissingen
- HAUDE, W. (1959): Die Verteilung der potentiellen Verdunstung in Ägypten. - Erdkunde, 8, S. 214-224, Bonn
- HAUDE, W. (1963): Zur Bestimmung der Verdunstung und des Wasserhaushaltes in Trockengebieten des Vorderen Orients zwischen Nil und Euphrat. - Die Wasserwirtschaft, 53, S. 427-438, Stuttgart
- HAUTHAL, U. (1967): Zum Wasserleitvermögen von Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins. - Ztschr. angew. Geol., 13, H. 8, Berlin
- HEITEL, H. (1968): Versickerungsvorgänge in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. - 100 S., Diss. Univ. Tübingen, Tübingen
- HÖLL, K. (1964): Chemische Untersuchungen von Lysimeter-Abläufen aus gewachsenen Böden bestimmter Pflanzengesellschaften. - Vom Wasser, 30, S. 65-80, Weinheim
- HÖLL, K. (1965): Langjährige chemische Untersuchungen unbeeinflusster Quellen und Quellbäche. - Vom Wasser, 31, S. 26-42, Weinheim
- HÖLL, K. (1970): Wasser. - 423 S., Berlin (de Gruyter)
- HÖLL, K. (1970): Sickerwasser - Beschaffenheit in verschiedenen naturbelassenen Böden. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol., Hydrogeochem., S. 129-137, Hannover
- HÖLTING, B. (1970): Beiträge zur Hydrochemie der Tiefenwässer. - Ztschr. dtsh. Geol. Ges., 121, S. 19-44, Hannover
- HÖLTING, B. (1974): Die Auswertung von Wasseranalysen in der Hydrogeologie. - Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1973, H. 5/6, S. 305-316, Stuttgart
- HOYER, M.v. (1971): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Luxemburger Sandstein. - Publ. d. Service Géol. d. Luxembourg, XXI, 615, Luxemburg
- JOACHIM, H. und VILLINGER, E. (1973): Die Darstellung der Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung in Baden-Württemberg. - GWF, 114, H. 10, S. 454-460, München
- JOACHIM, H. und VILLINGER, E. (1974): Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung in Baden-Württemberg 1971/72. - GWF, 115, H. 6, S. 253-300, München
- KAISER, D. (1975): Lithostratigraphische Korrelation und gesteinsphysikalische Parameter im Buntsandstein des Kylltals - Westeifel. - 115 S., Diss. Johannes Gutenberg - Univ. Mainz, Mainz
- KARRENBERG, H. und WEYER, K.U. (1970): Beziehungen zwischen geologischen Verhältnissen und Trockenwetterabfluß in kleinen Einzugsgebieten des Rheinischen Schiefergebirges. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., Sonderh., Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 27-41, Hannover
- KASS, W. (1967): Zur Geochemie einiger neuerschlossener Buntsandstein-Mineralwässer am Schwarzwald-Ostrand. - Jb. geol. L.-A. Baden-Württemberg, 9, S. 81-104, Freiburg
- KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren lang-

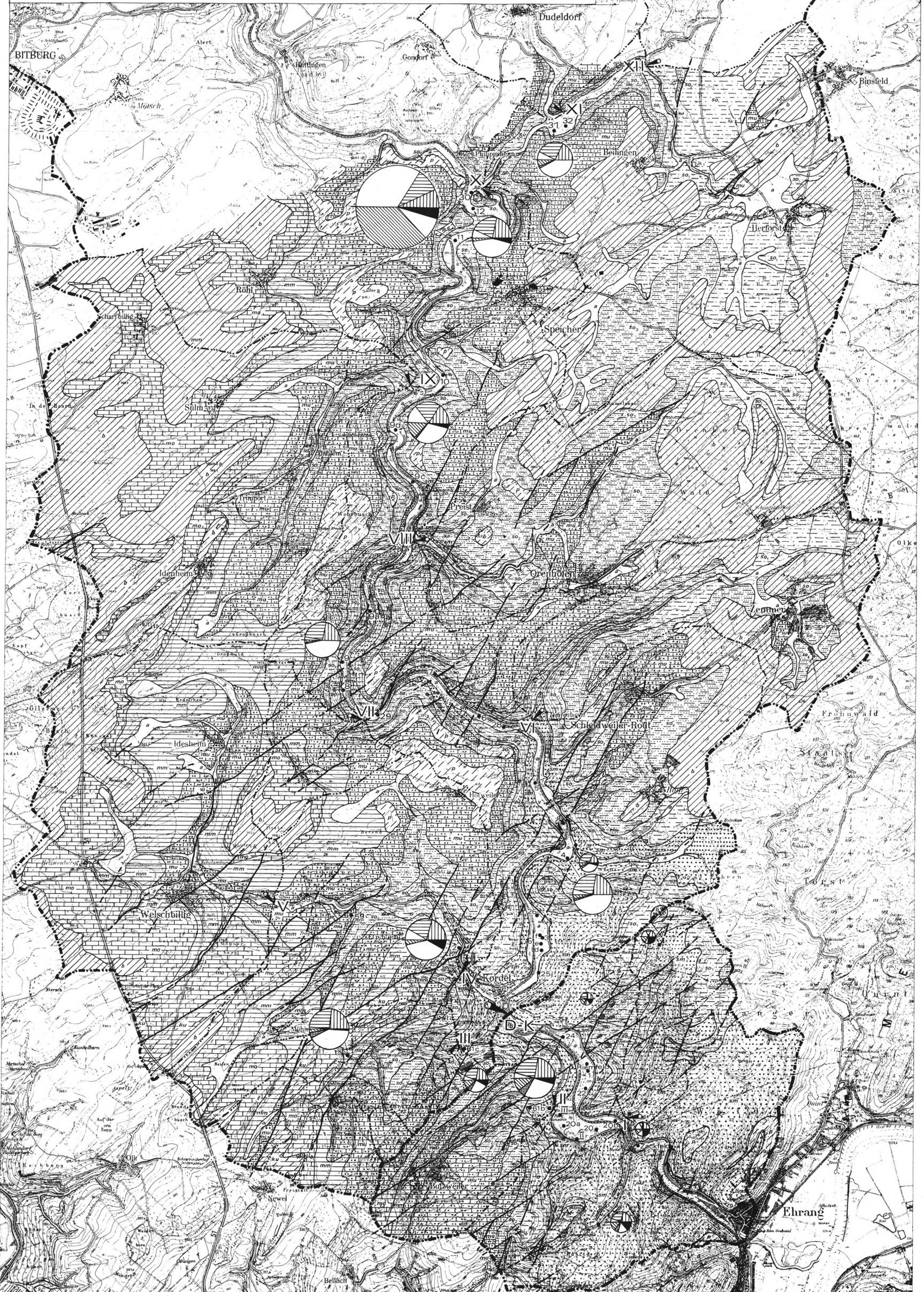
- jährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 89-95, Hannover
- KNIESEL, J. (1969): Ober das Abgabevermögen der Grundwasserleiter des Mittleren Buntsandsteins in Thüringen. - Ztschr. angew. Geol., 15, H. 1, S. 25-28, Berlin
- KRUSEMAN, G.P. und de RIDDER, N.A. (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. - 191 S., Köln-Braunsfeld (Rudolf Müller)
- LANGGUTH, H.R. (1966): Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des Velberter Sattels (Rheinisches Schiefergebirge). - 127 S., Düsseldorf (Minister f. Ernährung, Landwirt. u. Forstw. NRW)
- LEPPLA, A. (1924): Zur Stratigraphie und Tektonik der südlichen Rheinprovinz. - Jb. preuß. geol. L.-A., 45, S. 1-88, Berlin
- LILLICH, W. (1970): Vergleich moderner Methoden zur Bestimmung des Grundwasseranteils am Gesamtabfluß an der Erdoberfläche. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 17-25, Hannover
- LOCH, A. (1972): Wasser für das Moseltal. - Jb. d. Kreisverw. Trier-Saarburg, S. 151-157, Trier-Saarburg
- LÖHNERT, E. (1972): Beispiele von Flußmessungen an hydrogeologisch definierten Aquifers. bbr, H. 1, S. 7-13, Köln
- MAILLET, M.E. (1904): Sur les décrues des rivières. - Comtes Rendus, Academie des Sciences, 138, S. 1030-1032, Paris
- MATTHESS, G. (1970): Beziehung zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. - Abh. hess. L.-A. Bodenforsch., 58, 105 S., Wiesbaden
- MATTHESS, G. und THEWS, J.-D. (1963): Der Abflußzuwachs als Hilfsmittel bei der Beurteilung von Wassererschließungsmöglichkeiten. - Notizbl. hess. L.-A. Bodenforsch., 91, S. 231-236, Wiesbaden
- MENDEL, G. und OBELL, K. (1973): Der Abflußvorgang II. Die Verteilung des Gesamtabflusses. - Dtsch. Gewässerkd. Mitt., H. 3, S. 85-91, Koblenz
- MINISTERIUM FOR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN-Abt. Wasserwirtschaft (1971): Wasserwirtschaftlicher Generalplan für das Moselgebiet in Rheinland-Pfalz. - Kartenwerk, Tabellen und Abbildungen, Erläuterungsbericht. - 369 S., Mainz
- NATERMANN, E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers (A-L) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). - Die Wasserwirtschaft, Sonderheft, S. 12-14, Stuttgart
- NATERMANN, E. (1958): Der Wasserhaushalt des oberen Emsgebietes nach dem Au-Linien-Verfahren. - 44 S., Düsseldorf (Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen)
- NEGENDANK, J. (1974): Sammlung geologischer Führer: Trier und Umgebung. - 116 S., Berlin-Stuttgart (Gebr. Borntraeger)
- NEUMANN-REDLIN, Chr. (1971): Hydrogeologische und Hydrochemische Untersuchungen im oberen Muschelkalk und Keuper Luxemburgs. - Publ. d. Service Géol. de Luxembourg, XXII, S. 5-87, Luxemburg
- NÖRING, F.; MATTHESS, G. und RAMBOW, D. (1972): Probleme der Bestimmung des gewinnbaren Grundwasserangebotes in Festgesteinen für wasserwirtschaftliche Rahmen- und Sonderpläne. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., 123, S. 65-80, Hannover
- ORTLAM, D. (1974): Inhalt und Bedeutung fossiler Bodenkomplexe in Perm und Trias von Mitteleuropa. - Geol. Rdsch., 63, H. 3, S. 850-884, Stuttgart
- PFEIFFER, D. und QUITZOW, H.W. (1955): Erläuterungen zu Blatt Köln. Hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 500 000. Herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft, Hydrogeol. Arbeitskreis. - 162 S., Remagen (Bundesanstalt für Landeskunde)
- PRELLER, C. (1978): Trend- und Spektralanalysen von Grundwasserstndsganglinien und klimatologischer Reihen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in drei Gebieten von Berlin (West). - 62 S., Diss. Freie Universität Berlin, Berlin
- RICHTER-BERNBURG, G. (1974): Stratigraphische Synopsis des deutschen Buntsandsteins. - Geol. Jb., A 25, S. 127-132, Hannover
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. - 394 S., Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag)
- SCHENK, E. (1938): Die Tektonik der mitteldevonischen Kalkmuldenzone in der Eifel. - Jb. preuß. geol. L.-A., 58, S. 1-36, Berlin
- SCHENK, E. (1967): Zur Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen. - bbr, H. 18, S. 442-446, Köln

- SCHMIDT, W. (1952): Die paläogeographische Entwicklung des linksrheinischen Schiefergebirges vom Kambrium bis zum Oberkarbon. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., 103, S. 151-177, Hannover
- SCHNEIDER, H. (1961): Die Grundwasserneubildung. - bbr, 12, H. 6/7, S. 285-292 und 358-368, Köln
- SCHNEIDER, H. und THIELE, S. (1966): Geohydrologie des Erftgebietes. - 175 S., Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, Bielefeld
- SCHRÜDER, E. (1952): Die Trierer Bucht als Teilstück der Eifeler Nord-Süd-Zone. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., 103, S. 209-215, Hannover
- SCHRÜDER, L. (1965): Zur Sedimentologie des Mittleren Buntsandsteins. - Geol. Jb., 82, S. 655-704, Hannover
- SCHRÖTER, H. (1971): Erfahrungen bei Abflußmessungen in kleinen Vorflutern für hydrogeologische Spezialuntersuchungen. - bbr, 22, H. 2, S. 48-52, Berlin
- SCHULZ, H.D. (1970): Chemische Vorgänge beim Übergang vom Sickerwasser zum Grundwasser. - Geol. Mitt., 10, S. 151-204, Aachen
- SCHUMACHER, M. (1976): Karten der langjährigen mittleren Abfluß- und Verdunstungshöhe für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. - Dtsch. Gewässerkdl. Mitt., 20, H. 3, S. 61-69, Koblenz
- SCHWILLE, F. (1954): Ionenumtausch und der Chemismus von Grund- und Mineralwässern. - Ztschr. dtsh. Geol. Ges., 106, S. 16-22, Hannover
- SEILER, K.-P. (1968): Grundwasserfließvorgänge im klüftigen und porösen Medium des mittleren Buntsandsteins im Saarland. - 114 S., Diss. Univ. Tübingen, Tübingen
- SEILER, K.-P. (1969): Kluft- und Porenwasser im Mittleren Buntsandstein des südlichen Saarlandes. - Geol. Mitt., 9, S. 75-96, Aachen
- SEILER, K.-P. (1972): Ein Versuch zur Bestimmung der Strömungsart in Klüften des saarländischen Mittleren Buntsandsteins. - Ztschr. dtsh. geol. Ges., 123, S. 45-52, Hannover
- SINDOWSKI, K.-H. (1957): Schüttungsrichtung und Mineral-Provinzen im westdeutschen Buntsandstein. - Geol. Jb., 73, S. 277-294, Hannover
- SPANGENBERG, H.-D. (1973): Die Grundwasserverhältnisse im Einzugsgebiet der Wasserwerke der Stolberger Wasserwerks-Gesellschaft bei Breiniger-Berg (Stolberg/Rhld.). - 230 S., Diss. Univ. RWTH Aachen, Aachen
- THEWS, J.-D. (1967): Die Wassergewinnungsmöglichkeiten im Bayerischen Buntsandstein - Spessart. - Veröff. Gesch.- u. Kunstver. Aschaffenburg, 10, Beitr. zur Geol. des Aschaffener Raumes, S. 135-163, Aschaffenburg
- THEWS, J.-D. (1972): Zur Typologie der Grundwasserbeschaffenheit im Taunus und Taunusvorland. - Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 63, 42 S., Wiesbaden
- UDLUFT, P. (1969): Hydrogeologie und Hydrochemie der Südrhön unter besonderer Berücksichtigung der Mineralquellen im Brückenauer Raum. - 132 S., Diss. Tech. Univ. München, München
- UDLUFT, P. (1971): Hydrogeologie des oberen Sinntales. - Geologica Bavarica, 64, S. 365-384, München
- UDLUFT, P. (1972): Bestimmung des entwässerbaren Kluftraumes mit Hilfe des Austrocknungskoeffizienten nach Maillet, dargestellt am Einzugsgebiet der Lohr (Nordost-Spessart). - Ztschr. dtsh. geol. Ges., 123, S. 53-63, Hannover
- UHLIG, S. (1954): Zur Bestimmung der potentiellen Verdunstung bewachsenen Bodens. - Die Wasserwirtschaft, 44, H. 12, S. 309-315, Stuttgart
- UHLIG, S. (1956): Der mittlere Jahresgang des ausschöpfbaren Bodenfeuchtegehalts. - Die Wasserwirtschaft, 46, H. 5, S. 121-126, Stuttgart
- WEILER, H. (1972): Ergebnisse von Bohrungen im Buntsandstein im Raume Trier-Bitburg. - Mainzer geowiss. Mitt., 1, S. 198-227, Mainz
- WEYER, K.U. (1972): Ermittlung der Grundwassermengen in den Festgesteinen der Mittelgebirge aus Messungen des Trockenwetterabflusses. - Geol. Jb., 3, S. 19-114, Hannover
- WEYER, K.U. (1973): Modellvorstellung zur Untersuchung der unterirdischen Wasserzirkulation in Mittelgebirgen mit anstehendem Festgestein. - Dtsch. Gewässerkdl. Mitt., Sonderh., 17, H. 4, S. 106-112, Koblenz
- WIEDERHOLD, W. (1962): Die raumzeitlichen Verhältnisse des Senktrichters eines Brunnens im Grundwasser mit freier Oberfläche. - GWF, H. 18, S. 442-446, München
- WIEDERHOLD, W. (1965): Theorie und Praxis des hydrologischen Pumpversuchs. - GWF, H. 34, S. 933-938, H. 42, S. 1170-1176, München
- WUNDT, W. (1967): Eine Schätzung des frei abflußfähigen Grundwasservorrats. - GWF, 108, H. 34, S. 953-961, München

GEOLOGISCH - HYDROCHEMISCHE KARTE des Niederschlagsgebietes der unteren Kyll zwischen Ehrang und Philippsheim

0 500 1000 1500 m

K.-H. Krieger (1978)

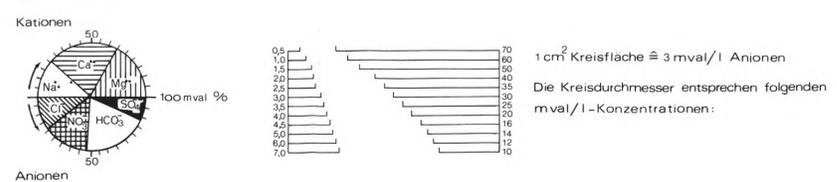


LEGENDE

Geologie

Quartär	Holozän	a	Talboden
	Pleistozän	p	Fluviatile u. limnische Bildungen
Tertiär	Mio-Pliozän	b	Sand, Kies u. Ton
Keuper	Mittlerer	km	Tonstein u. Mergel
	Unterer	ku	Tonstein, Mergel, Dolomit, Konglomerat
Muschelkalk	Oberer	mo	Kalk u. Dolomit
	Mittlerer	mm	Mergel u. Kalk
Buntsandstein	Unterer	mu	Kalksandstein
	Voltziensandstein	so	Sandstein z.T. tonig
	Zwischenschichten	so	" "
Oberrotliegendes	Mittlerer	sm	Sandstein
		ro	Tonstein
Devon		rs	Tonschiefer

Hydrochemie



Hydrologie

- Abflußmeßstelle II
- 2. Ordnung
- 3. "
- 4. "
- Bohrung, bzw. Brunnen
- Wasserproben aus:
 - Vorflutern und
 - Quellen
- Grenzen der Niederschlagsgebiete:
 - 2. Ordnung
 - 3. "
 - 4. "
 - Vom Niederschlagsgebiet abweichendes unterirdisches Einzugsgebiet

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin — Technische Universität Berlin — Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

Reihe B

Heft 1: Joachim Steinbeck, Modellseismische Untersuchungen von Rayleighwellen unter besonderer Berücksichtigung einer Deckschicht von variabler Mächtigkeit. 128 S., 58 Abb., 1965. DM 25,—.

Heft 2: Peter Giese, Versuche einer Gliederung der Erdkruste im nördlichen Alpenvorland, in den Ostalpen und in Teilen der Westalpen mit Hilfe charakteristischer Refraktions-Laufzeitkurven sowie eine geologische Deutung. 218 S., 83 Abb., 1965. DM 40,—.

Heft 3: Joachim Meyer, Zur Modulation der erdmagnetischen Aktivität. 72 S., 26 Abb., 1973. DM 18,—.

Heft 4: Kurt Bram, Zum Aufbau der Kruste und des oberen Mantels im Bereich des westlichen Grabens des ostafrikanischen Grabensystems und im östlichen Zaire-Becken. Ergebnisse einer Untersuchung der Raumwellen von Nah-Erdbeben. 65 S., 32 Abb., 1975. DM 25,—.

Heft 5: Detlef Damaske, Der Weltzeitgang der erdmagnetischen Aktivität als magnetosphärischer Modulationseffekt. 75 S., 33 Abb., 1976. DM 20,—.

Heft 6: Michael Leppin, Modellversuche zur erdmagnetischen und magnetotellurischen Tiefensondierung mit Hilfe eines elektrolytischen Troges. 68 S., 39 Abb., 1977. DM 19,—.

Heft 7: Hussein El-Ali, Geothermische Modelle für ein Profil zwischen Südadria und Tyrrenis. 51 S., 20 Abb., 1978. DM 18,—.

Hefte 1–6: Vormalig „Geophysikalische Abhandlungen“ des Instituts für Geophysikalische Wissenschaften der FU Berlin

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57

BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin — Technische Universität Berlin — Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

Reihe A

Band 1 / Götz Knoche: Zur Stratigraphie und Petrographie paläozoischer Sedimente am Ostrand der Serra S. Bruno (Kalabrien, Süditalien), 67 S., 48 Abb., 3 Taf. 1977. DM 19,—.

Band 2 / Peter Eggert: Sedimentpetrographisch-stratigraphische Untersuchungen in den Unterkreide-Serien und dem Bolgenkonglomerat (Oberkreide) der Feuerstätter Decke im Allgäu und Vorarlberg. 167 S., 38 Abb., 18 Taf. 1977. DM 35,—.

Band 3 / Horst Grotjohann: Die Korrelation von Geochemie und Faziesdifferenzierung im erzhöflichen Muschelkalk (Mitteltrias) der Ostalpen. 70 S., 34 Abb., 5 Taf., 10 Tab. 1978.

Friedrich F. Helmdach: Nichtmarine Ostrakoden aus der spanischen Oberkreide. 8 S., 5 Abb., 1 Tafel. 1978. DM 23,—.

Band 4 / Christian Preller: Trend- und Spektralanalysen von Grundwasserstandsganglinien und klimatologischen Reihen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung in drei Gebieten von Berlin (West). 84 S., 27 Abb., 22 Taf., 3 Tab., 1978. DM 19,—.

Band 5 / Mohamed Alwashe: Luftbild- und Satellitenbild-Interpretation des lithologischen und tektonischen Baus im Nördlichen Tibesti-Gebirge (Ehi Méché und Tirenno), Tschad. 110 S., 26 Abb., 31 Taf., 22 Tab., 8 Kart., 1978. DM 38,—.

Band 6 / Nigem Yusuf: Mikropaläontologische und geochemische Untersuchungen an Bohrkernen aus dem Roten Meer. 77 S., 23 Abb., 9 Tab., 1978. DM 19,—.

Band 7 / Heiner Krieger: Hydrogeologische Untersuchungen zur Grundwasserneubildung in der Bitburger Mulde (Kylltal). 109 S., 31 Abb., 16 Tab., 1 Kart., 1978. DM 24,—.

Band 8 / Werner Schwarzhans: Otolithen aus dem Unter-Pliozän von Süd-Sizilien und der Toscana. 52 S., 4 Abb., 13 Taf., 1978.

Thomas Schlüter und Werner Schwarzhans: Eine Bonebed-Lagerstätte aus dem Wealden Süd-Tunesiens (Umgebung Ksar Krerachfa), 14 S., 8 Abb., 3 Taf., 1978. DM 24,—.

Band 9 / Thomas Schlüter: Zur Systematik und Palökologie harzkonserverter Arthropoda einer Taphozönose aus dem Cenomanium von NW-Frankreich, 150 S., 99 Abb., 13 Taf., 1978. DM 35,—.

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57