

# Zur Grundwasservorratsklassifikation<sup>1)</sup>

HANS-JÖRG WEDER, Berlin

## Einleitung

„Für eine Bilanzierung von Grundwasservorräten müßte man m. E. unter Berücksichtigung ihrer Andersartigkeit gegenüber Vorräten fester mineralischer Rohstoffe eine neuartige Klassifikation und eine im einzelnen begründete, vielseitige umfassende Berechnungsmethodik auf Grund komplexer Forschung in der Zukunft erst noch erarbeiten.“

Mit diesem Satz schließt R. HOHL in Heft 12/1961 der „Zeitschrift für angewandte Geologie“ seinen Beitrag „Zur Klassifikation von Grundwasservorräten“ und bewertet damit die von J. ZIESCHANG in Heft 6/1961 der gleichen Zeitschrift gemachten Vorschläge ausdrücklich negativ.

HOHL vertrat die Meinung, daß Grundwasserlagerstätten anderen Gesetzen gehorchen als alle anderen Lagerstätten nutzbarer Mineralien und Gesteine einschließlich Erdöl, so daß der „Abbau“ sehr verschieden von diesen vorgenommen wird, und daß dies schon darin zum Ausdruck kommt, daß man nicht von Grundwasserlagerstätten, sondern von Grundwasserspeicherstätten spricht. Weiterhin hat HOHL zum Ausdruck gebracht, daß Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe an bestimmten Stellen in der Erdkruste angereichert lagern und, in Hinblick auf die Tatsache, daß das Grundwasser am Gesamtkreislauf des Wassers auf der Erde teilnimmt, daraus geschlußfolgert, daß dieses anderen Gesetzen gehorcht als Mineralien und Gesteine.

Da dieses Thema bzw. die Diskussion darüber neben den Hydrogeologen vor allem auch die Wasserwirtschaftler angeht, soll an dieser Stelle auf einige Termini näher eingegangen werden.

Unter einer Lagerstätte versteht man allgemein „abbauwürdige Konzentrationen volkswirtschaftlich nutzbarer Mineralien und Gesteine“. Diese Definition gestattet bereits ihre Anwendung auf das Grundwasser; denn sie sagt gar nichts darüber aus und ist völlig unabhängig davon, ob das Mineral statischen oder dynamischen Gesetzen unterliegt.

Ein Grundwasserleiter oder grundwasserführender Gesteinskörper ist nach dem Standard der DDR DIN 4049 „ein Teil der Erdrinde, der Grundwasser enthält und geeignet ist, es weiterzuleiten“ (Permeabilität). Mit der Bezeichnung eines Gesteins oder Gesteinskomplexes als Grundwasserleiter ist jedoch noch keine Feststellung darüber getroffen, inwieweit und ob überhaupt eine „abbauwürdige Konzentration“ an Grundwasser vorhanden ist. Das heißt aber, daß ein Grundwasserleiter zunächst einmal einem Grundwasser-„Vorkommen“ gleichzusetzen ist.

Noch allgemeiner ist der Begriff Speicherstätte, aus dem nicht hergeleitet werden kann, ob das Mineral statischen oder dynamischen Gesetzen unterliegt, auch nicht, ob eine „abbauwürdige Konzentration“ in der Speicherstätte enthalten ist, ja noch nicht einmal, ob das Mineral überhaupt in der Speicherstätte vorkommt. Daraus folgt, daß ein vorhandenes Speichergestein (Speicherstätte) durchaus kein Grundwasserleiter oder eine Grundwasserlagerstätte im Sinne der Definition zu sein braucht. Es folgt aber auch daraus, daß sich erst aus einer additiven Verbindung von Speicherstätte und Grundwasser ein Grundwasserleiter oder aus der Speicherstätte und einer „abbauwürdigen Konzentration“ von Grundwasser eine Grundwasserlagerstätte ergibt. Die Speicherstätte bildet also in

<sup>1)</sup> Eingang des Manuskripts in der Redaktion: 17. 4. 62

jedem Falle nur eine Voraussetzung für einen Grundwasserleiter oder eine Grundwasserlagerstätte.

Betrachtet man das andere von HOHL vorgebrachte Argument, so muß festgestellt werden, daß auch das Grundwasser an bestimmten Stellen in der Erdkruste angereichert ist und eben an diesen Stellen Grundwasserleiter oder Grundwasserlagerstätten bildet.

Was jedoch besondere Beachtung verdient, ist der Zusammenhang bzw. die Zugehörigkeit des Grundwassers zum Wasserkreislauf, worin die Orts- und Zustandsänderungen des Wassers durch Niederschlag, Verdunstung, Rücklage, Aufbrauch und Abfluß eingeschlossen sind. Um aufzuzeigen, daß daraus nicht abgeleitet werden kann, daß das Grundwasser oder dessen Lagerstätten völlig anderen Gesetzen gehorchen als andere Lagerstätten, soll vom wasserwirtschaftlichen Begriff des Grundwasserdargebotes ausgegangen werden. Darunter wird das unterirdisch zum Abfluß kommende Wasser eines Flußgebietes verstanden, das sich aus den Teilen der Niederschläge zusammensetzt, die zur Grundwasserneubildung führen. Es wird gegliedert:

in den natürlichen Zufluß zu den Gewässerbetten, in den unterirdischen Abfluß außerhalb dieser und in das im Flußgebiet geförderte Wasser (siehe Lit.: „Analyse der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse der Flußgebiete“ 1959).

Im Sinne einer Bilanzierung, d. h. der mengenmäßigen Erfassung des Wasserkreislaufes, ist diese Definition des Begriffes Grundwasserdargebot jedoch nicht umfassend genug und sollte durch „Vorräte des natürlichen Grundwasserdargebotes“ ersetzt werden. (ZIESCHANG 1961). Mit diesem Begriff, der definiert werden soll als

diejenigen Grundwassermengen, die sich durch Versickerung oder Versinkung aus den Niederschlägen oder aus Oberflächenwasser bilden und zum Grundwasser gelangen (Neubildung), die sich unterirdisch zwischen zwei Punkten bewegen und die gewonnen werden können, ohne die „statischen“ Grundwasservorräte zu beeinträchtigen,

wird sowohl einer Erfassung und Bilanzierung des Grundwasserdargebotes als auch der Methoden, die zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes führen, Rechnung getragen.

Aus dieser Definition folgt, daß es ohne „statische“ Grundwasservorräte keine Vorräte des natürlichen Grundwasserdargebotes geben kann, daß sich der „Abbau“ in der Regel auf die Vorräte des natürlichen Grundwasserdargebotes bezieht und daß diese deshalb dauernd gewinnbar sind, weil sie am Wasserkreislauf teilnehmen.

Die Differenzierung in Vorräte des natürlichen Grundwasserdargebotes und in „statische“ Grundwasservorräte ist als Abstraktion unumgänglich, weil einmal ohne Wasserkreislauf effektiv nur statische Grundwasservorräte vorhanden wären und zum anderen die „statischen“ Grundwasservorräte der „Auffüllung“ dienen bzw. als „Polsterung“ einer Grundwasserlagerstätte aufzufassen sind und, neben dem Vorhandensein einer Speicherstätte, die andere Voraussetzung für eine Grundwasserlagerstätte, d. h. für eine dauernd gewinnbare Grundwassermenge, bilden.

Durch die Gebundenheit der Vorräte des natürlichen Grundwasserdargebotes an den Wasserkreislauf ergibt sich also eine Besonderheit des Grundwassers, das sich aus der Reihe der Bodenschätze dadurch hervorhebt,

daß der Bodenschatz<sup>2)</sup> Grundwasser die Fähigkeit besitzt, sich laufend zu erneuern. Damit bildet aber das Grundwasser einen Teil einer dynamischen Erscheinung, und daraus folgt, daß dies bei der Erforschung, Erschließung und bei seinem „Abbau“ (Bewirtschaftung) zusätzlich Berücksichtigung finden muß. Ansonsten sind für eine Grundwasserlagerstätte die gleichen Gesetzmäßigkeiten zutreffend, die auch für die Erkundung, Bilanzierung und den Abbau von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe sowie von Erdöl und Erdgas Gültigkeit haben.

Aus der Besonderheit der Lagerstätte Grundwasser ergeben sich selbstverständlich andere Methoden für eine Vorratsberechnung als bei mineralischen Rohstoffen; aber daraus kann keinesfalls die Unbrauchbarkeit einer jeglichen Klassifikation der Grundwasservorräte abgeleitet werden. Wollte man das schlußfolgern, so wäre das gleichbedeutend mit einer Negation der „Einheit“ von Untersuchungsstadium, Methodik und Vorratsklasse; denn schließlich soll eine Grundwasservorratsklassifikation einheitliche Prinzipien festlegen, nach denen die Berechnung und Bilanzierung der in den Lagerstätten vorhandenen Grundwasservorräte erfolgt.

Verf. ist nicht der Meinung, daß man nach HOHL „zunächst einmal weiter bei Mengenberechnungen von nutzbaren Grundwasserfeldern“ bleiben sollte. Einmal wurden derartige Berechnungen nicht in jedem Falle durchgeführt oder die Berechnungsmethoden genügten nicht den Anforderungen, d. h., sie waren beschreibend und nicht analytisch, oder aber die Berechnungsmethoden berücksichtigten nicht das jeweilige Untersuchungsstadium. Zum anderen sind die Bestrebungen der Wasserwirtschaft darauf gerichtet, im Interesse der Volkswirtschaft vor allem auch für das Grundwasser die „Aktiva“ und „Passiva“ so schnell wie möglich festzustellen. Inwieweit dabei die Grundwasserbilanz ausschließlich von seiten der Wasserwirtschaft oder von seiten der Hydrogeologie aufgestellt oder ob diese in einer echten Zusammenarbeit geschaffen werden sollte, braucht an dieser Stelle nicht erörtert zu werden. In jedem Falle aber ist eine Klassifikation der Grundwasservorräte von entscheidender Bedeutung für die hydrogeologischen Untersuchungsarbeiten. Sie gestattet und verlangt geradezu eine Vereinheitlichung der Untersuchungsmethodik. Durch die Notwendigkeit der Berechnung von Vorräten ergibt sich aus ihr die Forderung nach Hebung der Qualität der Untersuchungsergebnisse auf ein einheitliches Niveau, und sie gewährleistet in gewissem Sinne eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander.

Was die Bilanzierung der Grundwasservorräte angeht, so erstreckt sich diese selbstverständlich auf die Menge und auf die Güte (Aufbereitbarkeit) des Wassers, und sie muß unter Berücksichtigung des gegenwärtigen und künftigen Bedarfs von Bevölkerung und Volkswirtschaft durchgeführt werden. Eine möglichst exakte Bilanzierung durchzuführen, liegt dabei im Interesse aller und sollte grundsätzlich nur in Zusammenarbeit der Wasserwirtschaft mit der Hydrogeologie erfolgen.

Was die Berechnungsmethoden betrifft, so sei festgestellt, daß sie durchaus für die praktischen Erfordernisse befriedigende Ergebnisse zeitigen. Das trifft auf die unterirdische Abflußspende für ein bestimmtes

<sup>2)</sup> „Der Begriff Bodenschatz ist in keinem Gesetz definiert. Man kommt ihm am nächsten, wenn man darunter ‚die den Bedürfnissen der Menschen dienlichen Bestandteile der Erdrinde‘ versteht“ (s. K. EBERT: „Bergrecht“, 1. Lehrbrief, Freiberg/Sa., 1957).

Gebiet, die unter Berücksichtigung der Gesteinsbeschaffenheit durch die Versickerung aus den Niederschlägen zu ermitteln ist, ebenso zu wie auf einen kontinuierlichen Grundwasserzufluß, der sich aus den Fördermengen der Brunnengalerien von Wasserwerken oder aus Einzelbrunnen (mit mehr punktförmigem Zufluß) ergibt.

Die nach wie vor wichtigsten und in der Praxis am meisten (weil exaktesten) angewandten analytischen Methoden sind jene, die den Grundwasserdurchfluß auf einer Linie bei Anwendung von Durchflußgleichungen ermitteln. Unter den verschiedenen Gleichungen dieser Art muß die von DARCY als am zweckmäßigsten bezeichnet werden, weil sie ohne Zweifel hinreichend genaue Werte liefert, d. h. den Anforderungen der Praxis durchaus genügt und sich insbesondere durch ihre Unkompliziertheit auszeichnet. Bereits KING (1898) stellte mittels umfangreicher Versuche fest, daß das Gesetz von DARCY im Bereich der praktisch in Frage kommenden Grundwassergeschwindigkeiten durchaus brauchbar ist. Andere Autoren wie FORCHHEIMER (1901), PRINZ (1923) u. a. haben das gleiche bestätigt.

Fast so alt wie das Gesetz von DARCY selbst sind aber auch die Stimmen, die es anzweifeln oder gänzlich ablehnen (SMREKER 1914, MÜLLER-DELITZSCH 1951). Trotz dieser Tatsache bildet jedoch das DARCYsche Gesetz bis in die heutige Zeit die wesentlichste analytische Methode für Grundwasserberechnungen. Das ist in allen Ländern der Fall, in denen Hydrogeologie der Lockergesteine betrieben wird.

Indessen kann tatsächlich nicht überschen werden, daß die Durchflußgleichung nach DARCY, in der die Geschwindigkeit des Grundwassers  $v$  gleichgesetzt ist dem Produkt aus dem Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  und dem natürlichen Gefälle des Grundwassers  $i$ , einen gewissen Widerspruch in sich trägt. Dieser Widerspruch liegt in der funktionellen Abhängigkeit des fälschlicherweise als Bodenkonstante bezeichneten  $k_f$ -Wertes sowohl vom Grundwassergefälle als auch von im weiteren Sinne geologischen Faktoren. So läßt sich z. B. bei geologischen Untersuchungsarbeiten ohne große Mühe feststellen, daß die  $k_f$ -Werte bis um etwa  $\pm 50\%$  schwanken können und damit unter Umständen beträchtliche Auswirkungen negativer Art auf die Ergebnisse haben.

Auf Grund dessen muß es also für die Zukunft in erster Linie nicht so sehr darauf ankommen, nach völlig neuen Berechnungsverfahren zu suchen, als vielmehr die Toleranzen, die sich u. a. aus den  $k_f$ -Wert-Bestimmungen ergeben, auf ein zu forderndes Minimum ( $\pm 10\%$ ) einzuengen.

In diesem Zusammenhang soll nicht unerwähnt bleiben, daß im Lockergesteinsbereich nicht allein Pumpversuche zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes führen, sondern daß z. B. die von ZIESCHANG (1961) vorgeschlagene Verbesserung der  $k_f$ -Wert-Bestimmungen durch Siebanalysen ausgezeichnete Übereinstimmung mit den nach THIEM aus Pumpversuchen errechneten Werten ergibt.

## Zur Klassifikation

Bei hydrogeologischen Untersuchungsarbeiten werden folgende Stadien unterschieden:

a) Kartierung (Übersichts-, Spezialkartierung), deren Aufgabe es ist, auf der Grundlage von geologischen Karten und Aufschlüssen die hydrogeologischen Verhältnisse des be-

treffenden Gebietes zu klären und lagerstättenhöfliche Teile auszugliedern.

b) Sucharbeiten, durch welche festgestellt werden soll, ob grundwasserführende Gesteinskörper vorhanden sind, deren Wasser mengen- und gütemäßig nutzbar ist.

c) Vorerkundung, durch die die räumliche Ausdehnung der Grundwasserlagerstätte (Einzugsgebiet) in groben Zügen zu klären und die Lagerungsverhältnisse, die Strömungsrichtung sowie die chemische Beschaffenheit des Grundwassers festzustellen ist.

d) Erkundung, deren Aufgabe es ist, sämtliche für die Übergabe einer Grundwasserlagerstätte an die zuständige Wasserwirtschaftsdirektion erforderlichen hydrogeologischen Unterlagen zu erarbeiten.

e) Standorterkundung<sup>3)</sup>, die sämtliche für die betrieblichen Belange erforderlichen Untersuchungsarbeiten im Fassungsgebiet (Brunnenvorbohrungen, chemische und bakteriologische Untersuchungen u. a.) umfaßt.

Besonders in der Hydrogeologie kann der Fall eintreten, daß ein normalerweise zu fordernder kontinuierlicher Ablauf der Untersuchungsarbeiten nach vorstehenden Stadien nicht notwendig ist bzw. nicht eingehalten werden kann. Das trifft insbesondere auf Sucharbeiten (z. B. in Urstromtälern) und mindestens bis zum Abschluß der hydrogeologischen Übersichtskartierung auch auf das Kartierungsstadium zu. Weiterhin ist es möglich, daß die hydrogeologischen Arbeiten in dem einen oder anderen Falle ohne Übergang aus einem niederen in ein höheres Untersuchungsstadium einmünden. Das kann jedoch nur in Abhängigkeit vom jeweiligen Stand der Untersuchungsergebnisse erfolgen.

Eine Einteilung der Grundwasservorräte in Vorratsklassen muß auf der Basis der Untersuchungsstadien durchgeführt werden, da diese den Grad der hydrogeologischen Untersuchungen bedingen.

Grundsätzlich kann den Vorschlägen von J. ZIESCHANG zugestimmt werden. Als Mangel erweist sich m. E. jedoch die Zweiteilung der Klasse A. Das wird besonders deutlich, wenn man berücksichtigt, daß eine Einstufung der Grundwasservorräte in eine Klasse A<sub>2</sub> auf Grund einer einjährigen kontinuierlichen Förderung nur bei wirklich eindeutigen hydrologischen Verhältnissen möglich ist (z. B. im Bereich von Schotterterrassen oder Urstromtälern). Schon im Bereich pleistozäner Hochflächen läßt eine derart geringe Zeitdauer der Grundwasserförderung eine Einstufung in diese Klasse nicht ohne weiteres zu (Grundwasserbecken u. ä.).

Unter Berücksichtigung der Untersuchungsstadien und der Vorschläge von ZIESCHANG wird empfohlen:

1. Die Grundwasservorräte werden in Außerbilanz- und Bilanzvorräte eingeteilt, wobei die Einstufung in Vorratsklassen nach dem Grade der hydrogeologischen Untersuchung (in Abhängigkeit von den Untersuchungsstadien) durchgeführt wird.

2. Die Grundwasservorräte werden in die Klasse c (Außerbilanzvorräte) C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, B und A (Bilanzvorräte) eingeteilt.

## 3. Zuordnung

### 3.1. Klasse c

Grundwasservorräte sind der Klasse c zuzuordnen, wenn auf Grund einer hydrogeologischen Kartierung die unterirdische Abflußspende über Versickerungs-Speicherungsfaktoren angenähert berechnet worden ist, eine Einschätzung des Chemismus sowie der Gewinnbarkeit des Grundwassers jedoch nicht vorgenommen werden kann oder wenn sie zum gegenwärtigen Zeitpunkt aus technischen Gründen nicht gefaßt oder aufbereitet werden können.

### 3.2. Klasse C<sub>2</sub>

Grundwasservorräte sind der Klasse C<sub>2</sub> zuzuordnen, wenn auf Grund einer hydrogeologischen Kartierung die unter-

<sup>3)</sup> Die Standorterkundung entspricht dem Stadium der betrieblichen Erkundung des Bergbaus und wird erforderlichenfalls im Stadium der wasserwirtschaftlichen Vorplanung durchgeführt.

irdische Abflußspende über Versickerungs-Speicherungs-Faktoren angenähert berechnet worden ist und eine Einschätzung des Chemismus und der Gewinnbarkeit des Grundwassers durch die Ergebnisse von Sucharbeiten angenähert vorgenommen werden kann.

### 3.2. Klasse C<sub>1</sub>

Grundwasservorräte sind der Klasse C<sub>1</sub> zuzuordnen, wenn sie analytisch als Grundwasserdurchfluß auf einer Linie (Durchflußgleichung) oder als Grundwasserzufluß zu einem Punkte durch kontinuierliche Förderung bei mindestens zwei Beharrungszuständen (Absenkungs-Leistungs-Diagramm) oder durch Quellschüttungsmessung ermittelt wurden und die gewonnenen Werte aus dem Stadium der Vorerkundung (lückenhaft) hervorgegangen sind. Der Chemismus des Grundwassers muß eine Aufbereitung zulassen; die Fassung des Grundwassers muß am Berechnungsort zumindest teilweise möglich sein.

### 3.3. Klasse B

Grundwasservorräte sind der Klasse B zuzuordnen, wenn sie analytisch als Grundwasserdurchfluß auf einer Linie oder als Grundwasserzufluß zu einem Punkte durch kontinuierliche Förderung bei mindestens zwei Beharrungszuständen oder bei einer Quelle aus der Mindestschüttung einer zehnjährigen Reihe ermittelt wurden und die Werte aus dem Stadium der Erkundung (lückenlos) hervorgegangen sind. Der Chemismus des Grundwassers muß eine Aufbereitung zulassen; die Fassung des Grundwassers muß am Berechnungsort möglich sein. Die Werte für die konstruktive Ausbildung der Fassungsanlagen und für die Aufbereitungstechnologie müssen durch die Standorterkundung ermittelt sein.

### 3.4. Klasse A

Grundwasservorräte sind der Klasse A zuzuordnen, wenn sie auf Grund einer kontinuierlichen Förderung qualitativ und quantitativ bekannt sind.

Als Voraussetzung für die Einstufung in eine Vorratsklasse gilt, daß die Bedingungen der jeweilig niedrigeren Klasse ebenfalls erfüllt sind.

Künstliche Grundwasservorräte sind analog einzustufen.

## Zusammenfassung

Verf. versucht nachzuweisen, daß Grundwasserlagerstätten prinzipiell gleichen Gesetzen unterliegen wie Lagerstätten anderer Minerale und daß sich aus der Gebundenheit des Grundwassers an den Wasserkreislauf nur eine Besonderheit des Grundwassers ergibt, die bei hydrogeologischen Untersuchungen zusätzlich zu berücksichtigen ist. Die Durchflußgleichung von DARCY wird als hinreichend genau für die

Praxis eingeschätzt und Wege zur Verbesserung der mit dieser Gleichung erreichten Ergebnisse angedeutet. Verf. bewertet den Vorschlag von ZIESCHANG für eine Klassifikation der Grundwasservorräte als richtig und empfiehlt unter Berücksichtigung der Untersuchungsstadien die Vorratsklassen A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> und c.

## Резюме

Автор пытается доказать, что месторождения подземных вод принципиально подлежат тем же законам, как месторождения других минералов. Из-за приуроченности подземной воды к круговороту воды в природе получается лишь одна особенность подземной воды, которая добавочно должна быть учтена при гидрогеологических исследованиях. Уравнение расхода по Дарси оценивается как достаточно точно для практических целей. Указывается на пути к улучшению полученных этим уравнением результатов. Автор считает предложение Цишанга для классификации запасов подземных вод правильным и рекомендует применять классы запасов A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> и c, в зависимости от стадий исследования.

## Summary

An attempt is made by the author to show that on principle ground-water deposits are subjected to the same laws as other mineral deposits, and that a peculiarity of the ground-water only results from its confinement to the hydrological cycle, which must be additionally considered in hydrogeological investigations. DARCY's flow equation is estimated to be sufficiently accurate for practical purposes, and ways to improve results obtained by this equation are indicated. ZIESCHANG's proposal for a classification of ground-water reserves are rated correct by the author, who recommends the reserve classes A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and c with the stages of investigation to be taken into account.

## Literatur

1. FORCHHEIMER, P.: Wasserbewegung im Boden. — Z. d. Ing., Berlin 1901.
2. HOHL, R.: Zur Klassifikation von Grundwasservorräten. — Z. angew. Geol., 7, S. 636—640, Berlin 1961.
3. KING, F. H.: Principles and conditions of the movement of ground water. — 19. Ann. US Geol. Survey, 1897—1898.
4. MÜLLER-DELTZSCH, G.: Grundlagen der Grundwassergewinnung. — Fachbuchverlag, Leipzig 1951.
5. PRINZ, E.: Handbuch der Hydrogeologie. — Springer-Verlag, Berlin 1923.
6. SMREK, O.: Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung. — Engelmann-Verlag, Leipzig u. Berlin 1914.
7. ZIESCHANG, J.: Zur Klassifikation der Grundwasservorräte. — Z. angew. Geol., 7, S. 312—314, Berlin 1961.
8. — Zur zulässigen Höchstbelastung eines Brunnens. — Z. angew. Geol., 7, S. 580—582, Berlin 1961.
9. AUTORENKOLLEKTIV: Analyse der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse der Flußgebiete. — Bearbeitet von einer Arbeitsgemeinschaft des Instituts für Wasserwirtschaft. — VEB Verlag der Technik, Berlin 1959.