

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung
Heft 69

Hydrogeologie und Wasserhaushalt im oberen Horlofftal (westlicher Vogelsberg)

Von

HERIBERT WALTER

Hungen

Mit 13 Abbildungen, 17 Tabellen und 2 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9

Wiesbaden 1974

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.	69	104 S.	13 Abb.	17 Tab.	2 Taf.	Wiesbaden 1974
--------------------------------	----	--------	---------	---------	--------	----------------

IN DIESER REIHE BISHER ERSCHIENEN :

- 1: JOHANNSEN, A.: Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung am Ostrand des Rheinischen Gebirges im Raume von Marburg-Frankenberg-Borken. 1950. 87 S., 8 Abb., 10 Taf., vergriffen.
- 2: SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. 1954. 288 S., 25 Abb., 60 Tab., 15 Taf., vergriffen.
- 3: KUBELLA, K.: Zum tektonischen Werdegang des südlichen Taunus. 1951. 81 S., 14 Abb., 2 Taf., DM 5,-.
- 4: GÖRGES, J.: Die Lamellibranchiaten und Gastropoden des oberoligozänen Meeressandes von Kassel. 1952. 134 S., 3 Taf., DM 7,50.
- 5: SOLLE, G.: Die Spiriferen der Gruppe *arduennensis-intermedius* im Rheinischen Devon. 1953. 156 S., 45 Abb., 7 Tab., 18 Taf., DM 20,-.
- 6: SIMON, K.: Schrittweises Kernern und Messen bodenphysikalischer Kennwerte des ungestörten Untergrundes. 1953. 63 S., 19 Abb., 3 Taf., DM 7,-.
- 7: KEGEL, W.: Das Paläozoikum der Lindener Mark bei Gießen. 1953. 55 S., 3 Abb., 3 Taf., DM 6,-.
- 8: MATTHES, S.: Die Para-Gneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre Metamorphose. 1954. 86 S., 36 Abb., 8 Tab., DM 12,50.
- 9: RABIEN, A.: Zur Taxionomie und Chronologie der Oberdevonischen Ostracoden. 1954. 268 S., 7 Abb., 4 Tab., 5 Taf., DM 17,-.
- 10: SCHUBART, W.: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. 1955. 67 S., 8 Abb., 4 Taf., DM 8,-.
- 11: STREMMER, H. E.: Bodenentstehung und Mineralbildung im Neckarschwemmlern der Rheinebene. 1955. 79 S., 35 Abb., 28 Tab., 3 Taf., DM 7,-.
- 12: v. STETTEN, O.: Vergleichende bodenkundliche und pflanzensoziologische Untersuchungen von Grünlandflächen im Hohen Vogelsberg (Hessen). 1955. 67 S., 4 Abb., 2 Tab., 1 Taf., DM 5,50.
- 13: SCHENK, E.: Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. 1955. 92 S., 21 Abb., 13 Tab., 10 Taf., DM 12,-.
- 14: ENGELS, B.: Zur Tektonik und Stratigraphie des Unterdevons zwischen Loreley und Lorchhausen am Rhein (Rheinisches Schiefergebirge). 1955. 96 S., 31 Abb., 2 Tab., 15 Diagr., 5 Taf., DM 12,60.
- 15: WIEGEL, E.: Sedimentation und Tektonik im Westteil der Galgenberg-Mulde (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1956. 156 S., 41 Abb., 7 Tab., 7 Taf., DM 18,60.
- 16: RABIEN, A.: Zur Stratigraphie und Fazies des Ober-Devons in der Waldecker Hauptmulde. 1956. 83 S., 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf., DM 7,-.
- 17: SOLLE, G.: Die Watt-Fauna der unteren Klerfer Schichten von Greimerath (Unterdevon, Südost-Eifel). Zugleich ein Beitrag zur unterdevonischen Mollusken-Fauna. 1956. 47 S., 7 Abb., 6 Taf., DM 5,-.
- 18: BEDERKE, E., u. a.: Beiträge zur Geologie des Vorspessarts. 1957. 167 S., 65 Abb., 18 Tab., DM 13,-.
- 19: BISCHOFF, G.: Die Conodonten-Stratigraphie des rhenohertzynischen Unterkarbons mit Berücksichtigung der *Wocklumeria*-Stufe und der Devon/Karbon-Grenze. 1957. 64 S., 1 Abb., 2 Tab., 6 Taf., DM 8,-.
- 20: PILGER, A. & SCHMIDT, Wo.: Die Mullion-Strukturen in der Nord-Eifel. 1957. 53 S., 42 Abb., 1 Tab., 8 Taf., DM 9,80.
- 21: LEHMANN, W. M.: Die Asterozoen in den Dachschiefern des rheinischen Unterdevons. 1957. 160 S., 31 Abb., 55 Taf., DM 30,-.
- 22: BISCHOFF, G. & ZIEGLER, W.: Die Conodontenchronologie des Mitteldevons und des tiefsten Oberdevons. 1957. 136 S., 16 Abb., 5 Tab., 21 Taf., DM 20,-.
- 23: ZÖBELEIN, H. K.: Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns. 1957. 91 S., 2 Abb., DM 8,-.
- 24: GUNZERT, G.: Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. 1958. 61 S., 14 Abb., 7 Tab., DM 14,-.
- 25: PAULY, E.: Das Devon der südwestlichen Lahnmulde und ihrer Randgebiete. 1958. 138 S., 41 Abb., 6 Taf., DM 20,-.
- 26: SPERLING, H.: Geologische Neuaufnahme des östlichen Teiles des Blattes Schaumburg. 1958. 72 S., 14 Abb., 5 Tab., 10 Taf., DM 10,-.
- 27: JUX, U. & PFLUG, H. D.: Alter und Entstehung der Triasablagerungen und ihrer Erzkörper im Rheinischen Schiefergebirge, neue Wirbeltierreste und das Chirotheriumproblem. 1958. 50 S., 11 Abb., 3 Taf., DM 5,60.
- 28: SCHMIDT, H.: Die Cornberger Fährten im Rahmen der Vierfüßler-Entwicklung. 1959. 137 S., 57 Abb., 9 Taf., DM 15,-.

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Herausgegeben vom
Hessischen Landesamt für Bodenforschung

Heft 69

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 69

Druckfehlerberichtigung

Auf Seite 74, 5. Zeile von unten, muß es statt
„Staubhorizonten“ richtig „**Stauh**horizonten“ heißen.

Hydrogeologie und Wasserhaushalt im oberen Horlofftal (westlicher Vogelsberg)

Von

HERIBERT WALTER

Hungen

Mit 13 Abbildungen, 17 Tabellen und 2 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9

Wiesbaden 1974

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.	69	104 S.	13 Abb.	17 Tab.	2 Taf.	Wiesbaden 1974
--------------------------------	----	--------	---------	---------	--------	----------------

Mit der Schriftleitung beauftragt:

Regierungsdirektor Dr. ARNOLD RABIEN, ALBERT KARSCHNY

Hessisches Landesamt für Bodenforschung

62 Wiesbaden, Leberberg 9

Kurzfassung

Ziel einer Wasserhaushaltsuntersuchung im Einzugsgebiet eines Wasserwerkes ist es, jene Wassermenge zu bestimmen, die in einem hydrogeologisch abgegrenzten Gebiet als Grundwasser neu gebildet wird und über einen langen Zeitraum durch ein Wasserwerk gefördert werden kann.

Die Abgrenzung des rechnerischen Einzugsgebietes des Wasserwerkes Inheiden ergab sich mit Hilfe der geologischen und geomagnetischen Kartierung sowie durch die Auswertung von Bohrergebnissen.

Mit Hilfe einer Bodenkartierung konnten die für die Grundwassererneuerung besonders günstigen Bereiche ausgeschieden werden. Es handelt sich vor allem um jene Areale, in denen gut wasserdurchlässige, stark erodierte Parabraunerden über klüftigen Basalten anstehen.

Der Chemismus des Grundwassers ist von der Zusammensetzung der Böden und dem Speichergestein abhängig.

Niederschlag und Verdunstung wurden über das Polygonverfahren aus neun Meßstellen bzw. das tägliche Sättigungsdefizit aus sechs Stationen bestimmt.

Als Gebietsmittel (1967 — 1969) ergaben sich 831 mm für den Niederschlag und 534 mm für die Verdunstung.

Der Abfluß wurde in der Horloff an 11 Meßstellen und in den Nebenbächen an 30 Meßwehren verschiedener Bauart ermittelt.

Der unterirdische Abfluß konnte nach der Methode NATERMANN bzw. WUNDT berechnet werden. Aus diesen Untersuchungen ergab sich für das Wasserwerk Inheiden eine Dauerentnahme von

$$663 \text{ l/s} (= 20,6 \text{ Mio m}^3/\text{Jahr}).$$

Die Relevanz dieses Wertes sollte aber durch künftige Betriebserfahrungen weiter überprüft werden.

Abstract

The objective of the study of water resources within a catchment area of waterworks is to determine the amount of water which replenishes the ground water within a hydro-geologically limited area and can be considered as long-term yield of waterworks.

The limits of the calculated catchment area of the Inheiden waterworks are the result of geological and geomagnetic mapping as well as evaluations of drill test results.

The areas particularly favorable to the replenishment of ground water were determined by means of soil investigations. These are predominantly areas with very permeable and eroded parabraunerde (various types of brown earths with vertical displacement of clays) on jointed basalts.

The chemistry of ground water is related to the composition of soil and the aquifer.

Precipitation and evaporation were determined at nine control points by means of the Polygon method and daily saturation deficits measured at six control points.

The investigation showed an average precipitation of 831 mm and 534 mm of evaporation (1967 — 69).

The discharge of the Horloff rivulet was measured at eleven control points and that of its tributary rivulets at 30 measuring weirs of various types.

Subterraneous runoff was calculated on the basis of both the NATERMANN and WUNDT method.

The investigation showed for the Inheiden water-work a continuous yield of

$$663 \text{ litres/sec.} (= 20,6 \text{ Mil. m}^3/\text{year}).$$

However, the relevancy of the result should be checked on the basis of the operational experience in the near future.

Résumé

Le but d'une recherche du bilan hydrologique d'une région alimentant une usine d'eau est de déterminer la quantité d'eau qui, dans une région hydrogéologique limitée, se renouvelle sous forme d'eau souterraine et qui, durant une longue période, peut être exploitée par cette usine.

La délimitation de la région évaluée, alimentant l'usine d'eau d'Inheiden a été définie à l'aide de la prospection géologique et géomagnétique, ainsi que par l'évaluation des résultats obtenus par des forages.

La prospection des sols a permis d'exclure les zones particulièrement favorables au renouvellement des eaux souterraines: c'est à dire celles dans lesquelles on trouve des „Parabraunerden“ (sols argileux à déplacement vertical) très perméables et fortement érodés reposant sur des couches basaltiques crevassées.

Au point de vue chimique, l'eau souterraine dépend de la nature des sols et de la roche emmagasinante.

Par le procédé du polygone, il a été possible de déterminer à neuf postes de mesure les précipitations et l'évaporation et à six stations le déficit journalier de saturation.

Pour cette région délimitée, la moyenne des précipitations est de 831 mm et celle de l'évaporation de 534 mm (1967 — 1969).

L'écoulement a été déterminé, dans l'Horloff, à onze points de jaugeage et dans ses affluents à 30 déversoirs de mesure de construction différante.

D'après la méthode de NATERMANN ou de WUNDT il a été possible d'évaluer l'écoulement souterrain.

Il en résulte que pour l'usine d'eau d'Inheiden, la prise permanente est de:

$$663 \text{ l/s } (= 20,6 \text{ Mio m}^3/\text{an}).$$

L'importance de ce résultat devrait être vérifiée par des expériences pratiques futures.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag dar zu den seit 1961 von der Geologischen Forschungsstelle (GF), Hungen, der Oberhessischen Versorgungsbetriebe AG (OVAG) früher Zweckverband Oberhessische Versorgungsbetriebe (ZOV), Friedberg, durchgeführten systematischen Untersuchungen der Hydrologie und des Wasserhaushaltes im südwestlichen Vogelsberg. Sie ist eine leicht gekürzte Fassung einer von der Fakultät für Bio- und Geowissenschaften der Universität Karlsruhe angenommenen Dissertation.

Die Geländeaufnahmen und Messungen im Einzugsgebiet des Wasserwerkes Inheiden (WWI) erfolgten in den Jahren 1967 bis 1969. Für die Möglichkeit, dieses Thema zu bearbeiten und seine großzügige Unterstützung und Förderung gilt mein aufrichtiger Dank meinem Lehrer, Herrn Professor Dr. V. MAURIN.

Zu besonderem Dank verpflichtet bin ich dem früheren Leiter der Geologischen Forschungsstelle, Herrn Dr. E. SCHENK, der mir alle Unterlagen, Geräte und Einrichtungen der Forschungsstelle zugänglich machte, mir durch seine umfassende Kenntnis des Vogelsberges wertvolle Hilfe leistete und dem Fortschritt dieser Arbeit immer großes Interesse entgegenbrachte.

Danken muß ich auch Herrn Dr. H. DENGLER, dem jetzigen Leiter der Geologischen Forschungsstelle, durch dessen Initiative die Drucklegung der Arbeit erst ermöglicht wurde.

Ferner danke ich allen Mitarbeitern der Geologischen Forschungsstelle für ihre stete Hilfe sowie dem Erdbaulaboratorium Dr. TROPP — Dipl.-Ing. NEFF in Hungen, das mir freundlicherweise mehrere Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden ausführte.

Schließlich habe ich noch dem Hessischen Landesamt für Bodenforschung für die Aufnahme der umfangreichen Arbeit in diese Schriftenreihe zu danken.

Inhalt

1. Einleitung	9
1.1. Problemstellung und durchgeführte Untersuchungen	9
1.2. Lage und Größe des Arbeitsgebietes	10
2. Morphologie und Geologie des Vogelsberges und der Wetterau	11
2.1. Morphologie	11
2.2. Geologie	11
2.3. Gesteinsaufbau	14
2.3.1. Trachyt von Rabertshausen	14
2.3.2. Trapp	14
2.3.3. Basalt im allgemeinen	15
2.3.4. Augitführender Basalt	17
2.3.5. Tuffe	17
2.3.6. Rotliegendes von Rabertshausen	18
2.3.7. Zechstein von Rabertshausen	18
2.3.8. Miozän	18
2.3.9. Eisen- und Bauxitbildungen	19
2.3.10. Lateritisierter Tuff	20
2.3.11. Löß und Lößlehm	20
2.3.12. Hangschutt	21
2.3.13. Alluvionen	21
3. Spezielle Untersuchungen im Arbeitsgebiet	21
3.1. Geomagnetische Aufnahmen	21
3.2. Tektonische Verhältnisse	23
3.3. Klima- und Vegetationsverhältnisse	26
3.3.1. Einleitende Bemerkungen	26
3.3.2. Niederschlag	26
3.3.3. Lufttemperatur	27
3.3.4. Wind	27
3.3.5. Nebel	29
3.4. Bodenkundliche Aufnahmen	29
3.4.1. Einleitende Bemerkungen	29
3.4.2. Pararendzina	30
3.4.3. Ranker	31
3.4.4. Lockerbraunerde	31
3.4.5. Parabraunerde	31
3.4.5.1. Einteilung der Parabraunerden	33
3.4.6. Pseudogley-Parabraunerde	34
3.4.7. Pseudogley	34
3.4.8. Kolluvium	35
3.4.9. Gley	35
3.4.10. Auenböden	36
3.4.11. Latosol	36
3.5. Hydrochemische Verhältnisse des Untersuchungsgebietes	38
3.5.1. Einleitende Bemerkungen	38
3.5.2. Einfluß des Bodens auf den Grundwasserchemismus	40
3.5.3. Einfluß des Speichergesteins auf den Grundwasserchemismus	41

3.5.4.	Chemische Zusammensetzung der Wässer auf den einzelnen Blättern der TK 25	43
3.5.4.1.	Bl. 5420 Schotten, Bl.5520 Nidda	44
3.5.4.2.	Bl. 5419 Laubach	45
3.5.4.3.	Bl. 5519 Hungen, Bl. 5518 Butzbach	45
3.5.4.4.	Sonderfälle	47
3.5.5.	Chemische Reihenanalysen	47
3.5.5.1.	Nr. 2 Horloffquelle	48
3.5.5.2.	Nr. 30 Quelle Friedrichshütte	49
3.5.5.3.	Nr. 63 Bg. 4, Langsdorf Teich	50
3.6.	Grundwasserleiter	51
3.7.	Einzugsgebiet	53
3.8.	Niederschlagsdargebot	53
3.8.1.	Zusätzlicher Niederschlag durch Nebel	54
3.8.2.	Zusätzlicher Niederschlag durch Tau	55
3.9.	Oberirdischer und unterirdischer Abfluß	57
3.9.1.	Meßmethodik für den Gesamtabfluß	57
3.9.2.	Bestimmung des oberirdischen und unterirdischen Abflusses	57
3.9.2.1.	Methode NATERMANN	57
3.9.2.2.	Methode WUNDT	58
3.10.	Aktuelle Verdunstung	58
3.10.1.	Verdunstung aus langjährigen Niederschlags- und Abflußmessungen	58
3.10.2.	Verdunstung aus Lysimetermessungen	59
3.11.	Potentielle Verdunstung	60
3.11.1.	Allgemeines	60
3.11.2.	Meßstationen und Flächenaufteilung des Untersuchungsgebietes	61
3.11.3.	Korrektur der potentiellen Verdunstung	62
3.11.4.	Unproduktive Verdunstung (Interception)	63
3.12.	Grundwasserneubildung	65
3.12.1.	Allgemeines	65
3.12.2.	Bestimmungen der Grundwasserneubildung aus Lysimetermessungen	65
3.12.3.	Berechnung der Grundwasserneubildung aus der erweiterten Wasserbilanz	66
3.12.4.	Berechnung der Grundwasserneubildung aus der Fördermenge von Wasserwerken	73
3.13.	Vergleich der Grundwasserneubildung und -speicherung verschiedener Einzugsgebiete	76
3.13.1.	Kleine, kurze Bäche, die ihr Wasser hauptsächlich aus Quellschüttungen erhalten	76
3.13.2.	Kleine Bäche mit mittlerem Gefälle	77
3.13.3.	Mittlere Bäche mit steilem Gefälle und landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet	77
3.13.4.	Mittlere Bäche mit steilem Gefälle und forstwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet	78
3.13.5.	Kleine und mittlere Bäche mit mittlerem Gefälle und teilweise versumpfter Talau	78
3.13.6.	Kleine und mittlere Bäche mit schwachem Gefälle	78
3.13.7.	Mittlere und größere Wasserläufe mit starkem Gefälle und schmalen Tälern, in denen lokale Grundwasserstockwerke angeschnitten werden	79
4.	Zusammenfassung	79
5.	Schriftenverzeichnis	84
6.	Anhang	94
6.1.	Beobachtete Quellen, Brunnen und Grundwassermeßstellen	94
6.2.	Analysenzusammenstellung	98

1. Einleitung

1.1. Problemstellung und durchgeführte Untersuchungen

Der Basalt des Vogelsberges bildet wegen seiner besonders in der Nähe von Störungen und Lavadurchbrüchen stark ausgebildeten Klüftung einen sehr guten Grundwasserleiter. Wo der Basalt an der Erdoberfläche ansteht, oder wo er von gut wasserdurchlässigen Böden überdeckt ist, können zum Teil ungewöhnlich hohe Anteile des Niederschlags im Untergrund versickern, so daß nur schwache, im Sommer gelegentlich sogar aussetzende Bachabflüsse zustande kommen.

Bedingt durch die Tektonik des südwestlichen Vogelsberges stoßen im Horlofftal bei Inheiden klüftige, gut leitende Basalte gegen wenig wasserdurchlässige lateritisierte Tuffe und tertiäre Sedimente. An dieser Stelle, die durch hohe Quellschüttungen ausgezeichnet war, wurde im Jahre 1911 das Wasserwerk Inheiden errichtet.

Aufgrund der hohen Wasserentnahme, die hier im letzten Jahrzehnt stattfand und die damit verbundene Absenkung des Grundwasserspiegels, entstand nun das Bedürfnis, durch eine systematische hydrogeologische Untersuchung das unterirdische Einzugsgebiet des Wasserwerkes abzugrenzen, um so einen Einblick in die Grundwasserneubildung in diesem Gebiet zu erhalten.

Dazu waren folgende Untersuchungen und Maßnahmen erforderlich:

1. Eine Auswertung der vorhandenen geologischen Karten und der eigenen geologischen Kartierung.
2. Eine Bearbeitung der vorhandenen bodenkundlichen Karten und der eigenen Aufnahmen.
3. Eine Zusammenstellung der vorhandenen geomagnetischen Karten und der eigenen Vermessungen.
4. Eine Aufnahme der Quellen, Grundwassermeßstellen und Brunnen des Arbeitsgebietes. Dazu wurden auf allen Grundwassermeßstellen, soweit möglich, Schreibgeräte installiert, sowie von 70 Wasserproben Vollanalysen angefertigt. Von einer ausgewählten Gruppe von Quellen, Brunnen und Meßstellen wurden von Oktober 1967 bis September 1968 Reihenuntersuchungen durchgeführt, wobei die Gesamthärte, die Karbonathärte sowie die Chloride, die spez. Leitfähigkeit, die Temperatur und der pH-Wert bestimmt wurden.

5. Zur Klärung der Niederschlagsverteilung wurden die vorhandenen Stationen um drei Regenschreiber nach HELLMANN vermehrt. Außerdem wurde der zusätzliche Niederschlag durch Nebel und Tau mit Nebelfängern nach GRUNOW bzw. mit Tauplatten nach LEICK gemessen.
6. Zur Erfassung des Abflusses im Einzugsgebiet der Horloff wurden 30 Meßbleche installiert und elf Abflußmeßstellen eingerichtet.
7. Um einen möglichst exakten Wert für die Gebietsverdunstung zu erhalten, wurden 5 Thermohygographen sowie 2 Sonnenscheinschreiber, 2 Windwegmesser und 2 Bodenthermometer aufgestellt.

1. 2. Lage und Größe des Arbeitsgebietes

Der Vogelsberg liegt ungefähr in dem Dreieck, dessen Eckpunkte durch die Städte Marburg — Fulda — Frankfurt/Main gebildet werden. Das Niederschlagsgebiet der oberen Horloff und somit das wesentliche Einzugsgebiet des WWI liegt auf der Westflanke des Berges und hat eine Größe von ca. 120 km². Die Horloff durchfließt in diesem Gebiet von der Quelle bis zum WWI als orographische Einheiten den Hohen Vogelsberg und den Vorderen Vogelsberg, bevor sie in die Wetterau eintritt (Abb. 1).

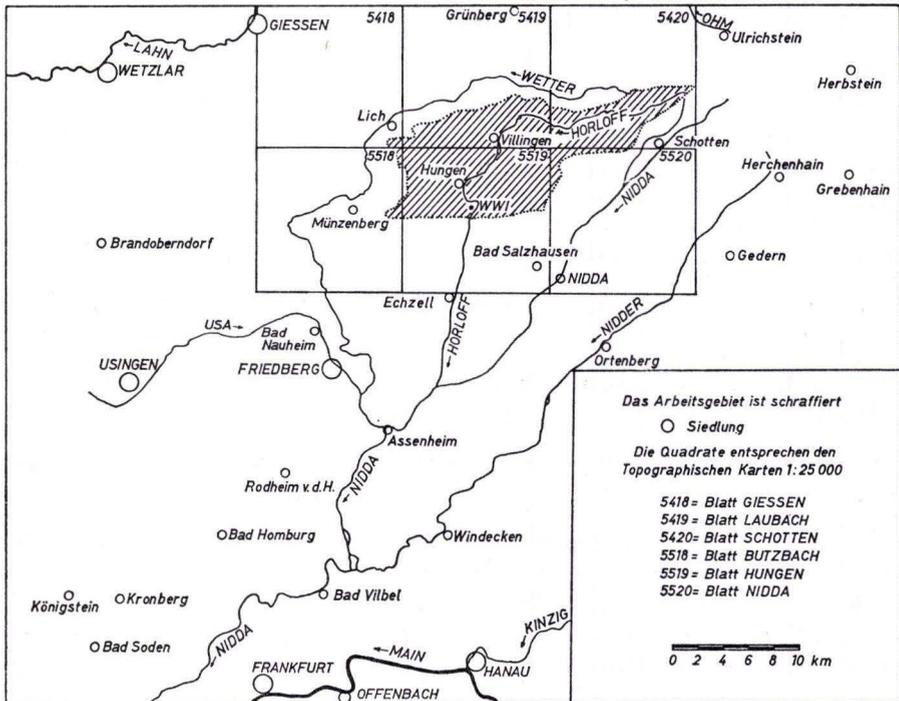


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes im westlichen Vogelsberg.

2. Morphologie und Geologie des Vogelsberges und der Wetterau

2. 1. Morphologie

Der Vogelsberg bildet heute eine flache Kuppel von rundlichem Umriß. Seine Ränder liegen zwischen ca. 200 m über NN (Gießen) und ca. 400 m über NN (Stockhausen bei Lauterbach). Östlich vom geometrischen Mittelpunkt des Gebirges erhebt sich der Hohe Vogelsberg, der in der welligen Hochfläche des Oberwaldes mit dem Taufstein (773 m über NN) als höchste Erhebung gipfelt.

Über den Vogelsberg verlaufen die Wasserscheiden zwischen vier größeren Flußsystemen, von denen Lahn, Nidda und Kinzig zum Rhein, die Fulda zum Niederschlagsgebiet der Weser gehören.

Die zahlreichen, im Oberwald entspringenden Flüsse und Bäche gehen radialstrahlig von ihm aus. Die Nebentäler laufen mit den Haupttälern meist bis kurz vor der Vereinigung parallel, so daß die Basaltfläche in lange, zungenförmige Rücken zerschnitten wird. Die radialstrahlige Anordnung wird nur durch die wichtigsten tektonischen Strukturen, wie den fünf bis sechs Kilometer breiten Horloffgraben und die diesem im E parallel laufende Ohm-Seental-Linie sowie den NW — SE verlaufenden Lauterbacher Graben beeinflußt.

Das Relief ist besonders im westlichen Teil des Gebirges ausgezeichnet durch die Terrassenlandschaften der Lahn und des Mains bzw. der Wetter, der Horloff und der Nidda. Diese Flüsse haben in verschiedenen Niveaus weitausgedehnte Flächensysteme zurückgelassen. Sie liegen zwischen dem des Hauptvorfluters in 100 — 150 m über NN und den oberpliozänen Talböden in 300 — 340 m über NN (SCHENK 1964 a). Die Terrassen lassen erkennen, daß im Pliozän und auch noch zur Hauptterrassenzeit zwischen dem Rheinischen Schiefergebirge und dem Vogelsberg eine Ur-Lahn zum Main hin entwässerte. Sie folgte damit einer schon im Mitteloligozän deutlich nachweisbaren und bis ins Pleistozän weiterentwickelten tektonischen Senke. Nach der Anzapfung der Lahn vom Rhein her entstand durch Ausräumung dieser Senke durch die jungpleistozänen vom Vogelsberg nach W abfließenden Gewässer die Wetterau. Sie wird im N von der Gießener Schwelle, im S durch den Höhenrücken der Hohen Straße begrenzt und stellt eine Niederungslandschaft mit häufiger Hügelbildung dar.

Das heutige Relief des Vogelsberges mit den schmalen stark eingetieften Tälern im westlichen und südwestlichen Vogelsberg und der Hügel- und Beckenlandschaft mit breiten Tälern im Ostvogelsberg ist nach SCHENK (1968) das morphologische Produkt der an das quartäre Klima gebundenen Erosion.

2. 2. Geologie

Die hydrogeologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes sind nur zu verstehen, wenn man sie im größeren Rahmen betrachtet. Aus diesem Grunde wird hier zuerst die geologische Entwicklung des Vogelsberges und der Wetterau aufgezeigt, wie sie

sich heute nach neueren Bohrungen des ZOV und nach der geomagnetischen Vermessung darstellt.

Geotektonisch gehören Vogelsberg und Wetterau zur Mittelmeer-Mjösen-Zone, einer Mitteleuropa meridional durchziehenden Störungszone. Im Horloffgraben, im SW des Untersuchungsgebietes, hat diese Struktur für das Gebiet des Vogelsberges und der Wetterau ihre größte Dislokation.

Da, wo sich die N—S verlaufenden Störungen dieser Zone mit der NE—SW streichenden Saar-Saale-Senke sowie der Richtung der variskischen Falten vergittern, erhebt sich der Paläovulkan Vogelsberg. Da aber die schon lange vor Beginn des Vulkanismus tätigen tektonischen Kräfte auch während der Bildung und auch noch nach dem Erlöschen des Vulkans wirksam waren, zeigt der Bauplan nicht nur in seiner ersten Anlage, sondern auch in seiner Ausgestaltung eine weitgehende Abhängigkeit vom Untergrund.

Die gefalteten altpaläozoischen Schichten des Taunus, die im Feldberg mit 880 m über NN ihre höchste Lage erreichen, sind im Gebiet des Vogelsberges tief versenkt und werden großflächig von jüngeren Schichten überdeckt.

Jüngeres Paläozoikum tritt im Taunus nicht auf. Jedoch kennt man einen kleinen Horst, die Naumburg, zwischen Erbstadt und Kaichen in der Wetterau, der aus Unterkarbon gebildet wird. Er besteht aus Grauwacken, Ton- und Kieselschiefern sowie Konglomeraten. Einen Aufschluß im Karbon findet man dann erst wieder am Nordrande des Vogelsberges bei Ruhlkirchen, wo wiederum Grauwacken anstehen.

Rotliegendes wurde in den am Ende der variskischen Faltung sich bildenden intramontanen Becken abgelagert. Man findet es im westlichen Vogelsberg bei Rabertshausen. Auch wurde es in einer Bohrung bei Bad Salzhausen in 470,00 m unter NN angetroffen. Im Ostvogelsberg wurde Rotliegendes unter Buntsandstein und Zechstein bei Schlitz (165,00 m unter NN bzw. 309,50 m unter NN), Wernges (25,30 m unter NN) und Stockhausen (326,00 m unter NN) erbohrt.

Der Zechstein ist im zentralen Vogelsberg dolomitisch, am Rande auch örtlich klastisch ausgebildet.

Dolomitischen Zechstein mit unbekannter Stellung im Gesamtprofil kennt man als Hangendes des Rotliegenden von Rabertshausen (nach HARRASSOWITZ in SCHOTTLER 1925). In jüngster Zeit wurde dolomitischer Zechstein auch bei Ranstadt erbohrt. Das Basiskonglomerat des Zechsteins ist bei Stockheim und Bleichenbach im Süden des Vogelsberges aufgeschlossen. Aus Festlandschutt bestehenden Zechstein kennt man dann erst wieder aus einer Bohrung in Daubringen bei Gießen.

Zwischen diesen beiden Gebieten verschiedener Zechsteinfazies erstreckt sich wahrscheinlich ein altpaläozoischer Rücken, der die Nordgrenze der Saar-Saale-Senke bildet und, wie schon erwähnt, bei Ruhlkirchen nochmals mit Grauwacken im Buntsandstein aufricht. Für das Bestehen dieses Rückens spricht neben diesen Tatsachen auch die unvollständige Ausbildung des Zechsteins bei Rabertshausen.

Älteres Mesozoikum kennt man aus dem zentralen Vogelsberg nur aus den Bohrungen Rainrod und Hirzenhain, wo es unter Basalt als Buntsandstein in 230 m unter NN bzw. 35 m über NN angetroffen wurde. Innerhalb der Basaltfläche streicht der Buntsandstein nur im östlichen Vogelsberg bei Bermuthshain zu Tage aus. An dieser Stelle beschreibt SCHOTTLER (1931) auch Muschelkalk, der 1947 bei Angersbach erschürft und bei Wahlen am Nordrand des Vogelsberges 1955 unter Rupelton in 214 m über NN erbohrt wurde. Jüngerer Mesozoikum ist nur vom Ostrande des Vogelsberges bekannt, speziell aus dem Lauterbacher Graben (Liasscholle von Angersbach).

Die geologische Überlieferung setzt im Vogelsberg dann erst wieder mit unteroligozänen Schichten des Tertiärs ein. Diese sind nur im nördlichen Vogelsberg nachgewiesen worden. Erst die Sedimente des Rupeltonmeeres haben im Gebiet des Vogelsberges und der Wetterau eine großräumige Verbreitung. Sie überdecken im Westen in der Wetterau devonische, karbonische und permische Sedimente, im Gebiet des Vogelsberges Rotliegendes und Buntsandstein.

Im Gegensatz zum Oberoligozän, das noch im Ostvogelsberg abgelagert wurde, sind die Schichten des Aquitan auf eine schmale NNE — SSW verlaufende Senke zwischen Taunus und zentralem Vogelsberg begrenzt.

In die kalkigen Hydrobienschichten des oberen Aquitan schalten sich nun im Gebiet des Vogelsberges die ersten Tuffe ein, die somit den Beginn des Vulkanismus präzise markieren.

Mit Beginn des Sarmat endete dieses vulkanische Geschehen, das durch einen lebhaften Wechsel von Effusionen und Intrusionen bestimmt wurde. Tiefe Bohrungen¹, die in den letzten Jahren vom ZOV abgeteuft wurden, geben darüber Auskünfte. Sie belegen den Wechsel zwischen Lava und Tuffen, auf denen sich lateritische Böden bildeten die wieder von Tuffen überdeckt und von Lavaströmen überflutet wurden (SCHENK 1965).

Weiterhin ergab die exakte Auswertung dieser Bohrungen die geologische und geomagnetische Kartierung sowie die Messungen des Fließgefüges der Lava durch BRINCKMANN (1968), daß die Basaltplatte des Vogelsberges in das umgebende Tertiär, Mesozoikum und Paläozoikum eingesenkt ist.

Die geomagnetischen und gefügekundlichen Untersuchungen zeigten außerdem, daß im Westteil des Vogelsberges ein N — S verlaufendes Becken bestand, das durch eine Querschwelle zwischen Lich und Laubach zweigeteilt war.

Nördlich dieser Schwelle herrschte N- bzw. NW-Gefälle, südlich davon S- und SW-Gefälle.

Den Ostrand dieses Beckens bildete eine Schwelle, deren Scheitelpunkt im Hohen Vogelsberg lag. Jenseits dieses Kammes bestand bei Alsfeld ein weiteres Becken. In diesem Teil des Vogelsberges hatten die Lavaströme ihren Ursprung auf dieser Schwelle und flossen daher sowohl nach W wie nach E ab.

¹) Wegen des Umfangs war eine Publikation der Bohrprofile, die in einem Bohrarchiv zusammengefaßt sind, nicht möglich. Es liegt jedoch beim Lehrstuhl für Angewandte Geologie an der Universität Karlsruhe auf und kann dort von Interessenten eingesehen werden.

2. 3. Gesteinsaufbau

Nachdem die geologischen Verhältnisse von Vogelsberg und Wetterau kurz aufgezeigt wurden, sollen noch die Gesteine vorgestellt werden, die durch diese geologischen Vorgänge gebildet wurden.

In diesen Gesteinen, aus denen die Böden entstanden und entstehen, bewegt sich das Grundwasser, dessen Chemismus während des Sickerprozesses in diesen Böden und durch die Verweildauer in den Gesteinen geprägt wird.

Im folgenden werden zuerst die Vulkanite besprochen, dann die Sedimente und die durch exogene Einflüsse umgewandelten vulkanischen Bildungen.

2.3.1. Trachyt von Rabertshausen

Bei Rabertshausen findet man heute nur noch sehr selten dieses Material. Erbohrt wurde es bei der Erstellung der Grundwassermeßstellen des ZOV (Bg. 23) zwischen 178,00 und 171,30 m über NN. Der Trachyt besteht aus einer weißlich-grauen Grundmasse mit kleinen Sanidineinsprenglingen. Die Sanidine können bei der Verwitterung weiß und dadurch undurchsichtig werden (SCHÖTTLER 1921). Beim Auswittern hinterlassen sie viereckige Hohlräume, die dem Gestein ein löcheriges Aussehen geben. Nach DIEFFENBACH in SCHÖTTLER (1921) sind die kleinen Sanidineinsprenglinge fluidal angeordnet und umschließen größere Individuen. Die wenigen Zwickel zwischen den Feldspäten sind mit zersetztem, von Brauneisen durchtränktem Glas ausgefüllt. Der Kieselsäuregehalt beträgt 72,5 %, der Glühverlust 0,8 % und das spez. Gewicht 2,5 Mp/m^3 .

2.3.2. Trapp

Der Trapp nimmt von den Basalten des Arbeitsgebietes die geringste Fläche ein. Neben kleinen Vorkommen, die aber für die Tektonik des Gebietes wichtig sind, sind nur die Vorkommen südwestlich Betzenrod, westlich Einartshausen, zu beiden Seiten der Horloff am Jägerhaus sowie das Vorkommen am Häuserkopf und bei Ruppertsburg erwähnenswert.

Das halbmondförmige Vorkommen von Trapp im SSW von Betzenrod (Taf. 1) ist charakterisiert durch tischartige Platten, die durch die Verwitterung ein wulstiges Aussehen erhielten. Der Trapp ist anamesitisch und besitzt zahlreiche kleine Gasporen.

Das langgestreckte Trappvorkommen im W davon ist von seinem Hangenden einem basischen Basalt schwer abzutrennen. Nach SCHÖTTLER (1924) gibt es in diesem Trapp Partien, in denen Olivine serpentinisiert und die gesamte Gesteinsmatrix von Serpentin durchzogen ist.

Auffallend ist der Trapp westlich von Einartshausen. Er enthält neben Olivin und Augit recht oft auch große Plagioklase, die sich von der jüngeren Generation der Grundmasse gut abheben. Nach SCHÖTTLER (1924) enthält er außerdem viel Titaneisen in Form von Nadeln und Leisten. Der obere Teil des Trapps ist ziemlich grobkörnig und verwittert, infolge seines Plagioklasreichtums, sehr hell.

Der Trapp rechts der Horloff am Jägerhaus ist wegen seiner z. T. großporigen Ausbildung (Lungstein) gegen den hangenden Basalt gut abzugrenzen. Es ist ein heller Trappbasalt mit viel Titan- und Magneteisen, der außerdem auch noch recht viel Augit enthält. Das Liegende dieses Trapps bildet ein lateritisierter Tuff, der als Grundwasserstauer in Erscheinung tritt.

Auf der linken Seite der Horloff am Strickberg und auch an der Kiliansherberge ist folgendes Profil aufgeschlossen:

Hangschutt,
lateritisierter Tuff,
basischer Basalt,
Trapp,
lateritisierter Tuff,
augitführender Basalt.

Der Trapp in diesem Vorkommen bildet nur einen schmalen Ausstrich und hat in einer feinkörnigen und dichten Grundmasse wenige, aber auffallend große Plagioklaseinsprenglinge. Bei den beiden Trappvorkommen am Häuserkopf in der NW-Ecke des Arbeitsgebietes ist nur der Straßeneinschnitt am SE-Hang des Häuserkopfes von einigem Interesse.

Hier findet man ohne eine scharfe Grenze einen Übergang von einem hellen, fast weißen, verwitterten, Feldspatleisten enthaltenden Trapp in einen dunkelgrauen, viel Olivin führenden, basischen Basalt. In der Übergangszone der beiden Basalte sind die Klüfte durch Rotlehme verschmiert.

Der Trapp von Ruppertsburg ist gekennzeichnet, besonders links der Horloff, durch seine groben, z. T. mächtigen Säulen, eine Ausbildung die auch schon beim Jägerhaus beobachtet werden konnte. Sonst zeigt dieser Trapp nach SCHOTTLER (1918) unter dem Mikroskop körnige Struktur. Der Plagioklas tritt in ziemlich großen Leisten auf, zwischen die der Augit und auch Glas eingeklemmt sind.

2.3.3. Basalt im allgemeinen

Unter diesem Begriff sind der basische Basalt (39 — 42 % SiO_2) und der mittelsaure Basalt SCHOTTLERS (43 — 47 % SiO_2) zusammengefaßt. Dieser Basalttyp nimmt unter den Basalten den weitaus größten Teil des Arbeitsgebietes ein. Einige interessante Aufschlüsse sind:

a) Basaltbruch bei Gonterskirchen

Am Eingang zum Bruch stehen grobe Tuffe und Agglomerate an, die zeitweise auch an der südwestlichen Bruchwand angefahren waren. Sie werden von Basalt überlagert. Der Kontakt fällt steil bruchwärts ein, was auf einen Kraterwall und einen von Basalt erfüllten Schlot hinweist. Trichterförmig zum Steinbruch einfallende Klüfte deuten in gleiche Richtung. Der Basalt zeichnet sich durch einen ungewöhnlichen Reichtum an bis faustgroßen Olivinknollen aus, die besonders an der Basis des Basaltes angereichert sind. Da sie leicht verwittern, hat der Basalt hier zahlreiche, von braunen Verwitterungsrückständen erfüllte Hohlräume. Nach ERNST (1965) sind die Olivineinschlüsse als Fremdgestein zu deuten, die höchstwahrscheinlich dem oberen Erdmantel entstammen.

Ein ähnliches, kleineres, aber mit z. T. noch größeren Olivineinschlüssen findet sich am Westabhang des Feuer-Berges im NNE von Langsdorf.

b) Steinbruch bei Langd am Südabhang des Köppels

In diesem basischen Basalt sind eigenartige Absonderungsformen zu beobachten. In der Hauptwand des Bruches ist eine kugelige, schalige Absonderung vorhanden, die durch eine sehr engständige Klüftung um einen Abkühlungshorizont entstanden ist (\varnothing der Kugel 8—10 m). In größerer Entfernung von der Kugel wird die Klüftung weitständiger und es kommt zu einer ersten Andeutung von Säulenbildung.

Ähnliche Gebilde hat SCHENK (1964 c) von Ober-Widdersheim und vom Oeleberg bei Gießen beschrieben.

Ihre Entstehung ist folgendermaßen zu erklären: Intrudiert Basaltlava in Tuffe, Sedimente oder auch in Fugen und Klüfte von schon ausgeschiedenem Basalt, so werden Teile des Tuffes und Basaltbrocken, von z. T. erheblichem Ausmaß, von der Lava aufgenommen, umflossen und nach außen hermetisch abgeschlossen. Dieses eingeschlossene Fremdmaterial steht nun unter großem Druck und hoher Temperatur, so daß sich aus den Gesteinsfragmenten und den Silikatmineralien des Basaltes über die Dampfphase durch autohydrothermale Zersetzung der Bolus (mikrokristalliner Montmorillonit und Illit) bildet. Diese zusammengeballten Gesteinstrümmer in den taschen-, linsen- und kugelförmigen Einschlüssen sind somit von Bolus durchdrungen und bilden die Daugkörper, die von dem erwähnten, plattig abgesonderten Basalt umgeben sind. Das breccienartige Material bildet sich natürlich auch am Dach und der Sohle einer Intrusion die dann als Subfusion bezeichnet wird.

Diese Breccien sind also ein Beweis für eine Subfusion, da sie sich von der Umarmung, die vielen Lavaströmen eigen ist, grundsätzlich unterscheiden.

Bei den Schlackenagglomeraten der Aa-Lava berühren sich die Brocken gegenseitig, stützen sich und sind relativ dicht aneinandergelagert. Sie sind ein Beweis für einen Erguß.

Bei der Subfusionsbreccie dagegen schwimmen die Brocken, Blöcke und Kugeln richtiggehend im Bolus.

c) Bahneinschnitt der Hungen-Gelnhausener bzw. Hungen-Friedberger Linie bei Inheiden

In diesen Einschnitten ist von oben nach unten folgendes Profil aufgeschlossen:

2,0 m	Basalt mit scharf abschneidender, waagrechter Unterfläche. Die untere Hälfte ist sehr porös.
0,3 — 0,5 m	geschichteter, gelb- und rotgefärbter Tuff
5,0 m	säulig abgesonderter Basalt
2,0 — 3,0 m	Schlackenagglomerat

In diesen Fällen liegen zwei Lavaströme vor. Während der obere in waagrechte Platten abgesondert ist und ebenflächig und ohne Schlackenbildung auf dem Tuff liegt, ist der untere Strom fast ganz in das oben beschriebene Agglomerat eines Aa-Stromes aufgelöst.

Sehr schön sind die Stromschlacken ferner an dem Einschnitt der Straße Hungen—Rodheim aufgeschlossen. Hier ist der Basalt in waagerechten, etwas gebogenen Platten abgesondert, die beim Verwittern kugelig zerfallen.

2.3.4. Augitführender Basalt

Der Nordosten des Arbeitsgebietes wird teilweise von einem Plagioklasbasalt eingenommen (Taf. 1), der zahlreiche Augiteinsprenglinge enthält. Er wird als der Vockenhainer Erguß bezeichnet. Sein Beginn liegt mit sehr geringer, allmählich wachsender Mächtigkeit im Vockenhain, unterhalb der Feldkrücker Höhe. Man kann nach SCHOTTLER (1937) aus begleitenden Resten eine Decke von 6 km Breite und 8,75 km Länge = 52,5 km² rekonstruieren, deren Oberflächengefälle durch einige Reste von basischem Basalt, die auf ihr schwimmen, leicht festzustellen ist. Im Handstück lassen sich in einer dichten, schwarzen Grundmasse zahlreiche kleine Augit- und Olivineinsprenglinge erkennen. Die Augite heben sich gut von der Verwitterungsrinde des Gesteins ab. Auch kommen Knollen von Olivin und Augit recht häufig vor. Nach SCHOTTLER (1923) erweist sich das Gestein als ein Glasbasalt, in dessen Grundmasse nur selten Plagioklas in winzigen Leisten ausgeschieden ist. Das Glas ist oft kaum nachweisbar, weil in sehr vielen Schliften der Magnetit als feiner, dicht gelagerter Staub auftritt. Der Kieselsäuregehalt dieses Basaltes beträgt zwischen 43 und 43,5 0/0. Ein weiterer Beweis für einen Strom, der über Tuff geflossen ist, bildet das Agglomerat an der Sohle des Basaltes, das die oben beschriebenen Eigenschaften besitzt.

2.3.5. Tuffe

Der Begriff „Basalttuff“ der hydrogeologischen Karte beinhaltet neben den Staub- und Lapillituffen auch die Wurf Schlacken wie sie am Galgenberg nördlich Friedrichshütte, bei Nonnenroth, am Löhchen und südlich des Häuserkopfes aufgeschlossen sind. Echte unveränderte Tuffe stehen im Arbeitsgebiet wenig an.

Aufschlüsse im Tuff gibt es nördlich der Horloff zwischen Gonterskirchen und Friedrichshütte, im SW der Grundwassermeßstelle 78, südlich des Häuserkopfes, bei der Grundwassermeßstelle 105 bei Trais-Horloff und in den schon erwähnten Bahneinschnitten bei Inheiden.

Die Wurf Schlacken, auch Agglomerate genannt, bilden sich bei heftigen Gasausbrüchen örtlicher Eruptionen. Sie sind zusammengesetzt aus Schlacken von sehr verschiedener Form und Größe. Es sind im Fluge erstarrte Fetzen verhältnismäßig dünnflüssiger Lava, aus denen die Gase leicht entweichen konnten. Ihre Viskosität wurde erst nach stärkerer Abkühlung so hoch, daß die letzten Gasblasen nicht mehr entweichen konnten. Die Fragmente sind nicht, wie z. B. beim Bimsstein, durch gegenseitige Reibung abgerundet, sondern zeigen unregelmäßige, zackige und eckige Formen. Die Blasenhäufigkeit ist ziemlich groß. Die Blasen sind unregelmäßig geformt. Feinkörnige Zwischenprodukte fehlen meistens. Die Schlacken sind jedoch randlich oft verkittet (Schweißschlacken) oder durch Bildung sekundärer Mineralien verfestigt und zeigen meistens eine Schichtung. Die eigentlichen Tuffe sind Staub- (Bahneinschnitt bei Inheiden), Lapilli- (Grundwassermeßstellen 78 und 105, südlich des Häuserkopfes) und Brockentuffe (nördlich der Horloff zwischen Friedrichshütte und Gonterskirchen).

In den schon beschriebenen Profilen der Bahneinschnitte bei Inheiden steht zwischen den zwei Basaltströmen ein echter Aschentuff an. Er ist gut geschichtet und rot oder gelb gefärbt. Dabei wechseln mehr oder weniger feinkörnige Schichten mit ganz dichten,

roten Bändern. Die Rotfärbung ist besonders in der Kontaktzone zum hangenden Basaltstrom ausgebildet. Hier ist der Tuff gefrittet und hat deshalb eine tonsteinartige Konsistenz.

Die Lapillituffe sind immer gut geschichtet und meistens stark geklüftet (Grundwassermeßstelle 105 bei Trais-Horloff). Die Korngröße beträgt maximal 5 mm. Die Lapilli aus kompaktem Basalt liegen in einer dichten, gelblichen, weiß gefleckten Grundmasse.

Im gesamten Arbeitsgebiet wurde nur ein Vorkommen von Brockentuff bekannt, und zwar in einem kleinen Schurf nördlich der Horloff zwischen Gonterskirchen und Friedrichshütte. Dieser Tuff ist nicht oder nur ganz undeutlich geschichtet. Er enthält in einer grobkörnigen Grundmasse Bomben von 1 — 2 m \varnothing aus kompaktem oder lungsteinartigem Basalt. Hier kann man auch Sandsteinbrocken und z. T. recht große Hornblendenkristalle finden.

2.3.6. Rotliegendes von Rabertshausen

Die von DIEFFENBACH (1856) auf der alten Karte bei Rabertshausen als Rotliegendes eingetragene Ablagerung ist heute nicht mehr aufgeschlossen. Nach DIEFFENBACH in SCHOTTLER (1921) besteht sie aus einem weißgrauen Konglomerat, das sich aus Quarzit, Grauwacke und zersetztem Feldspat zusammensetzt.

In einer Bohrung für die Wasserversorgung der Gemeinde Rabertshausen, ganz in der Nähe des früheren Aufschlusses, wurde zwischen 161,40 — 156,00 m über NN ein Ton mit Gangquarzbruchstücken, Trachyt- und Tonsteinbrocken angetroffen und ab 156,00 — 135,00 über NN frischer Tonstein, der von SCHENK ins Rotliegende eingestuft wird.

2.3.7. Zechstein von Rabertshausen

Von dem Horst bei Rabertshausen wurde auch Zechstein beschrieben. Er besteht aus einem grauen, fossilereen Dolomitstein, der auch heute noch vereinzelt in der Straßenböschung südöstlich von Rabertshausen unter Lößlehm gefunden werden kann.

Als Zechsteinkalk beschriebene Stücke wurden auch in der oben erwähnten Bohrung zusammen mit Quarzkiesel und Basaltbrocken zwischen 171,20 und 162,95 m über NN angetroffen.

2.3.8. Miozän

Das Miozän, das als Süßwasserschichten eingestuft wird (SCHOTTLER 1918), ist auf zwei kleine Vorkommen westlich Nonnenroth und westlich Lich beschränkt. Es zeigt im Gegensatz zu den Vorkommen am Rande des Vogelsberges und bei Reiskirchen, wo es aus Sanden mit Quarziten, Tonen mit Braunkohlen sowie Süßwasserkalken und Kieselgur besteht eine ganz andere Ausbildung. Hier ist es ein dunkelbrauner geschichteter Sand, der manchmal fest verkittet ist. Er enthält zahlreiche Basalkörner und sehr viele Basaltmineralien. Das Vorkommen westlich Nonnenroth

liegt verhältnismäßig tief mitten im Basaltgebiet. Trotzdem wurden etwas weiter im NE bei Münster unter diesen Ablagerungen mächtige vulkanische Bildungen erbohrt. Daraus geht hervor, daß wir es hier mit einer Mischung tertiärer Klastika und vulkanoklastischer Tuffe zu tun haben.

2.3.9. Eisen- und Bauxitbildungen

Die Eisen- und Bauxitbildungen nehmen eine große Fläche im NW des Arbeitsgebietes ein. Für ihre Entstehung wurden in der Literatur viele Faktoren verantwortlich gemacht.

HARRASSOWITZ (1926) erklärt die Lagerstätten durch lateritische Verwitterung in Tälern der miozänen Vogelsberglandschaft. In diesen Tälern sollen Galeriewälder und Sümpfe existiert haben, die periodisch austrockneten und entweder starke Humus- einwirkung oder Ausfällung des gelösten Materials ermöglichten. Zum selben Ergebnis kam auch FRIEDRICH-LAUTZ (1963).

Nach SCHENK (1965 b) sind kaolinische Verwitterungsminerale und Böden, die im Gegensatz zu den echten Lateriten der Tropen noch größere SiO_2 -Gehalte haben, charakteristisch für die tertiären Lateritdecken auf den Basalten und Tuffen des Vogelsberges. Sie werden deshalb als Siallite den Alliten gegenübergestellt. In den heute aufgegebenen Abbauen bei Merlau und Nieder-Ohmen im Ohmtal konnte SCHENK zeigen, daß die Vererzung dieser Siallite in den Warmzeiten des Pleistozäns stattgefunden hat, wobei die Roterde in Gelb-(Braun-)erde umgewandelt wurde.

SCHELLMANN (1966) hat aus den Gruben Feldheimer Wald und Lich zwei Profile beschrieben, in denen der Übergang von Basaltzersatz in Rotlehme mit Bauxitknollen zu beobachten ist. Nach seinen Untersuchungen verwittert der Basaltzersatz lateritisch. Dieser Vorgang ist charakterisiert durch die Anreicherung von Hämatit und den Abbau von Kaolinit, wobei Gibbsit und Quarz aus den Verwitterungslösungen ausgefällt wurden.

Diese Neubildung von Quarz gibt es in tropischen Lateriten nicht und stellt somit eine Besonderheit dar.

Die Bauxitknollen haben sich überwiegend unter Verdrängung schwächer verwitterter Gesteinspartien durch Gibbsit gebildet. Feine Hohlräume in der Roterde werden ebenfalls von Gibbsit ausgekleidet.

Für die Entstehung der Basalteisenerze schließt sich SCHELLMANN der Anschauung von HARRASSOWITZ (1926) an.

Das in dem kaolinischen Basaltzersatz in Schnüren und Bändern angereicherte Eisen- erz besteht aus Goethit, der meistens auch Hämatit enthält. Auch Lepidokrokit wurde gefunden, der auf die Entstehung unter reduzierenden Bedingungen hinweist. In zahlreichen experimentellen Untersuchungen bildet sich Lepidokrokit durch Oxydation von Verbindungen des zweiwertigen Eisens.

2.3.10. Lateritisierter Tuff

Seine Entstehung entspricht den eben beschriebenen Vorgängen. Die Kieselsäure wird mehr oder weniger ausgelaugt und die Tonerde und Eisenhydroxyde reichern sich an.

In den in der Karte ausgeschiedenen Flächen ist es allerdings nicht zu Bildung von Eisen- und Bauxitknollen gekommen.

Diese lateritisierten Tuffe sind oft von Lavaströmen überflutet und gefrittet worden. Hydrogeologisch bilden sie Sohlschichten wichtiger Quellhorizonte, wie z. B. zwischen Jägerhaus und Bohrung 13 an der Horloffbrücke.

2.3.11. Löß und Lößlehm

Löß und Lößlehm sind im Arbeitsgebiet das weitverbreiteste Gestein. Dieses Material hat im Vogelsberg und in der Wetterau eine Mächtigkeit bis zu 10 m. Auf den Hängen und in den Tälern ist der Löß oft umgelagert und mit Basaltschutt vermischt. Im allgemeinen hat der Löß eine gleichmäßige und nur in gewissen Grenzen schwankende Zusammensetzung.

Es überwiegt mit 35 — 55 % die Korngröße 0,05 — 0,01 mm. Dann folgt mit 10 — 20 % die Korngröße 0,02 — 0,002 mm (Schluff). Die Fraktionen über 0,05 mm und unter 0,002 mm ϕ sind nur mit wenigen Prozenten an der Zusammensetzung beteiligt (SCHÖNHALS 1954).

Eine Analyse des Lösses aus der Lehmgrube von Berstadt (knapp südlich der Grenze des Arbeitsgebietes) in der Wetterau ergab folgende Werte (SCHÖNHALS 1954):

SiO ₂	63,61 %	CaO	7,46 %
Al ₂ O ₃	9,49 %	Na ₂ O	1,16 %
Fe ₂ O ₃	3,98 %	K ₂ O	1,87 %
MnO	0,10 %	P ₂ O ₅	0,13 %
MgO	1,13 %	CO ₂	3,98 %
CaCO ₃	8,31 %		

Akzessorisch kann der Löß im Arbeitsgebiet noch Glimmer, Hornblende, Augit und Magneteisen enthalten.

Da beim gemäßigt humiden Klima der Niederschlag größer ist als die Verdunstung, werden lösliche Bestandteile ausgewaschen. Der Löß verliert dadurch in den höheren Horizonten den Kalk, der als Kalziumhydrogenkarbonat in Lösung geht und in tieferen Horizonten wieder ausgeschieden (Lößkindl) oder durch das Grundwasser abgeführt wird.

Wenn der Kalk ausgespült ist, wird die Bodenreaktion höher, so daß die vorhandenen primären Silikatminerale (Feldspat, Glimmer) hydrolytisch verwittern, wobei eine Neubildung von Tonmineralien (Montmorillonit) stattfindet. Diese Erscheinung wird als Verlehmung des Lösses bezeichnet, da die Kornfraktion $< 0,002$ mm erheblich zunimmt.

2.3.12. H a n g s c h u t t

Während die lateritische Verwitterung ein chemischer Vorgang ist, herrschte während des Pleistozäns die Insolationsverwitterung und Frostsprengung vor. Dadurch kam es zur Bildung von Blockfeldern, die noch heute den Hohen Vogelsberg bedecken:

Bg. 15 Horloffquelle 15,00 m,

Bg. 14 Betzenrod 5,10 m.

Ausgeprägte Hangschuttmassen findet man auch im Oberlauf von Seenbach, Wetter, Gierbach und Nidda. Sie entstanden nachdem der Löß abgelagert war unter periglazialen Bedingungen (HARRASSOWITZ 1918).

Dabei bewirkte das oberflächliche Auftauen des Bodens zusammen mit der Schwerkraft ein Wandern der stark durchnäßten Oberschicht von den Talflanken zum Talboden. Deshalb findet man sehr oft Basaltblöcke auf der Oberfläche des Lösses und auf den Talböden.

So entstanden nach SCHOTTLER (1937) ortsfremde Felsenmeere.

2.3.13. A l l u v i o n e n

Unter der Bezeichnung Alluvionen sind die Sedimente ausgeschieden, die von den Flüssen in ihren Überschwemmungsgebieten abgelagert werden (Wiesenlehm). Auch die z. T. gröber klastischen Ablagerungen der mehr oder weniger geneigten Seitenrinnen dieser Flüsse gehören hier hin.

3. Spezielle Untersuchungen im Arbeitsgebiet

3.1. Geomagnetische Aufnahmen

Seit dem Jahre 1965 werden von der Geologischen Forschungsstelle des ZOV systematisch geomagnetische Aufnahmen mit dem Torsionsmagnetometer (GFz) der Firma ASKANIA durchgeführt.

Mit diesem Gerät kann die Vertikalkomponente Z des erdmagnetischen Feldes sehr schnell im Gelände bestimmt werden. Die Untersuchungen wurden mit den Magnetometern Nr. 600452, Nr. 600267, Nr. 600268, vorgenommen. Um die Meßwerte auf das magnetische Normalfeld beziehen zu können, wurden Anschlußmessungen bei den folgenden magnetischen Stationen erster Ordnung durchgeführt:

1. Aulendiebach b. Büdingen, 194,6 m über NN, R 35 05 22, H 55 74 80
2. Wehrheim b. Usingen, 356,5 m über NN, R 34 69 86, H 55 75 54
3. Lingelbach b. Alsfeld, 417,3 m über NN, R 35 29 30, H 56 25 82

Hierzu wurde für das jeweilige Blatt 1 : 10 000 (etwa Blattmitte) das magnetische Niveau bestimmt, auf das die gesamten Meßwerte bezogen wurden.

Die Vermessung wurde über ein eingemastigtes Stationsnetz vorgenommen. Der Abstand der Meßpunkte betrug im allgemeinen 100 — 300 m, die Tagesvariation im Mittel 10 — 15 γ . Sie konnte so wegen der vorkommenden hohen Störwerte vernachlässigt werden.

Die Magnetisierung der Gesteine ist durch ihre ferrimagnetischen Eigenschaften gegeben. Beim Basalt wird diese Erscheinung durch einige wenige Mineralien verursacht, die hauptsächlich dem ternären Mischungssystem $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ angehören. Sie sind zwischen die dia- und paramagnetischen Gemengteile des Gesteins eingelagert.

Ein ferrimagnetisches Mineral verliert oberhalb der Curie-Temperatur (100 — 800° C) seine ferrimagnetischen Eigenschaften. Da Basalte bei der Förderung eine Temperatur haben, die über der Curie-Temperatur ferrimagnetischer Mineralien liegt, nehmen sie beim Abkühlen im Magnetfeld der Erde eine stabile remanente Magnetisierung an, deren Richtung durch das gerade herrschende magnetische Feld geprägt wird. Diese sog. thermoremanente Magnetisierung hat eine Stärke von 10^{-2} — 10^{-5} Gauß.

In vielen Fällen ist die Richtung der thermoremanenten Magnetisierung gleich der Richtung des heutigen Erdfeldes (= positiv magnetisiert oder normal magnetisiert).

Es gibt jedoch auch Gesteine, deren thermoremanente Magnetisierung eine völlig andere Richtung aufweist. Oft beobachtet man eine zum heutigen erdmagnetischen Feld antiparallele Richtung, die zumeist negative, inverse oder irreguläre Magnetisierung bezeichnet wird.

Die Untersuchungen, die in den vergangenen Jahren durchgeführt wurden, hatten folgende Zielsetzungen:

- a) die generelle Fließrichtung der Lavaströme, die Grundwasserstockwerke darstellen können, zu ermitteln,
- b) die ausgeprägten Störungszonen, die in Richtung auf den Vogelsberg verlaufen und ihn in große Blöcke zerlegen, auch innerhalb des Basaltkörpers zu verfolgen.

Die länglichen Gebilde, die im Arbeitsgebiet als Lavaströme und -decken zu deuten sind, zeigen aber nur eine geringe Erstreckung, die von einem lokalen Eruptionszentrum ausgeht. Diese Eruptionsstellen schließen sich zu größeren Einheiten zusammen (z. B. im Gebiet Häuserkopf und Lange Berg), die als ehemalige Vulkanbauten aufgefaßt werden können, in denen die Basaltschmelze zur Erdoberfläche durchbrach und in massigen Körpern mit großer Tiefenerstreckung erstarrte. Von diesen Zentren aus erfolgten in die den Förderschlot umgebenden Schichten häufig Intrusionen und Subfusionen, an deren Enden die lokalen Eruptionszentren sitzen, von denen wiederum Lavaströme ausgehen.

Grundsätzlich ist bei der Deutung der Anomalien im Vogelsberg zu beachten, daß man es mit dem Sockel eines ehemals erheblich größeren Vulkangebildes zu tun hat, so daß viele Anomalien besonders im Hungener Raum den oben beschriebenen Subfusionen und Intrusionen zuzuordnen sind.

Die langgestreckten Anomalienmaxima von Villingen über Ruppertsburg, Friedrichshütte zum Küchenberg, von westlich Gonterskirchen einerseits über den Wallenberg zum Heinzeberg, andererseits durch das Horlofftal zum Kirchberg, sowie die Anomalien am Höllerskopf und bei Betzenrod entsprechen aller Wahrscheinlichkeit nach Basaltgängen, die auf Störungen entstanden sind. Dazu gehören auch länglich schmale Anomalien, die aus einer Richtung unvermittelt in eine andere übergehen. Es ist auffallend,

daß die zentralen Teile solcher Anomalien sehr oft mehrere Richtungen zum Ausdruck bringen. Dies ist beispielsweise am Thomasbügel der Fall, wo die SW—NE-Richtung auf die N—S-Richtung abknickt und dann plötzlich auf NW—SE umschwenkt (Taf. 1). Hier werden anscheinend Schollenränder und -kanten des Basements nachgezeichnet.

Durch diese Kombination verschiedener Richtungen in einer Anomalie wird deutlich, daß die aufsteigende und durchbrechende Basaltschmelze alten vorgezeichneten Störungen gefolgt ist und tektonische Kreuzungen bevorzugte, selbst aber keine neuen Bruchrichtungen geschaffen hat. Zwangsläufig ergibt sich daraus auch die Zuordnung dieser Tektonik zur derjenigen des Rheingrabens und des variskischen Gebirges sowie des tieferen Untergrundes.

3.2. Tektonische Verhältnisse

Nach dem jetzigen Stand der geomagnetischen Vermessung ergeben sich für den Vogelsberg und die Wetterau folgende großtektonische Störungszonen:

- a) Ein N — S-Lineament von Florstadt bis Amöneburg, das die östliche Randstörung des Horloffgrabens darstellt.
- b) Die östliche Randstörung des Oberrheingrabens, die als Otzbergspalte durch den Odenwald zieht, den zentralen Vogelsberg und den Lauterbacher Graben quert und in der Buntsandsteinfläche deutlich als schmaler Grabenzug nach N zu verfolgen ist.
- c) Im Zuge des Niddatales kann man die Fortsetzung der südlichen Taunusrandstörung in NE — SW-Richtung verfolgen.
- d) Die Gießen-Büdingen Spalte, die von der Lahn bis zur Kinzig reicht.

Im Untersuchungsgebiet stellt der Horloffgraben das vorherrschende tektonische Element dar.

Seine nördliche Begrenzung ist gleichzeitig ausschlaggebend für das Wasservorkommen in Inheiden, da an dieser E — W-Störung wasserleitende Basalte gegen schlecht wasserdurchlässige oder praktisch sogar wasserundurchlässige tertiäre Sedimente stoßen.

Die Weststrandverwerfung des Horloffgrabens setzt sich nach NNW fort über Bellersheim, Bettenhausen bis zum Hardtberg bei Lich. Sie ist durch kleinere positiv und negativ magnetisierte Vulkandurchbrüche gekennzeichnet.

In ihrer weiteren Fortsetzung nach N sitzt die von SCHOTTLER (1913) beschriebene Höhlerberg-Scholle mit oligozänem Fundament.

Auch in Birklar und am Hardtberg wurde dieses Tertiär in 90 — 140 m über NN erbohrt.

Im Norden durchzieht eine große Störungszone das Arbeitsgebiet, die im Süden durch eine Linie von Lich über Nonnenroth und den Eichköppel nach Laubach begrenzt wird, im Norden durch das Wettertal über Ober-Bessingen und „Das Roth“ verläuft.

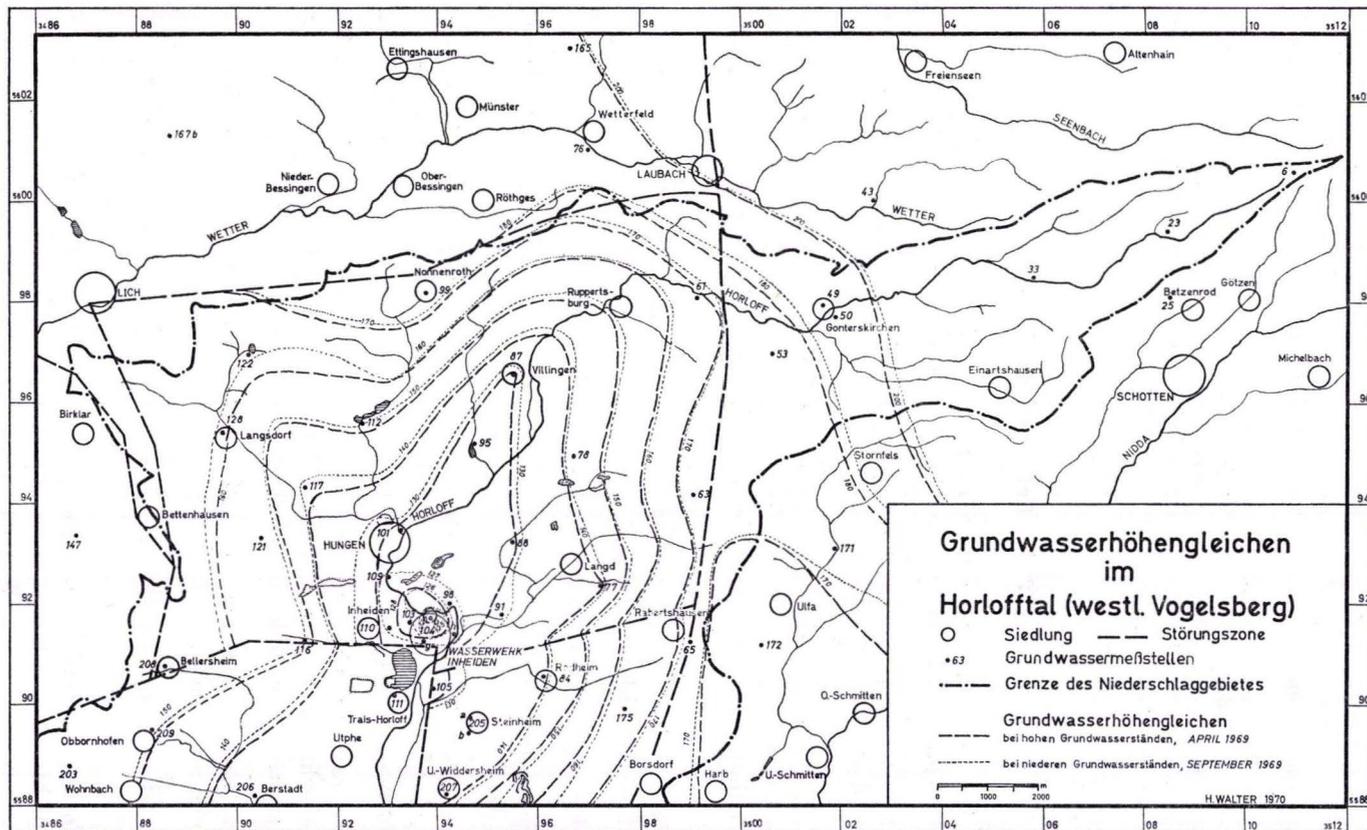


Abb. 2. Grundwasserhöhengleichen im Horlofftal (westl. Vogelsberg).

Bohrungen, die im Wettertal abgeteuft wurden und teilweise mindestens 70 m lateritisierte Tuffe durchörterten, in die nur geringmächtige Basallagen eingeschaltet waren, lassen die Vermutung aufkommen, daß das Wettertal in diesem Bereich des Arbeitsgebietes einen tektonischen Graben bildet, der für die Grundwasserbewegung ein Hindernis darstellt. Aus diesem Grunde wurde für die Wasserhaushaltsbilanz diese Linie als Nordgrenze des Einzugsgebietes des WWI angenommen.²

Weiterhin wird das Untersuchungsgebiet zwischen Friedrichshütte und Gonterskirchen in N — S-Richtung von der Ohm-Seental-Linie durchquert. Sie ist gekennzeichnet durch kräftige Maxima und Minima der magnetischen Anomalien. Außerdem tritt an markanten Stellen, die von der Störungszone durchquert werden, ein Gesteinswechsel auf, d. h. daß hier zu verschiedenen Zeiten basischer Basalt, Trapp oder auch nur Tuff gefördert wurde (westlich Stornfels, Steinsbügel, Silbachtal, Küchenberg, nördlich Gonterskirchen, Gebiet um Laubach).

Auch diese Störungszone ist anscheinend für Grundwasser aus dem höheren Teil des Einzugsgebietes Horloff schlecht wasserdurchlässig, so daß es in ihrem Bereich zu einem Aufsteigen des Grundwassers kommt.

Dies drückt sich neben der Versumpfung der Horlofftalaue zwischen Gonterskirchen und Friedrichshütte (heute Fischteichanlage) besonders in einem Ansteigen des Abflusses aus. So wurde bei Trockenwetter-Abflußmessungen im Jahr 1967 zwischen der Meßstelle Friedrichshütte (Station P 21 auf Taf. 1) und der nächsten flußaufwärts gelegenen Pegelstelle, bei einer Gebietsvergrößerung von nur 5 km², ein Anstieg des Trockenwetterabflusses von i. M. 30 l/s gemessen.

Die SE-Grenze des vom WWI beeinflussten Gebietes bildet die Störung, die die Harbscholle im Norden begrenzt und von Trais-Horloff über Rodheim nach Rabertshausen zieht und dort auf die oben besprochene Verwerfungszone trifft.

Sie ist ebenfalls durch hohe magnetische Anomalien gekennzeichnet, die die Durchbruchstellen der Lava aufzeigen.

Die anderen Störungen in diesem abgegrenzten Gebiet wirken nicht stauend, sondern sie leiten Wasser zum WWI. Besonders die Störung, die nördlich Friedrichshütte beginnt und über Ruppertsburg nach Villingen führt sowie die Störungszonen, die von Lich und Häuserkopf in Richtung Hungen verlaufen, sind besonders wasserleitend, so daß in ihrer Richtung die Grundwassergleichen nach NE und NW ausbuchten (Abb. 2).

Der Teil des Arbeitsgebietes, der sich im Oberlauf der Horloff östlich der N — S verlaufenden Störungszone erstreckt, die zwischen Friedrichshütte und Gonterskirchen durchzieht, ist durch eine große Anzahl von Durchbrüchen gang- und schlotförmiger Art ausgezeichnet. Auf der hydrogeologischen Karte sind nur einige Störungszonen eingezeichnet. Sicherlich gibt es etliche mehr. Bei den ausgeschiedenen gibt es aber außer

²) Bohrungen, die in den Jahren 1971 und 1972 bei Münster und Wetterfeld durch die OVAG sowie das Land Hessen niedergebracht wurden, machen es wahrscheinlich, daß das unterirdische Einzugsgebiet des WWI sich auch noch unter dem Wettertal nach Norden erstreckt.

der Aufreihung von hohen positiven und negativen Anomalien auch den schon beschriebenen Gesteinswechsel, der auf immer wieder wirksam gewordene Durchbrüche hinweist. Besonders ausgeprägte Stellen dieser Art sind der Höhenrücken zwischen Schifferbach und Gonterskirchen sowie am Jägerhaus, südlich des Jägerhauses und an der Kiliansherberge.

Am Schifferbach steht von unten nach oben eine Folge von Basalt, lateritischem Tuff, Trapp, Basalt, lateritischem Tuff und augitführendem Basalt an.

Südlich des Jägerhauses und bei der Kiliansherberge ist die Folge lateritischer Tuff, Basalt, Trapp, lateritischer Tuff und auch augitführender Basalt aufgeschlossen, der, wie schon im geologischen Teil beschrieben wurde, eine Decke bildet.

Die meisten Störungen in diesem Gebiet östlich von Gonterskirchen sind, wie man auf der hydrogeologischen Karte sieht, an lange, schmale Anomalien gebunden, die mit ziemlicher Sicherheit Basaltgänge darstellen.

3.3. Klima- und Vegetationsverhältnisse

3.3.1. Einleitende Bemerkungen

Die klimatologischen Verhältnisse eines Niederschlagsgebietes sind ausschlaggebend für die Vegetationsverbreitung, die Bodenentwicklung und damit verbunden für die Größe des ober- und unterirdischen Abflusses, die Verdunstung sowie das Wasserdargebot. Im Horlofftal werden ungefähr 50 % der Fläche von Wald, 30 % von Äckern und 20 % von Wiesen eingenommen. Der Wald dehnt sich hauptsächlich im höheren Teil des Untersuchungsgebietes aus. In der Wetterau bedeckt er nur die Basalthöhen, die inselartig aus der Ebene aufragen.

Nach dem Klima-Atlas von Hessen gehört der Vogelsberg und somit das Untersuchungsgebiet zu dem südwestdeutschen Klimabezirk. In ihm herrschen milde Winter und warme Sommer vor. Klimabestimmend sind die aus Westrichtungen einströmenden atlantischen Luftmassen. Starke Stau-Erscheinungen treten bei Luftströmungen aus SW auf. Da diese Luftmassen auf ihrem Weg über die niedrigen Höhen zwischen Hunsrück und Vogesen nur wenig Feuchtigkeit abgegeben haben, kommt es bei ihrem Aufstieg zu einem relativ hohen Niederschlag (SCHIRMER 1959).

3.3.2. Niederschlag

Im Vogelsberg dominieren im Winterhalbjahr die aus SW einströmenden Luftmassen. Das Niederschlagsmaximum liegt im Monat Dezember. Der Oktober weist im Jahresgang in den höheren Lagen des Vogelsberges einen ausgeprägten sekundären Höchstwert auf. In den Wintermonaten bestehen im Durchschnitt stärkere Gegensätze zwischen den Niederschlagssummen der höheren und niederen Lagen (Tab. 1).

Im Frühjahr stellen sich nach SCHIRMER (1959) die Luftströmungen über westliche Richtungen auf NW um. Damit verbunden ist der Übergang zu schauerartigen Niederschlägen, die im Sommer häufig mit Gewittern auftreten. Die Zunahme der Nieder-

schlagsmengen durch die Schauer wirkt sich besonders in den niederen Lagen aus. Hier wird im Juli oder August das Niederschlagsmaximum erreicht, während der höhere Vogelsberg in diesen Monaten einen sekundären Höchstwert hat (Tab. 1).

Im Herbst drehen die Winde wieder von NW über W auf SW zurück. Die Bereitschaft zu Gewittern und Schauern nimmt schnell ab. Dagegen treten Nieselregen in dieser Jahreszeit häufiger auf. Das Maximum der Hochdruckwetterlagen im Herbst bedingt aber auch die niederschlagsarmen Schönwetterlagen, von denen der „Altweibersommer“ die bekannteste ist.

Tab. 1. Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlags (mm). Zeitraum: 1891 bis 1955, nach SCHIRMER (1959)

Ort	See-	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
	höhe (m)													
Herchenhain	639	105	89	71	77	77	90	104	104	91	103	101	108	1 120
Ulrichstein	555	94	77	69	78	81	89	101	97	79	91	90	97	1 043
Herbstein	416	87	68	63	65	68	73	84	85	72	86	87	94	932
Schotten	293	72	59	50	57	64	83	92	84	70	76	74	74	855
Freienseen	275	64	52	45	50	60	77	81	75	62	64	63	65	758
Stornfels	265	57	49	43	49	60	75	82	76	62	65	60	58	736
Lich	172	47	39	36	41	52	65	74	64	52	52	47	50	619
Villingen	150	48	40	34	42	52	66	73	65	52	53	47	50	622

3.3.3. Lufttemperatur

Die mittlere Temperaturverteilung in den einzelnen Monaten und im Jahr wird in erster Linie von der Abnahme der Temperatur mit zunehmender Höhe bestimmt. Diese Temperaturabnahme weist einen Jahresgang auf. Sie ist durchschnittlich im Herbst und Winter mit $0,5^{\circ}\text{C}$ pro 100 m kleiner als im Frühjahr und Sommer mit $1,0^{\circ}\text{C}$ pro 100 m.

Die geringere mittlere Temperaturabnahme im Herbst und Winter ist nach SCHIRMER (1959) im wesentlichen durch die verhältnismäßig große Anzahl von Tagen mit Temperaturumkehr über dem Rhein-Main-Gebiet bedingt.

An diesen Tagen liegt über den Ebenen ein Kaltluftsee, dessen vertikale Ausdehnung durch die Obergrenze einer Dunstsicht oder Nebeldecke sichtbar wird. Die Höhen und Hochflächen des Vogelsberges bleiben dabei oberhalb der nebelreichen Kaltluft im Bereich wärmerer Luftschichten.

3.3.4. Wind

Auf den Höhen des Vogelsberges herrschen wie überall in Süddeutschland die Winde aus westlichen Richtungen vor.

Die Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen verschiebt sich im Laufe des Jahres, entsprechend den vorherrschenden Wetterlagen.

In den Tälern wird die Windverteilung aber in hohem Maße von der jeweiligen Richtung des Talabschnittes beeinflußt. Die Luftströmungen können in die Talrichtung umgelenkt oder so stark abgebremst werden, daß sie kaum mehr wahrnehmbar sind. Ein Beispiel dieser Art bietet Schotten durch das Vorherrschen von SW- und NE-Winden, die der Talrichtung entsprechen. Dasselbe Verhalten konnte auch an der Station Kiliansherberge für die Jahre 1968 und 1969 beobachtet werden.

Neben der Windrichtung ist auch die Windgeschwindigkeit stark reliefabhängig. Es können deshalb in stark gegliederten Landschaften, Zonen mit großer und solche mit kleiner Windgeschwindigkeit dicht nebeneinanderliegen.

Nach SCHIRMER (1959) treten in der Wetterau die geringsten Windgeschwindigkeiten mit einem Jahresmittel von 2 — 3 m/s auf.

Der Gang der mittleren Windgeschwindigkeit in m/s pro Monat ist auf Abb. 3 für die Station Hungen GF dargestellt.

Für die höchsten Lagen des Vogelsberges werden von SCHIRMER (1959) 5 — 6 m/s und für die Randgebiete 3 — 4 m/s angegeben.

Für die Station Kiliansherberge ergab sich für das Jahr 1968 eine mittlere Windgeschwindigkeit von ca. 1,9 m/s (Abb. 3).

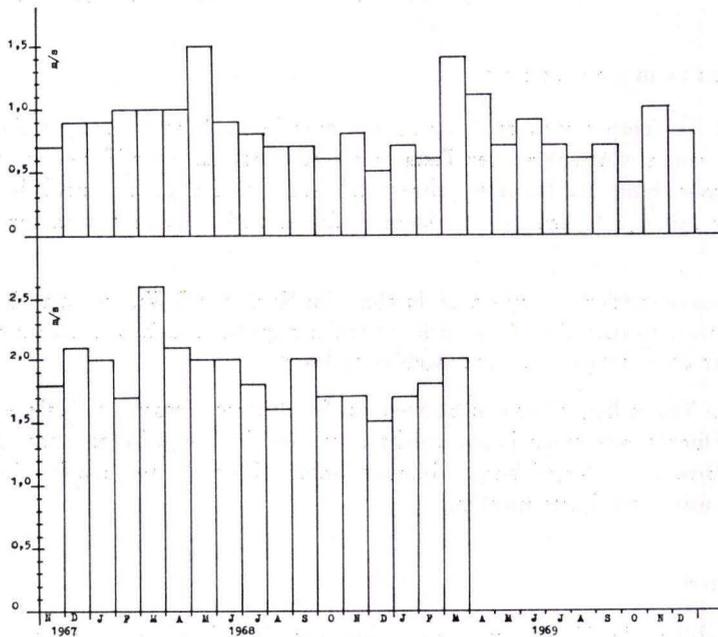


Abb. 3. Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s pro Monat an den Stationen Hungen Geologische Forschungsstelle, 138 m über NN (oben), und Kiliansherberge, 395 m über NN (unten), in der Zeit von November 1967 bis Dezember 1969.

3.3.5. Nebel

In den Tälern des Vogelsberges und über der Wetterau treten Nebel vorwiegend bei Hochdruckwetterlagen auf. Durch die verstärkte Ausstrahlung bei unbedecktem Himmel werden die unteren Luftschichten abgekühlt. Infolge ihrer Schwere folgen sie bei geneigtem Gelände dem Gefälle und sammeln sich in den Tälern an. Durch die Abkühlung der Luft steigt aber auch die relative Luftfeuchtigkeit. Sobald dann der Sättigungsgrad erreicht ist, kommt es zur Nebelbildung.

Über der Wetterau, die von Bergen umschlossen ist, kann es nach SCHIRMER (1959) im Winter zur Bildung einer mächtigen Nebelschicht kommen, die von der winterlichen Sonneneinstrahlung nicht aufgelöst werden kann. Erst ein Witterungsumschlag zu windreichem, mildem Westwetter kann den Nebel beseitigen. In den Tälern des Vogelsberges und in der Wetterau ist nach SCHIRMER (1959) mit 40 — 60 Nebeltagen im Jahr zu rechnen.

Der Nebel auf den Höhen des Vogelsberges ist an keine bestimmte Tageszeit gebunden. Er tritt besonders bei Westwetterlagen mit tiefreichenden Wolkendecken auf.

Nach SCHIRMER (1959) stecken die Bergspitzen, je nach Höhe, an 120 — 200 Tagen im Jahr in Nebel. Im Arbeitsgebiet liegt die Untergrenze dieser Bergnebel zwischen 350 und 400 m über NN.

3.4. Bodenkundliche Aufnahmen

3.4.1. Einleitende Bemerkungen

In den Jahren 1962 und 1963 wurde von Studenten im Auftrag des ZOV unter der Betreuung des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung eine bodenkundliche Kartierung im Maßstab 1 : 10 000 in den Niederschlagsgebieten von Wetter, Horloff, Nidda und Nidder durchgeführt. Die Kartierung erfolgte mit einem 1-m-Bohrstock.

An dieser Kartierung war ich im Jahre 1963 beteiligt und führte die Untersuchungen im Bereich der Kiliansherberge und nördlich Gonterskirchen zwischen Laubach und Heinze-Berg durch. Hauptzweck dieser Aufnahme war es, im Einzugsgebiet der Wassergewinnungsanlagen des ZOV (Wasserwerk Inheiden und Wasserwerk Kohden) die Bereiche zu ermitteln, in denen die Grundwasserneubildung in besonders hohem Maß erfolgt.

Die Bodenbildung hängt zu einem großen Teil von dem Ausgangsgestein ab. In unserem Falle sind es Basalte verschiedener chemischer Zusammensetzung sowie Löß und Lößlehm.

Aber auch das Klima stellt einen ausschlaggebenden Faktor dar. Wie stark es die Bodenentwicklung beeinflusst, geht daraus hervor, daß sich unter den Klimabedingungen des Tertiärs aus den Basalten und Tuffen Rotlehme bildeten, während unser heutiges Klima die Bildung von Braunerden und Pseudogleyen begünstigt.

Zur Bezeichnung der einzelnen Bodenhorizonte wurden nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1970) und US DEP. AGRIC. (1951) folgende Abkürzungen verwandt:

- O = organischer Horizont auf dem Mineralboden aufliegend;
- A = ein im oberen Teil des Solums gebildeter humoser oder eluierter Horizont;
- Ap = durch Pflugarbeit beeinflusster Teil des A-Horizontes;
- Ah = (h von Humus) durch organische Substanz dunkel gefärbter Mineralbodenhorizont;
- Ae = (e von Elution) gebleichter, meist hellgrauer Eluvialhorizont;
- Al = (l von lessivé = ausgewaschen) aufgehellter, fahler, an Ton verarmter Horizont der Parabraunerden (Ausschlammungshorizont);
- B = verbraunter, zum Teil illuierter Horizont unter dem A-Horizont;
- Bv = (v von verwittert) durch Mineralverwitterung verbraunter Horizont, zum Teil mit Tonneubildung, aber ohne Fließstrukturen und Illution;
- Bt = (t von Ton) B-Horizont mit Fließstrukturen und Tonillution, Aggregate mit Überzügen (typisch für Parabraunerde);
- C = Ausgangsgestein aus dem der Boden entstand (Untergrund);
- D = Gestein des Untergrundes, dicht unterhalb des Solums, das anders beschaffen ist als das Gestein, aus dem das Solum hervorgegangen ist;
- G = (G von Gley) durch Grundwasser beeinflusster Horizont;
- Go = (o von Oxydation) Oxydationshorizont im Schwankungsbereich der Grundwasseroberfläche;
- Gr = (r von Reduktion) Reduktionshorizont im Bereich des ständigen Grundwassers (oft blaugrau gebleicht);
- g, S = (g von gleyartig, S von Stauwasser) durch Stauwasser beeinflusster Horizont (Konkretionen, Rostflecken);
- M = (M von migrare = wandern) am Hangfuß als Kolluvium oder in Auen als Hochflutablagerung sedimentiertes Material erodierter Böden;
- f = (f von fossil) Symbol zur Bezeichnung fossiler Horizonte.

Bei Übergangshorizonten werden die jeweiligen Horizontbezeichnungen nebeneinandergestellt, z. B. AC- oder AlBt-Horizont. Bei Horizonten mit zwei Hauptmerkmalen wird das stärker hervortretende Merkmal an letzter Stelle genannt, z. B. Ahg (pseudovergleyter Ah-Horizont). Bei schwach ausgeprägten Horizonten werden die Buchstaben in Klammer gesetzt.

3.4.2. Pararendzina

Die Pararendzina entsteht vor allem aus kalkhaltigem Quarz- und Silikatmaterial, wie z. B. dem Rohlöß.

Profilaufbau: Auf den humosen, kalkhaltigen, 15 — 30 cm mächtigen Ah-Horizont folgt mit kontinuierlichem Übergang der C-Horizont. Die Pararendzina stellt im humiden Klimabereich nur ein Durchgangsstadium dar. Als beständigen Bodentyp findet man sie nur, wo durch ständige Erosion laufend frisches, karbonathaltiges Ausgangsmaterial zur Verfügung steht.

Die Pararendzinen im Horlofftal und in der Wetterau sind aus Rohlöß entstanden, nachdem durch Erosion die darüberliegende Lößlehmdecke abgetragen war.

Sie kommen nur in trockenen Gebieten vor, z. B. westlich Hungen bei Bellersheim und Bettenhausen sowie nördlich Friedrichshütte und nördlich Rabertshausen (s. Taf. 2). Wegen ihres lockeren Krümelgefüges besitzen sie eine gute Wasserdurchlässigkeit.

3.4.3. Ranker

Der Ranker entsteht aus silikat- und quarzreichen Gesteinen, die kein oder nur wenig Karbonat enthalten. Nach KUBIENA (1948) beginnt die Bodenbildung auf Basalt mit dem Initialstadium des oligotrophen und eutrophen Rankers. KUBIENA fand gut entwickelte Rankerbildungen auf Basalt unter dicken Moosteppichen auf dem Taufstein, die nicht nur sauer und basenarm waren, sondern auch in der Humusbildung alle Merkmale eines oligotrophen Rankers hatten. Eutrophe Ranker mit guter Humusbildung fand er dagegen unter einer dünnen Rasendecke auf der Gipfelheide des Hoherodskopfes.

Der Ranker ist durch ein A-C-Profil ausgezeichnet. Der deutlich ausgebildete humose Oberboden (Ah-Horizont) liegt unmittelbar auf dem Ausgangsgestein (C-Horizont) und enthält bei festen Gesteinen, wie dem Basalt, grobe Gesteinsfragmente. Der obere Teil des C-Horizontes ist häufig als mechanisch aufgelockerter Cv-Horizont ausgebildet.

Der Ranker nimmt im Arbeitsgebiet nur östlich Langd, westlich und östlich Rodheim sowie zwischen Bellersheim und dem Lindenberg bei Birklar größere Flächen ein. Sonst sind es nur kleinere Vorkommen zwischen Trais-Horloff und Nonnenroth (Taf. 2).

Größere Rankerflächen sind von SCHÖNHALS (1969) im Wettertal zwischen Lich und Wetterfeld ausgeschieden worden.

Das Ausgangsgestein des Rankers bilden Basalt und Basaltpuff, die im Arbeitsgebiet meistens von Löß- bzw. Gehängelehm überlagert sind. Die Gründigkeit beträgt besonders in dem Gebiet westlich von Hungen oft mehr als 1 m. Seine Wasserdurchlässigkeit wird von SCHÖNHALS mit gut bis sehr gut angegeben.

Als Durchlässigkeitsbeiwert ergab sich aus dem Zeitsetzungsverhalten für eine Probe aus dem Raum Nonnenroth (R 34 92 40, H 55 98 24) $k = 8,9 \times 10^{-8}$ cm/s.

3.4.4. Lockerbraunerde

Die Lockerbraunerde ist eine Weiterentwicklung der Braunerde, die durch ein Ah-Bv-C-Profil ausgezeichnet ist. Bei der Lockerbraunerde ist es durch eine weitergehende Silikatverwitterung zur Neubildung von Ton und Eisenoxyden gekommen. Das Profil der Lockerbraunerde hat einen einheitlichen Aufbau von ganz locker gelagertem, gut permeablem Material mit Krümelgefüge ohne jegliche Verdichtung.

Dieser Bodentyp aus wahrscheinlich äolisch angehäuften Braunerde-Material kommt im Arbeitsgebiet nur im äußersten NE, oberhalb der 500-m-Isohypse, in einer 3 — 6 dm und 6 — 10 dm Gründigkeit vor (Taf. 2).

3.4.5. Parabraunerde

Die Parabraunerde ist der am weitesten verbreitete Bodentyp im Arbeitsgebiet.

Sie tritt in gemäßigt-humiden Zonen auf und bildet sich bevorzugt auf lockeren, quarz- und silikatreichen Gesteinen mit mittlerem CaCO_3 -Gehalt; in geringerem Aus-

maß aber auch auf karbonatfreien lehmigen Sanden. Oft stellt sie eine Weiterentwicklung der Pararendzina dar, wobei die Braunerde als Zwischenstadium auftritt.

Die Parabraunerden sind im Unterschied zu den Braunerden durch eine mechanische Verlagerung von Tonteilchen aus dem Oberboden in den Unterboden gekennzeichnet.

Durch die Tonverlagerung enthält die Parabraunerde folgende Horizontfolge: Ah-Al-Bt-C. Der Al-Horizont besitzt wegen seines geringen Tongehaltes und der lockeren Lagerung eine gute Durchlässigkeit.

Der durch Toneinschlümmung stark verdichtete Bt-Horizont ist in feuchtem Zustand zäh-plastisch. In trockenem Zustand neigt er zu Polyeder- und Prismenbildung. Die Toneinschlümmung führt zu einer Verfüllung der Wasserleitbahnen, wodurch die Wasserdurchlässigkeit des Bt-Horizontes stark herabgesetzt wird.

Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde aus dem Zeitsetzungsdiagramm für eine Probe aus diesem Bt-Horizont (Ziegelgrube Hungen, R 34 91 530, H 55 93 550) mit $k = 8,68 \times 10^{-9}$ cm/s bestimmt.

Die stark entwickelten Parabraunerden zeigen deshalb über dem Bt-Horizont oft Wasserstauungen. Dies ist der Fall, wenn z. B. unreiner Lößlehm das Ausgangsmaterial bildet (Lößlehm der durch kryoturbate Vorgänge mit fossilem tonigem Verwitterungsmaterial vermischt wurde und dadurch einen dichteren, tonigeren Charakter erhalten hat).

Im Horloffital entspricht nach WIRTZ (1972) die Korngrößenzusammensetzung des Al-Horizontes der Parabraunerden durchaus derjenigen eines feinsandigen Lehms, während das Material des Bt-Horizontes gewöhnlich ein toniger Lehm ist.

Im unteren Teil des Bt-Horizontes geht die Toneinschlümmung zurück. Der Horizont geht dann allmählich über einen Silikatverwitterungshorizont mit Braunerdecharakter (Bv-Horizont) in den C-Horizont über. Dieser besteht aus unverändertem, kalkhaltigem Rohlöß oder entkalktem, älterem Lößlehm. Der C-Horizont kann auch fehlen, dann liegt der Bt- bzw. Bv-Horizont unmittelbar auf Fremdmaterial (D-Horizont), z. B. Basalt.

Zwei von SCHÖNHALS (1954) beschriebene Parabraunerdeprofile aus dem Arbeitsgebiet sollen die oben dargestellten Verhältnisse erläutern.

1. Berstadt in der Wetterau; Lehmgrube am Ortsausgang nach Friedberg (Bl. Hungen); R 34 90 16, H 55 87 68, Höhe über NN: 142,50 m; Geländeform: eben; Nutzung: Acker; Jahresniederschlag etwa 570 mm; mittlere Jahrestemperatur etwa 8,8° C.

Ah	0 — 0,30 m	schwach humoser, kaffeebrauner, feinsandiger Lößlehm, bröckelig z. T. plattig, stark durchwurzelt
Al	— 0,55 m	schwach humoser, brauner, feinsandiger Lehm, locker, aber scharfkantige Strukturelemente; stark durchwurzelt, zahlreiche Regenwurmgänge
(B)	— 0,95 m	dunkelbrauner, kräftiger Lößlehm, säulig abgesondert, stellenweise schwarzbraune Humuseinschlümmung, zahlreiche Regenwurmgänge
(B) C	— 1,25 m	kalkhaltiger, gelber und brauner Löß mit zahlreichen Regenwurmhängen, säulig abgesondert
C	— 1,75 m	gelber, kalkhaltiger Löß, der in den unteren 0,30 m Lößkindl von 2 — 3 cm ϕ aufweist. Diese haben sich unter dem Einfluß der liegenden, fossilen, degradierten Schwarzerde an der Basis des Lösses gebildet.

2. Südrand der Dampfziegelei Hungen; R 34 91 60, H 55 93 50, Höhe über NN: ca. 158 m; Geländeform: schwach nach N geneigt; Nutzung: Acker; mittlerer Jahresniederschlag ca. 600 mm; mittlere Jahrestemperatur etwa 8,5° C.

- Ah 0 — 0,15 m schwach humoser, feinsandiger Lehm, dunkelbraun, locker
- AhBt — 0,35 m sehr schwach humoser, dunkelbrauner Lößlehm, im oberen Teil plattige Struktur, nach unten vieleckige Struktur. Die Bruchkörper haben eine rauhe, poröse Oberfläche und zahlreiche Regenwurmgänge.
- Bt — 1,05 m gleichmäßig dunkelbrauner, kräftiger Lößlehm. Die senkrechten großen Bruchkörper zerfallen beim Zerdrücken in vieleckige poröse Teilchen. Auf den zahlreichen Schwundflächen, die den gesamten Horizont durchziehen, sind schokoladenbraune Färbungen und dünne Überzüge zu beobachten; im gesamten Horizont zahlreiche Regenwurmgänge.
- C ca. — 4,00 m kalkhaltiger Löß mit meist kleineren Kalkkonkretionen (Lößkindl). Die Regenwurmgänge sind noch bis zu einer Tiefe von 1,80 m zu beobachten.

3.4.5.1. Einteilung der Parabraunerden

Die auf der Karte (Taf. 2) angewandte Einteilung der Parabraunerden gibt eine Übersicht über die Mächtigkeit der hydrogeologisch wichtigen Lößlehmdecke.

Die ausgeschiedene Einheit Parabraunerde „0 — 3 dm, erodiert“ erfaßt die durch Erosion reduzierte Parabraunerde dieser Mächtigkeit auf Löß oder auf Basalt. Diese Profile stellen stark erodierte Parabraunerden dar, bei denen unter dem Ap- bzw. Ah-Horizont nur noch ein Rest des Bt- oder Bt-D-Horizontes von der Erosion verschont wurde.

Die Einheit Parabraunerde „3 — 6 dm, erodiert“ umfaßt wieder eine Lößlehmdeckschicht dieser Mächtigkeit, sowohl über Löß als auch Fremdmaterial. In diesem Profil ist meistens der Al-Horizont ganz oder teilweise abgetragen. Gelegentlich ist auch eine obere Schicht des Bt-Horizontes erodiert, so daß der dichte Teil dieses Horizontes nahe oder unmittelbar an der Oberfläche liegt. Dies kann ein oberflächliches Abfließen des Niederschlages verursachen, was besonders bei ackerbaulich genutzten Böden dieses Typs zu Erosionsschäden führen kann. Der Durchlässigkeitsbeiwert, aus dem Zeitsetzungsverhalten ermittelt, beträgt für eine Probe aus Ruppertsburg (R 34 97 74, H 55 92 63) $k = 9,3 \times 10^{-8}$ cm/s.

Die Parabraunerde: „6 — 10 dm, erodiert“ kann sowohl auf Löß als auch auf Basalt liegen und umfaßt

1. normale tiefgründige Profile, die nur wenig erodiert sind, also mit einem Al-Horizont von 35 — 55 cm.
2. Erodierete tiefgründige Profile, bei denen der Al-Horizont teilweise oder völlig abgetragen ist und manchmal auch das Oberteil des Bt-Horizontes.
3. Stark erodierte tiefgründige Parabraunerden, bei denen sowohl der Al- als auch der Bt-Horizont völlig abgetragen ist und ein undifferenziertes Profil aus lockerem, gut permeablem Lößlehm ohne Verdichtungshorizont vorliegt.

Bei der Einheit Parabraunerde „>10 dm z. T. erodiert“ ist nicht bekannt, ob der Untergrund dieses Bodentyps aus Löß oder Fremdmaterial besteht, da mit einem 1-m-Bohrstock kartiert wurde. Dieses Profil ist nur selten erodiert und stellt somit ein voll ausgebildetes Parabraunerdeprofil dar.

Im Arbeitsgebiet kommen besonders im Quellgebiet der Horloff sowie in ihrem Oberlauf in großer Ausdehnung flach- und mittelgründige (0 — 3 bzw. 3 — 6 dm) Parabraunerden vor (Taf. 2).

Die flachgründige Phase ist meistens auf Kuppen und steile Hänge beschränkt, wobei gelegentlich der Basaltuntergrund zu Tage tritt.

Die etwas weniger erodierten mittelgründigen Formen haben sich dagegen auf kleinen Plateaus und schwächer geneigten Hängen gebildet.

Tiefgründige, stark erodierte Parabraunerden findet man im Oberlauf der Horloff und der anderen Flüsse meistens nur als schmale Streifen am Hangfuß oder in Talanfängen. Größere Flächen nehmen sie erst ab Friedrichshütte und besonders westlich Hungen ein. In den Gebieten, wo klüftige Basalte den Untergrund der Parabraunerden bilden (nördlich Langd, östlich von Villingen und Ruppertsburg), ist bei der guten Durchlässigkeit dieses Bodentyps eine ausgezeichnete Grundwasserneubildung gewährleistet.

3.4.6. Pseudogley-Parabraunerde

Die Pseudogley-Parabraunerde stellt eine Übergangsform zwischen Pseudogley und Parabraunerde dar.

Sie ist im Untersuchungsgebiet durch ein Ah-Al-Btg-C-Profil ausgezeichnet. Dabei hat die meist tiefgründige Parabraunerde unter einem normal ausgebildeten Al- einen rostfleckigen Bt-Horizont, der jedoch nicht so stark gebleicht ist wie der Bg-Horizont des Pseudogleys.

Zur Pseudovergleyung kommt es in diesen Böden, weil ihre Horizonte nicht ständig wassergesättigt sind.

Der Staukörper wird im Arbeitsgebiet von vulkanischem Zersatz oder tonigen, fossilen Verwitterungsschichten gebildet. Pseudogley-Parabraunerden sind in den Tälern und Talanfängen neben Pseudogleyen verbreitet. Dieser Übergangstyp hat sich auch überall dort gebildet, wo die Wasserstauer noch nicht ganz dicht sind. Sie haben eine mittlere Wasserdurchlässigkeit. Man findet sie im bearbeiteten Gebiet südlich der Linie Steinbügel — Küchenberg (Taf. 2).

Aus dem Zeitsetzungsdiagramm wurde für eine Probe, die südöstlich der Kiliansherberge entnommen wurde (R 35 02 28, H 55 96 68) ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 3,8 \times 10^{-8}$ cm/s bestimmt.

3.4.7. Pseudogley

Pseudogleye entstehen unter dem Einfluß eines häufig wiederkehrenden Wechsels von Staunässe und Austrocknung, was zu einer charakteristischen, fahlgrauen, rostfarbenen Marmorierung oder zur Entstehung von Eisenoxyd-Konkretionen führt.

Die Pseudogleye haben in der am wenigsten differenzierten Ausbildung die Profilfolge Ah-Alg-Btg-Cg. Dabei folgt unter dem Ah-Horizont ein fahlgrauer, konkretionshaltiger oder schwach rostfleckiger, relativ tonarmer Horizont mit häufig plattigem Gefüge (Alg). Die Konkretionen haben einen Durchmesser von 0,5 — 50 mm und durchsetzen die Bodenmatrix. Der Btg-Horizont ist dann stark marmoriert und weißlich-grau mit einem ausgeprägten Polyeder- bis Prismengefüge.

Bei primären Pseudogleyen, d. h. Bodentypen, die aus tonreichen Gesteinen mit geringer Sickerfähigkeit hervorgegangen sind, ist die Unterscheidung in Stauzone und Staukörper kaum ausgeprägt. Bei ihnen treten Konkretionen zugunsten von Rostflecken zurück, bei denen die gelblich-roten Farben vorherrschen.

Die Pseudogleye sind in den Tälern im östlichen Teil des Arbeitsgebietes allgemein verbreitet. Sie bilden schmale Streifen, die randlich oft in Gleye übergehen. Im allgemeinen besitzen die Pseudogleye eine schlechte Wasserdurchlässigkeit.

Wo stark wasserstauende Schichten im Untergrund vorhanden sind, gibt es gelegentlich Hangpseudogleye, wie z. B. an der Kiliansherberge oder dem Wallenberg nördlich des Jägerhauses. Gelegentlich haben sich auch in flachen Einmuldungen auf Kuppen Pseudogleyeflecken gebildet, wie z. B. auf dem Hardt-Berg bei Lich (Taf. 2).

3.4.8. Kolluvium

Das Kolluvium besteht ebenso wie die anschließend zu besprechenden Auenböden aus lockerem, umgeschwemmten, gut permeablem Al-Material (brauner Lößlehm und feinsandiger Lehm). Oft ist auch Basaltschutt in diesem Material eingeschlossen. Das Kolluvium bildet sich oberhalb des Grundwasserspiegels am Hangfuß und in trockenen Tälern, wo das hangaufwärts abgetragene Al-, Bt- bzw. D-Material abgelagert wird. Wo stauende Schichten im Untergrund vorhanden sind und ein muldenförmiges Relief vorliegt, bildet sich im Kolluvium eine vorübergehende Wassersättigung, was zu einer Pseudogleyefleckung führen kann. Hierbei gibt es alle Übergänge von schwach pseudovergleytem Kolluvium bis zu stark ausgeprägten Pseudogleyen.

Im Niederschlagsgebiet der Horloff kommt Kolluvium relativ selten vor, häufiger findet man es nördlich Gonterskirchen im Wettertal und im Oberlauf des Gierbaches bei Betzenrod. Seine Durchlässigkeit ist nach SCHÖNHALS mittel bis gut.

3.4.9. Gley

Die sehr unterschiedliche Ausprägung des Gleys hängt nach SCHEFFER & SCHACHT-SCHABEL (1970) vom Ausgangsgestein, vom Humus und vom Ausmaß der Grundwasserschwankungen, von der Fließgeschwindigkeit des Wassers und vom Gehalt an Sauerstoff, organischen Verbindungen und Salzen ab.

Das Profil eines typischen Gleys ist durch die Horizonte Ah-Go-Gr gekennzeichnet. Auf den vom Grundwasser unbeeinflussten Ah-Horizont folgt der stets rostfleckige Go-Horizont (Oxydationshorizont), in den das Grundwasser im jahreszeitlichen oder langjährigen Wechsel nur vorübergehend eindringt.

Auf ihn folgt im Niveau des zusammenhängenden Grundwassers der Gr-Horizont (Reduktionshorizont), in dem fahlgraue, graugrüne oder blauschwarze Farben vorherrschen. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt bei diesen Böden höher als 0,8 m unter Flur und der Kapillarsraum reicht bei typischen Gleyen nicht höher als 0,4 m unter Flur.

Derartige hohe Wasserstände sind am meisten in Flußniederungen, Senken, Bachtälern (Bachgley) und in Quellgebieten (Quellgley) gegeben.

Bachgleye sind im Oberlauf der Horloff, des Seenbaches, der Wetter, des Gierbaches und der Nidda sowie ihrer Nebenbäche bis zu der Linie Laubach — Stornfels weit verbreitet. Quellgleye treten auch in weiter Verbreitung im Quellgebiet des Wasserwerkes in Inheiden auf. Man findet diesen Bodentyp auch als kleine Flecken auf Hängen und in Talanfängen (Quellmulden).

Der Gley besitzt eine mittlere Wasserdurchlässigkeit.

3.4.10. Auenböden

Auenböden entstehen aus Sedimenten (Sanden, lehmigen Sanden und Lehmen) der Flußniederungen, in denen das Grundwasser mit dem Wasserstand des Flusses erheblich schwankt. In den Auenböden ist die Grundwasserbewegung stärker als in den Gleyen, reicht aber nicht so dicht unter die Bodenoberfläche.

Die Auenböden haben ein Ah-Bv-Go- bzw. Ah-M-Go-Profil.

Unter dem humosen Ah-Horizont befindet sich ein bis 2 m mächtiger, brauner Bv- oder M-Horizont, unter dem ein mehr oder weniger stark rostfleckiger Go-Horizont folgt.

Der Boden der Horlofftalaue setzt sich im wesentlichen aus dunklen, ± sandigen Lehmen zusammen, die von den abgetragenen Al-Horizonten der Parabraunerde herühren. Die Auenböden treten im Horlofftal erst ab der Einmündung des Silbaches westlich Gonterskirchen in größerer Ausdehnung auf. Größere Verbreitung in einem Oberlauf haben sie nur im Seenbachtal. Besonders große Flächen von Auenböden sind im Wettertal zwischen Ober-Bessingen und Lich ausgebildet. Ihre Wasserdurchlässigkeit ist mit mittel bis gut zu bezeichnen.

Eine Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes aus dem Zeitsetzungsverhalten für eine Probe aus der Horloff-Talaue bei Hungen (R 34 93 520, H 55 93 670) erbrachte den Wert von $k = 2,9 \times 10^{-8}$ cm/s.

3.4.11. Latosol

Die roten Latosole (Paläosole) sind im Vogelsberg nach WIRTZ (1972) durch Verwitterung von losen, basischen, vulkanischen Produkten unter einem humiden, subtropischen bis gemäßigten Klima ohne ausgesprochene jahreszeitliche Unterschiede vom Unter-Miozän bis zum Ober-Pliozän entstanden.

Ein charakteristisches Profil hat nach WIRTZ folgendes Aussehen:

Fundstelle: etwa 800 m NW Langd (Bl. Hungen), Höhenlage 180 m über NN

Geländeform: schwach geneigter SW-Hang

Vegetation: Buchenwald, etwas Eichendickicht

Ausgangsmaterial: basisches Schlackenagglomerat

Bodenverhältnisse: feucht, gute Durchlässigkeit, oberflächlich verstreut etwas Eisenerzdetritus, wenig Erosion

Bodentyp: roter fersialitischer Paläosol mit schwacher Parabraunerdeentwicklung

- 0 — 0,05 m feuchter, roter Schlufflehm; Krümelgefüge, mäßig humos, stark durchwurzelt, vereinzelt einige kleine poröse Schlackenfragmente; Übergang mit unregelmäßigem Kontakt zu
- 0,30 m feuchter, roter, schluffiger Tonlehm; Krümelgefüge, schwach humos, mäßig durchwurzelt, vereinzelt kleine poröse Schlackenfragmente und eckige Eisenerzkonkretionen mit Übergang zu
- 0,45 m feuchter, roter Ton; strukturlos, zahlreiche eckige bis plattige Eisenerzkonkretionen; in den Poren sind verschiedentlich Tönhäutchen vorhanden; allmählich Übergang zu
- 0,85 m feuchter, roter Ton; ziemlich dicht, mit der Tiefe zunehmende Menge von hellolivbraunen, eckigen, zu einer weichen Masse zersetzten Schlacken, deren ursprünglich blasige Struktur jedoch noch vorhanden ist; in den Poren treten Tönhäutchen auf; allmählicher Übergang zu
- 1,00 m feuchter, roter Lehm; strukturlos, interstitiell zwischen eckigen Schlacken, die etwas weniger weich sind, als die im hangenden Horizont.

Die fossilen Böden, die nicht von jüngeren Basalten überdeckt wurden und deren meist umgelagertes Material teilweise zu der postbasaltischen Bodendecke des Vulkans gehörte, sind echte Latosole. Sie wurden unter intensiver Entwässerung und Auslaugung gebildet, wobei nach WIRTZ (1972) die Basen, ein großer Teil der Kieselsäure und auch Aluminium ausgewaschen wurden, wodurch ein sesquioxidreiches Residium entstand.

Die Paläosole, die von Basalt überdeckt wurden, sind durch die Verwitterung qualitativ ähnlich verändert worden. Quantitativ ist diese Veränderung jedoch nicht so scharf ausgeprägt, was auf eine relativ schnelle Überdeckung durch Basalt hinweist. In den meisten zwischenbasaltischen Paläosolen hat durch hydrothermale Prozesse, die infolge des Kontaktes mit der Basaltschmelze auftraten, eine Neubildung von Montmorillonit stattgefunden. Die Bestandteile hierzu stammen nach WIRTZ (1972) aus den amorphen Verwitterungskolloiden. Dieser Vorgang war mit einer stofflichen Migration verbunden, wobei sich außerdem die amorphen Eisenoxydhydrate in Hämatit umwandelten. Die rote Farbe ist somit ein sekundäres Merkmal.

Diese Böden, deren Wasserdurchlässigkeit nach SCHÖNHALS (1969) mittel bis schlecht ist, sind im Arbeitsgebiet nördlich der Linie Langsdorf — Hungen flächenhaft verbreitet (Taf. 2).

Als Durchlässigkeitsbeiwert wurde für eine Probe aus der Bauxitgrube bei Lich (R 34 89 360, H 55 98 000) $5,5 \times 10^{-9}$ cm/s und für eine Probe aus dem Gebiet der Grube Abendstern bei Hungen (R 34 95 810, H 55 93 750) $1,75 \times 10^{-8}$ cm/s ermittelt.

3.5. Hydrochemische Verhältnisse des Untersuchungsgebietes

3.5.1. Einleitende Bemerkungen

Das Untersuchungsgebiet wird, wenn man von den tertiären Sedimenten im Liegenden der Vulkanite absieht, aus Basalten verschiedener chemischer Zusammensetzung und schlecht wasserdurchlässigen, z. T. lateritisierten Tuffen, die diesen Basalten zwischengeschaltet sind, aufgebaut. In der Literatur wird deswegen von Grundwasserstockwerken gesprochen, die aber über Störungen und Durchbrüche miteinander in Verbindung stehen (MATTHES & THEWS 1963, MATTHES 1970).

Die Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit auf den Abb. 5 — 7 zeigt deshalb im gesamten bearbeiteten Gebiet Wässer, die sich dem Typ nach sehr ähneln. Sie gehören überwiegend zu den hydrogencarbonatischen bis hydrogencarbonatisch-sulfatischen Wässern, mit teilweise höheren Alkaligehalten.

Aus der Tatsache, daß bei allen Wässern die oxydierten Stufen der Sauerstoffsäuren (Sulfate, Nitrate) auftreten, kann man schließen, daß sie größtenteils normal sauerstoffhaltig und damit nicht reduziert sind.

Mineralwässer oder Wässer mit anomalen Stoffgehalten (ausgenommen die Brunnen Nr. 23 Gonterskirchen Forsthaus und Nr. 26 Gonterskirchen Schule, die durch Oberflächenwasser verunreinigt werden) sind nicht vorhanden.

Generell ist eine Abnahme des Gesamtlösungsinhaltes von W nach E zu verzeichnen, die auf die Karbonathärte zurückgeht. Dadurch nimmt gleichzeitig im E der Sulfatgehalt gegenüber dem Hydrogencarbonatgehalt relativ zu. Die W — E-Richtung ist ebenfalls auch die Richtung, in der die Überlagerung des Basaltes durch Deckschichten (Löß und Lößlehm) abnimmt.

Bei der Mineralisation der Wässer ist daher eine deutliche Beziehung zu den bodenbildenden Deckschichten, d. h. letzten Endes zu den Bodentypen und ihrer biologisch unterschiedlichen Aktivität abzuleiten, denn im E des Arbeitsgebietes haben wir fast ausschließlich ausgedehnte Wälder, im W dagegen starken Ackerbau, der durch Düngung und Fruchtwechsel den Chemismus des Bodens stark verändert.

Der Charakter eines Wassers wird also nicht nur durch seine Verweildauer im Speichergestein bestimmt, sondern wesentlich auch während des Sickervorganges im belebten Boden durch Beladung mit vor allem CO₂ (BECKSMANN 1955).

Der Grundwasserchemismus wird nach NÖRING (1951) aber auch durch folgende Faktoren beeinflusst:

- a) zeitlich wechselnde Beschaffenheit des Niederschlages, abhängig von Temperatur, Nähe zum Meer, Nähe zu Rauchgasquellen;
- b) zeitlich wechselnde Beschaffenheit des aus Oberflächengewässern oder andersartigen Grundwasserleitern (vielfach über Verwerfungen) in einen Grundwasserleiter spezifischer Eigenschaften eintretenden Wassers;
- c) zeitlich wechselnde künstliche Einflüsse (Abwasserversenkung, Siedlungseinflüsse, Einflüsse der Düngung und der übrigen menschlichen Kultur);
- d) zeitlich wechselnde Reaktionszeit;
- e) zeitlich wechselnde Wegänderungen des Grundwassers, z. B. durch Spiegelschwankungen.

Auf alle Faktoren kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden, da für die spezielle Fragestellung fast stets eine größere Eigenuntersuchung notwendig gewesen wäre. Deshalb werden bei der Beschreibung des Chemismus nur die Abhängigkeit der Mineralisation von den Deckschichten, dem Speichergestein und den Ionenaustauschvorgängen betrachtet.

Die Wässer werden im wesentlichen an Hand von Diagrammen besprochen, auf denen sie nach Meßtischblättern geordnet zusammengefaßt sind. Dabei sind in den Diagrammen die mval-Verhältnisse der Lösungsgenossen (= Reaktionsverhältnisse) dargestellt.

Die Abtrennung der Grundwassertypen erfolgt mittels eines 4-Stoff-Diagrammes (Abb. 4), kombiniert mit zwei 3-Stoff-Diagrammen (sog. „3-lineares Diagramm“), dessen Anwendung in der Hydrologie bei LANGGUTH (1965) nach HEM (1959) auf PIPER zurückgeht. Das 3-lineare Diagramm zeigt einerseits in den zwei OSANNschen Dreiecken jeweils getrennt die Reaktionsverhältnisse für die Kationen und die Anionen, andererseits im 4-Stoff-Diagramm die Beziehungen zwischen $\text{Na} + \text{K}$ und $\text{Ca} + \text{Mg}$ sowie HCO_3 und $\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3$. Da diese Diagramme, die kennzeichnenden Ionen enthalten, lassen sich damit auch chemische Grundwassertypen abgrenzen.

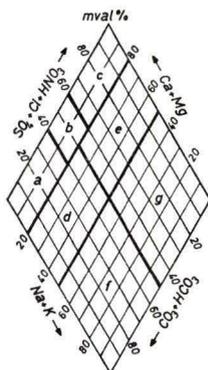


Abb. 4. Grundwasseranalysen des süßen Grundwassers nach LANGGUTH (1965).

Normal erdalkalische Süßwässer

- a) überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b) hydrogenkarbonatisch-sulfatisch
- c) überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Süßwässer mit höherem Alkaliengehalt

- d) überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e) überwiegend sulfatisch

Bereich alkalischer Süßwässer

- f) überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g) überwiegend sulfatisch-chloridisch

Aus der Literatur sind schon verschiedene Typeneinteilungen bekannt (BOGOMOLOV 1958, FAST & SAUER 1958, GERB 1958, NÖRING 1951), die von den wichtigsten kennzeichnenden Ionen, ihrer prozentualen Anwesenheit oder bestimmten Quotienten

ausgehen. Dadurch werden oft Gesichtspunkte stärker betont, die nur auf einzelne Gebiete beschränkt sind, so daß die vorgeschlagenen Beziehungen nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragen werden können.

Durch das 4-Stoff-Diagramm ist nun eine von lokalen Gegebenheiten unabhängige Festlegung der Grundwassertypen möglich. Die in der Arbeit vorgenommene Abgrenzung beruht auf der bei LANGGUTH (1965) beschriebenen Einteilung von GORELL (1958), die sich auf das süße Grundwasser, im weiteren Sinne also auf die Gruppe „fresh water“ bezieht.

3.5.2. Einfluß des Bodens auf den Grundwasserchemismus

Im Boden wird durch die Atmung der Wurzeln und der Bodenmikroben, wenn auch mit gewissen Schwankungen, die durch den jahreszeitlichen Lebensrhythmus bedingt sind, Kohlensäure frei. Man rechnet damit, daß etwa ein Drittel der bodenbürtigen Kohlensäure auf Rechnung der Wurzeln kommt und zwei Drittel von der Mikrolebwelt des Bodens produziert werden.

Aus diesen Beziehungen geht hervor, daß Grade der Karbonathärte eines Wassers kein Maß für den Gehalt eines Gesteins an Erdalkal karbonaten sind, solange es sich um Gleichgewichtswasser ohne aggressive freie Kohlensäure handelt.

Die Menge des in einem Grundwasser gelösten Kalzium- bzw. Magnesiumhydrogenkarbonats ist allein abhängig von der Menge Kohlensäure, die das Wasser aus der Luft und auf seinem Sickerwege innerhalb des Bodens aufgenommen hat (BECKSMANN 1954).

Es ist also sicher, daß ein wesentlicher Teil der Grundwasserkohlensäure aus dem Bodenbereich stammt. Dies ist eine Parallele zu der Erkenntnis von RÖHRER (1933), daß ein großer Teil des Nitrats im Grundwasser nicht auf menschliche Maßnahmen (Düngung) zurückzuführen ist, sondern durch biogene Prozesse entsteht.

Die Umwandlung von organischen N-Verbindungen in „mineralischen“ Stickstoff ist in der Natur auf die Tätigkeit zahlreicher Mikroorganismen zurückzuführen. Die erste Stufe dieser Umwandlung ist die Ammonifizierung, die nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1970) nach folgendem Schema verläuft:



Das so gebildete NH_3 setzt sich dann mit Wasser unter Bildung von NH_4 -Ionen um, die durch andere Mikroorganismen zu NO_2 und NO_3 oxydiert werden können (= Nitrifizierung).

Der zweite NO_3 -Lieferant ist die Düngung.

Als Stickstoffdüngemittel sind zu erwähnen:

Ammoniumsulfat	$(NH_4)_2SO_4$
Natronsalpeter	$NaNO_3$
Kalkammonsalpeter	NH_4NO_3 , der außerdem noch 35 % $CaCO_3$ enthält
und Kalkstickstoff	$CaCN_2$.

Als weitere Düngung, die auch den Chemismus des Grundwassers beeinflußt, ist die Kali- und Phosphatdüngung zu beachten.

Die heute wichtigsten Kalidünger sind das 40er-Kalidüngesalz, das 38 — 42 % K_2O aber auch noch 1 % K_2SO_4 und 26 % NaCl enthält sowie das 50er-Kalidüngesalz, das aus 48 — 52 % K_2O mit 14 % NaCl besteht.

Als Phosphatdünger sind das Superphosphat [Monokalziumphosphat $Ca(H_2PO_4)_2$], das außer 45 % Phosphatverbindungen auch 50 % $CaSO_4$ enthält, sowie das Thomasphosphat [Kalziummetasilikoorthophosphat $Ca_5(PO_4)_2SiO_4$] wichtig.

3.5.3. Einfluß des Speichergesteins auf den Grundwasserchemismus

Im Untersuchungsgebiet stellen in der Hauptsache die Basalte den Grundwasserleiter dar. Kleinere Wassermengen bewegen sich aber auch in den Sedimenten der Talauen. Für die Mineralwässer, die im Liegenden der Basalte erhohrt wurden, bilden tertiäre Sande das Speichergestein; diese werden nach oben durch kaum wasser-durchlässige Schichten abgedeckt.

Um festzustellen, ob durch den dominierenden Basalt eine Veränderung der Zusammensetzung des Wassers bewirkt wird, wurden von WÄGER (1968) an Basalten des südöstlichen Vogelsberges folgende Laboruntersuchungen durchgeführt:

1. pulverisiertes Basaltmaterial wurde mit Wasser, das nur die obersten Bodenschichten durchflossen hat, vermischt und in gewissen Abständen analysiert;
2. eine polierte Basaltfläche wurde mit Wasser, das nur die obersten Bodenschichten durchflossen hat, in Berührung gebracht. Nach kurzer Zeit wurde
 - a) die Konzentrationsveränderung des Wassers bestimmt,
 - b) die Basaltprobe auf Lösungserscheinungen untersucht.

Bei den Versuchen wurden drei Basalttypen benutzt:

Basalttyp A: Grauschwarzer, dichter Basalt, mit einzelnen Olivineinschlüssen. Zersetzungsspuren makroskopisch nur im Bereich der Olivineinschlüsse zu erkennen.

Basalttyp B: Brauner Basalt mit deutlich erkennbaren Verwitterungsspuren.

Basalttyp C: Grauer, großporiger, bröcklicher stark zersetzter Basalt; Porenraum mit tonigem Verwitterungsmaterial angefüllt.

Bei der ersten Untersuchung stellte er fest, daß bei Basalttyp A und B im Mittel eine Erhöhung der Härte um $1,5^\circ dH$ und eine Zunahme von Ca^{++} um 10 mg/l erfolgte. Bei Basalttyp C erfolgte eine Abnahme der Härte, was auf Ionenaustauschvorgänge zurückzuführen ist.

Bei den Versuchen mit einer hochpolierten Kontaktfläche ergaben die Analysen, daß nach 20tägiger Kontaktzeit die Werte für K, Na und Ca ebenfalls gestiegen waren und die Kontaktfläche Lösungserscheinungen zeigte, die im Interferenzbild nachgewiesen werden konnten.

Aus diesen Versuchen kann man somit ableiten, daß der Basalt das in ihm zirkulierende Wasser chemisch verändert.

Wenn Basalt verwittert, erfolgt die Zersetzung seiner Mineralien nach BOLTER (1961) in der Reihenfolge, daß zunächst Olivin, später An-reiche Plagioklase, dann Pyroxene und zuletzt Ab-reiche Plagioklase, Biotit und Erz zersetzt werden. In den Basalten des Arbeitsgebietes ist Olivin ein recht häufiger Gemengteil. In verschiedenen Bereichen (Gonterskirchen) tritt er in faustgroßen Knollen auf. Verwittert dieser frische Olivin, so wird er zu Produkten zersetzt, die reich an Goethit sind.

Olivin löst sich in Wasser wie es der stöchiometrischen Zusammensetzung des Kristalles entspricht. Diese Löslichkeit wird durch die Anwesenheit von CO_2 im Wasser erheblich gesteigert. KELLER et al. (1963a) konnten zeigen, daß der Gehalt an Mg^{++} im Wasser um das zwölfwache gesteigert werden kann, wenn Kohlensäure zugegen ist.

Die von BOLTER (1961) untersuchten, leicht zersetzten Basalte weisen in den MgO -Werten eine deutliche Abhängigkeit vom Grad der Zersetzung auf. Da aber ein Teil des Mg^{++} in neu-gebildete Tonminerale eingebaut wird, bleibt der Mg^{++} -Gehalt in den zersetzten Basalten nach einer anfänglichen Abnahme (d. h. Wegführung durch Wasser) im Bereich von 2 — 4 % konstant.

Die Mg -Ionen im Grundwasser können also nur in geringen Mengen aus dem Olivin stammen.

Bei der weiteren Basaltzersetzung ist die Abnahme von CaO im Gestein am Anfang sehr gering. Erst bei der Pyroxenzersetzung wird Ca^{++} in stärkerem Maße frei und durch die Verwitterungs-lösungen abtransportiert.

Der CaO -Gehalt nimmt also bei beginnender Pyroxenverwitterung im Vergleich zum MgO ab, da für Mineralneubildungen nur geringe Kalziummengen nötig sind (BOLTER 1961).

Als Alkalilieferanten für das Grundwasser kommen in erster Linie die Feldspäte und Feldspat-vertreter in Frage. Der Nephelin kann 85,9 ppm Na^+ und 11,8 ppm K^+ an destilliertes Wasser abgeben. Bei Anwesenheit von CO_2 kann die Konzentration auf 114 ppm Na^+ bzw. 37,9 ppm K^+ steigen (KELLER et al. 1963a, 1963b). Nach BOLTER (1961) nimmt im leicht zersetzten Basalt der Gehalt an Alkali-Ionen relativ zu. Erst in den stark zersetzten Basalten ist eine Na^+ - und K^+ -Wegfuhr zu bemerken.

Ein bei BOLTER (1961) angeführtes Beispiel zeigt: Zu Beginn der Zersetzung (nur Olivin ist teilweise in Goethit umgewandelt) wurden in verwitterten Basalten höhere Na_2O - und K_2O -Gehalte als im frischen Gestein bestimmt. Eine weitere relative Anreicherung wird auch dann noch beobachtet, wenn die Pyroxene völlig weggelöst und die Feldspäte schon teilweise zersetzt sind. Diese Anreicherung bei wenig verwitterten Gesteinen wird von SIGVALDASON (1959) durch Anlagerung der Alkalien an neugebildete Montmorinminerale erklärt.

Der Alkaligehalt im Gestein sinkt erst nach einer intensiven Feldspatverwitterung. Das bedeutet, daß erst in diesem Verwitterungszustand die Alkalien im Grundwasser angereichert werden.

Die chemische Veränderung eines Wassers kann außer durch Lösungsvorgänge, aber auch durch das Ionenaustauschvermögen einzelner Minerale erfolgen.

Für Basaltwässer kommen als Umtauscher die im Basalt vorhandenen (Zeolithe) bzw. durch Verwitterung neu gebildeten Mineralien und die tonigen Böden in Frage. WÄGER (1968) konnte zeigen, daß bei einem Kontakt des Wassers mit einer Tonoberfläche eine Veränderung der Gesamthärte sowie des Kalzium- und Magnesiumgehaltes stattfindet.

Nach einem fünfstündigen Kontakt des Wassers mit einer Tonoberfläche ergaben sich folgende Werte:

vor dem Versuch			nach dem Versuch		
GH (°dH)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	GH (°dH)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)
10,5	64,5	6,5	9,6	59,3	5,6

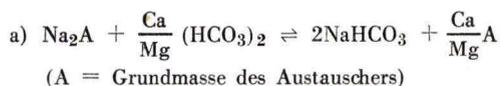
Dieser Versuch zeigt, daß selbst bei nur oberflächlichem Kontakt des Wassers mit Ton Enthärtung bzw. Abnahme des Ca^{++} - und Mg^{++} -Gehaltes stattfindet.

Solche Vorgänge finden sicherlich auch in einem Basaltkörper wie ihn der Vogelsberg darstellt, statt, der, wie gezeigt wurde, aus einem Wechsel von Lateriten, lateritierten Tuffen mit hohen Gehalten an Tonmineralien und Basalt aufgebaut ist.

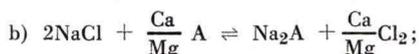
Durch Einschwemmung von Lateritmaterial in die Klüfte des Basaltes oder durch Zersetzung des Gesteins, kann es an den Kluftwänden zur Bildung eines Belags kommen, der Tonminerale enthält. Bei einem Kontakt des Wassers mit diesem Belag finden dann Ionenaustauschvorgänge statt.

Die Enthärtung mit ionenaustauschenden Stoffen beruht darauf, daß das Na^{++} -Ion in den Austauschern durch Ca^{++} - und Mg^{++} -Ionen ersetzt wird.

Nach SCHWILLE (1953) können die Austauschvorgänge durch folgende Reaktionen beschrieben werden:



Sobald die Austauschmasse unwirksam geworden ist, kann diese mit einer Kochsalzlösung regeneriert werden.



wobei CaCl_2 bzw. MgCl_2 in Lösung geht und der Austauscher erneut betriebsfähig ist.

Für die unterschiedliche Beschaffenheit der Basaltwässer können also einmal Lösungsvorgänge an Silikaten verantwortlich gemacht werden. Die zweite Möglichkeit der Chemismusänderung sind Ionenaustauschvorgänge zwischen den Silikaten und den Wässern. Dabei zirkuliert ein an Kalzium und Magnesium reiches Wasser in den Poren eines Austauschers, der mit Na^+ - und K^+ -Ionen beladen ist. Schwach verwitterte Basalte sind, wie wir gesehen haben, alkalireich, so daß es hier gemäß Gleichung (a) zum Austausch der im Wasser vorhandenen Erdalkali- gegen Alkali-Ionen kommen kann. Da das bei diesem Vorgang entstandene $\frac{\text{Na}}{\text{K}} \text{HCO}_3$ keine zugehörige freie Kohlensäure benötigt, um in Lösung zu bleiben, wird nach dem Austausch die ganze zugehörige freie Kohlensäure aggressiv und kann ihrerseits Na^+ bzw. K^+ aus dem Gestein lösen (SCHWILLE 1954).

3.5.4. Chemische Zusammensetzung der Wässer auf den einzelnen Blättern der TK 25

Die in den 3-linearen Diagrammen ³ angegebenen Werte (Abb. 8 zeigt Art u. Lage der Entnahmestellen) stellen die Analyseergebnisse von Wasserproben dar, die im September 1968 und im Mai 1969 gezogen wurden. Wie schon dargelegt, zeigen alle Wässer eine große Ähnlichkeit. Wo eine Abweichung von dem Normaltyp auftritt, ist sie auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen.

³) Die Nummern in den 3-linearen Diagrammen beziehen sich auf die Archivnummer im Analysenregister, geordnet nach Blättern der TK 25.

♣ bedeutet, daß an dieser Stelle im Diagramm zwei Analysen zusammenfallen.

3.5.4.1. Bl. 5420 Schotten (Analysennummer 1 — 24, 26 — 28; Abb. 5)
Bl. 5520 Nidda (Analysennummer 71, 72, 80; Abb. 5)

Die Wässer auf den Bl. Schotten und Nidda gehören überwiegend zu dem hydrogenkarbonatischen oder hydrogenkarbonatisch-sulfatischen Typ mit z. T. etwas höheren Alkaligehalten (Nr. 19 und Nr. 23), die auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen sind. Das Wasser der Quellen Nr. 2, 4, 11, 14, 20 und des Brunnens Nr. 26 sind dabei zu dem sulfatischen Typ zu zählen.

Bei den Kationen liegen die Ca- wie die Mg-Werte überwiegend zwischen 40 und 60 mval-%. Bei Beträge für Na + K liegen mit Ausnahme der Brunnen 19 und 23 zwischen 5 und 20 mval-%.

Die Anionen zeigen eine starke Streuung. Die Summe der Chloride und Nitrate liegt zwischen 5 und 30 mval-%. Das Hydrogenkarbonat und die Sulfate bewegen sich auf einem breiten Spektrum zwischen 30 — 90 bzw. 5 — 50 mval-%.

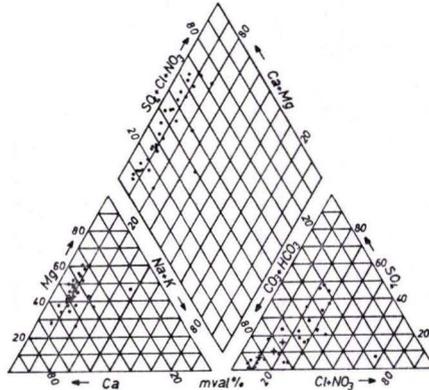


Abb. 5. 3-lineares Diagramm des Chemismus der Wässer auf den Bl. 5420 Schotten und 5520 Nidda. Analysen-Nr. 1 — 24, 26 — 28, 71, 72 und 80.

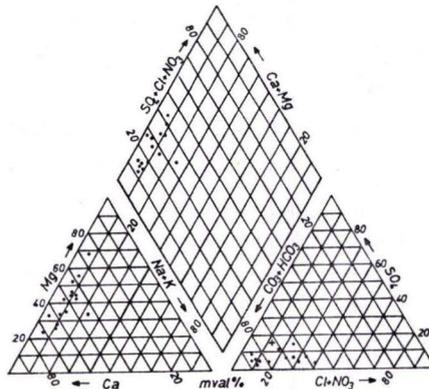


Abb. 6. 3-lineares Diagramm des Chemismus der Wässer auf Bl. 5419 Laubach. Analysen-Nr. 29 — 31, 34, 37, 38, 41 — 43, 46, 47, 58, 63 a und 63 b sowie 79.

3.5.4.2. Bl. 5419 Laubach (Analysennummer 29 — 31, 34, 37, 38, 41 — 43, 46, 47, 58, 63a und b, 79; Abb. 6)

Die Wässer auf Bl. Laubach sind ausschließlich erdalkalisch mit hohen Hydrogenkarbonatgehalten. Die Wasserversorgung der Steines-Mühle (Nr. 46) zeigt dabei etwas erhöhte Alkaligehalte, was mit Sicherheit auf infiltriertes Oberflächenwasser zurückzuführen ist (flacher Schachtbrunnen direkt an der Wetter). Der Gesamtlösungs-inhalt der Wässer auf Bl. Laubach liegt zwischen 5,3 und 18,6 mval (nach der Härteskala ziemlich harte bis sehr harte Wässer). Bei den Kationen zeigen Mg und Ca eine große Streuung (zwischen 20 und 70 mval-%). Die Alkalien liegen mit Ausnahme des Brunnens Nr. 46 bei oder unter 10 mval-%. Die Anionenverhältnisse verdeutlichen noch einmal die hydrogenkarbonatischen Wässer (Hydrogenkarbonat 60 — 90 mval-%). Der Sulfatgehalt schwankt zwischen 3 — 15 mval-%, die Summe der Chloride und Nitrate zwischen 5 und 40 mval-%.

3.5.4.3. Bl. 5519 Hungen (Analysennummer 32, 33, 35, 36, 39, 40, 44, 45, 48 — 57, 59 — 62, 64 — 68, 74 — 78; Abb. 7)

Bl. 5518 Butzbach (Analysennummer 69 und 70; Abb. 7)

Die Wässer auf den Bl. Hungen und Butzbach gehören überwiegend zu den erdalkalischen Süßwässern des hydrogenkarbonatisch bis hydrogenkarbonatisch-sulfatischen Typs mit teilweise höherem Alkaligehalt. Höhere Alkaliwerte haben dabei die Brunnen 40, 50, 74, 78 sowie die Meßstelle 45. Die höheren Werte für K und besonders Na werden durch künstliche Beeinflussung hervorgerufen (Streusalz im Winter, Abfall- und Jauchegruben), da in die Brunnen leicht Oberflächenwasser eindringen kann. Nr. 45 ist eine nicht mehr gut gegen Oberflächenwasser abgedichtete Grundwassermeßstelle, die heute im Straßengraben steht und so leicht durch Streusalzwässer beeinflusst werden kann.

Bei den Kationen bewegen sich die Werte (obige Beprobungsstellen ausgenommen) wie folgt: Mg zwischen 20 und 60 mval-%, Ca zwischen 30 und 80 mval-% und die

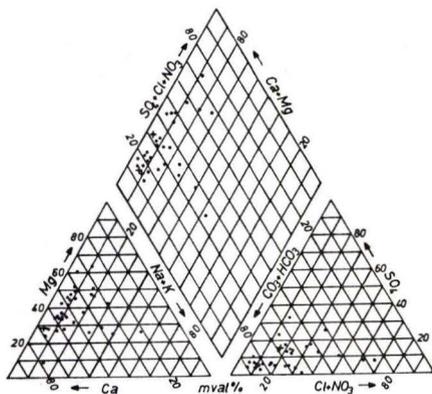


Abb. 7. 3-lineares Diagramm des Chemismus der Wässer auf den Bl. 5518 Butzbach und 5519 Hungen.

Analysen-Nr. 32, 33, 35, 36, 39, 40, 44, 45, 48 — 57, 59 — 62, 64 — 70 und 74 — 78.

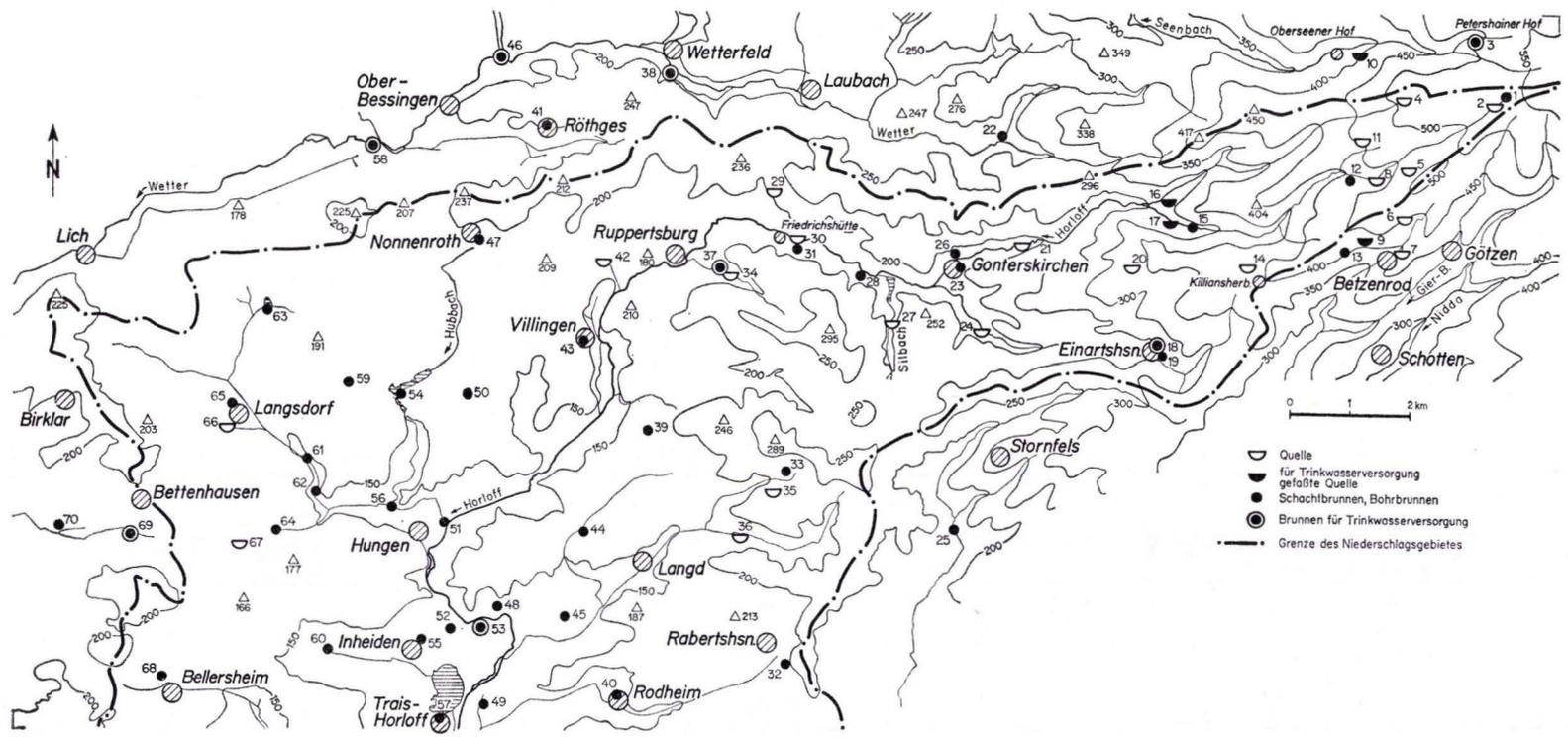


Abb. 8. Lage und Art der Entnahmestellen von Wasserproben.

Alkalien zwischen 5 und 20 mval-%. Die größten Alkaliwerte weist der zur Grundwasserbeobachtung genutzte Brunnen Nr. 40 (Rodheim Schule) mit 51,4 mval-% auf, die sich aus 57,0 mg/l Na und 43,6 mg/l K zusammensetzen. Die Anionen streuen wieder recht erheblich und zwar das Sulfat von 5 — 32 mval-%, das HCO_3 von 55 — 90 mval-% und die Summe der Cl + NO_3 -Ionen zwischen 5 und 70 mval-%.

3.5.4.4. Sonderfälle

Es ist nun möglich, daß die Karbonathärte die Gesamthärte übertrifft (Nr. 39, Villingen Wald). In solch einem Fall sind die Hydrogenkarbonat-Ionen nicht mehr allein durch Erdalkalien abgesättigt, sondern es müssen auch Alkalihydrogenkarbonate vorliegen. Diese Wässer besitzen alle Anzeichen eines reduzierten Typs wie die geringen Nitratgehalte und die Anwesenheit von Eisen und Mangan zeigen.

Die alkalihydrogenkarbonathaltigen Wässer sind aber auch durch den oben beschriebenen Ionenaustausch zu erklären, in dem die in schwach verwitterten Basalten reichlich vorhandenen Alkali-Ionen gegen die Erdalkali-Ionen des Wassers ausgetauscht wurden.

3.5.5. Chemische Reihenanalysen

Von Oktober 1967 bis September 1968 wurden zuerst in längeren und ab März in zum großen Teil wöchentlichen Abständen von 14 Stationen (sieben Beobachtungsröhre und sieben Quellen bzw. Wasserversorgungen) Wasserproben entnommen und auf Gesamthärte, Karbonathärte, Chloride, elektrolytische Leitfähigkeit und pH-Wert untersucht. Ab 17. 4. 1968 wurde dann auch die Wassertemperatur mit einem fernanzeigenden Thermometer (Thermophil) der Firma ULTRAKUST gemessen.

Das Wasser wurde mit einem Entnahmegerät der Firma SPOHR, Frankfurt/Main, aus den Filterstrecken der Beobachtungsröhre gezogen.

Außerdem wurde für alle Beprobungsstellen der Niederschlag der entsprechenden Meßstation angegeben und wo es möglich war, die Schüttung der Quellen oder bei den Beobachtungsröhren die Ganglinie des Grundwassers dargestellt.

Beprobungsstellen mit der zugehörigen Niederschlagsstation:

Nr. 1 (Bg. 15)	Station Petershainer Hof
Nr. 2 (Horloffquelle)	Station Petershainer Hof
Nr. 4 (Höllerskopfquelle)	Station Petershainer Hof
Nr. 12 (Bg. 14)	Station Schotten
Nr. 16 (Wasserversorgung Jägerhaus)	Station Jägerhaus
Nr. 17 (Wasserversorgung Gonterskirchen)	Station Jägerhaus
Nr. 18 (Wasserversorgung Einartshausen)	Station Jägerhaus
Nr. 24 (Quelle Gonterskirchen)	Station Jägerhaus
Nr. 30 (Quelle Friedrichshütte)	Station Villingen
Nr. 34 (Alte Wasserversorgung Ruppertsburg)	Station Villingen
Nr. 39 (Bg. 8, Villingen Wald)	Station Villingen
Nr. 51 (Geologische Forschungsstelle Hungen)	Station Hungen
Nr. 63 (Bg. 4, Langsdorf Teich)	Station Hungen
Nr. 64 (Bg. 2, Riesengrabenweg)	Station Hungen

Die Unterschiede in den Analysenwerten, die in den elf Monaten auftraten, konnten alle durch Oberflächenwasser, den Einfluß des Bodens oder durch Ionenaustausch erklärt werden. Dabei ist zu beachten, daß die Änderungen der spez. Leitfähigkeit in der Hauptsache durch die Härte bestimmt werden und nicht etwa durch die Chloride. Dies zeigt sich am besten, wenn man beide Größen in mval betrachtet, denn $1 \text{ mg Cl/l} = 0,0281 \text{ mval Cl/l}$, aber $1^\circ\text{dH} = 0,357 \text{ mval Härte/l}$.

Im folgenden werden nur von drei charakteristischen Beprobungsstellen die Diagramme wiedergegeben und kurz besprochen.

3.5.5.1. Nr. 2 Horloffquelle (Abb. 9)

Die Quelle Nr. 2 liegt in einer jungen Schonung, ca. 530 m über NN.

Charakteristisch ist bei diesem Diagramm das Fallen des Chloridwertes Anfang März und das Maximum Mitte April, sowie die lebhafte Änderung des Chloridwertes in den folgenden Monaten. Diese Änderungen sind sicherlich durch gelöstes Streusalz bedingt, denn die recht flach auslaufende Quelle liegt nur ca. 200 m unterhalb einer im Winter sehr stark gestreuten Straße.

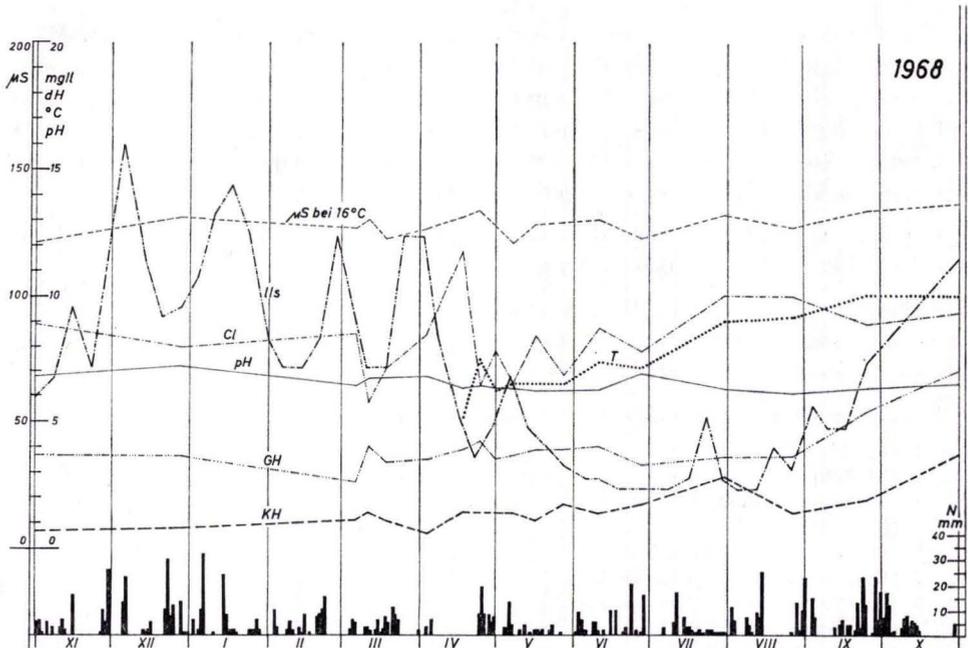


Abb. 9. Die Änderung der physikalisch-chemischen Kennwerte (elektrolytische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Chloride, Gesamthärte, Karbonathärte) sowie die Quellschüttung der Beprobungsstelle Nr. 2 Horloffquelle einschl. der Niederschläge der Station Petershainer Hof im hydrologischen Jahr 1968. Für die Kurve der Quellschüttung (l/s) liegt der Nullpunkt bei 2, 1 l/s bei 6 der Ordinate.

Da der Niederschlag im Januar und Februar überwiegend als Schnee auf gefrorenen Boden fiel, fand keine Versickerung statt. Die Schüttung ging dabei Mitte Februar auf 1,3 l/s zurück. Ende März und Anfang April trat dann die Schneeschmelze ein, die in der Quelle Mitte April eine entsprechende Chloriderhöhung brachte. Im übrigen zeigt die Quell-Schüttung mit einer leichten Verzögerung eine deutliche Abhängigkeit von den Niederschlägen. Diese gelangen aber im Mai, Juni und Anfang Juli trotz der gut wasserdurchlässigen Lockerbraunerden nicht zur Versickerung, denn die Quell-schüttung geht in diesen Monaten ständig zurück, d. h. daß praktisch der gesamte Niederschlag in diesem Zeitraum verdunstet ist.

Das Steigen der Härtegrade wird dann durch die oben beschriebene wiederbegin- nende Tätigkeit der Mikroorganismen bestimmt. Die Leitfähigkeit zeigt in dieser Quelle einen ähnlichen Verlauf wie die Härte. Die Temperatur steigt stetig von 5 °C im April auf 9 °C im September an.

3.5.5.2. Nr. 30 Quelle Friedrichshütte (Abb. 10)

Die Quelle Friedrichshütte am Fuße des Eichberges, am rechten Ufer der Horloff, unterhalb der Straße Hungen — Gonterskirchen gelegen, ist der Abfluß einer Quell- fassung der alten Wasserversorgung der Gemeinde Ruppertsburg.

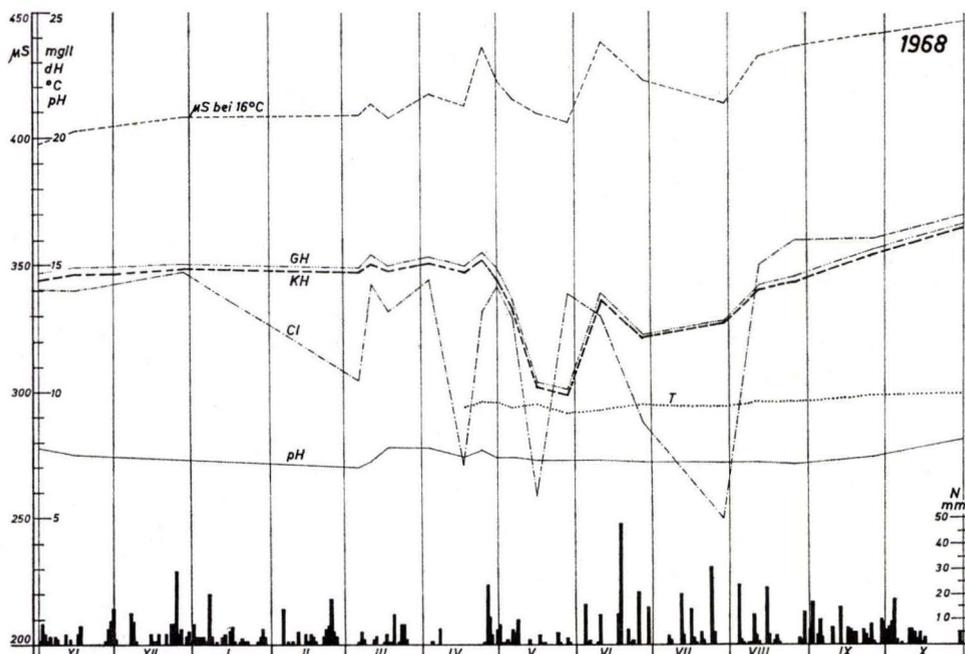


Abb. 10. Die Änderung der physikalisch-chemischen Kennwerte (elektrolytische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Chloride, Gesamthärte und Karbonathärte) der Beprobungsstelle Nr. 30 Friedrichshütte sowie der Niederschläge der Station Villingen im hydrologischen Jahr 1968.

In diesem Quellwasser entspricht die Karbonathärte praktisch der Gesamthärte, d. h. Kalzium und Magnesium sind ausschließlich an das Hydrogenkarbonat gebunden, dessen Konzentrationsänderungen die spezifische Leitfähigkeit exakt folgt. Die Wassertemperatur beträgt ziemlich gleichmäßig von April bis September 1968 $9,5^{\circ}\text{C}$. Es bestehen aber große Schwankungen im Chloridgehalt. Eine Erklärung bildet die starke landwirtschaftliche Nutzung des Eichberg-Plateaus.

Nimmt man eine starke Auswaschung dieser Felder an (Kalidüngung), so fallen die Chloridmaxima im Quellwasser mit Regenspitzen zusammen. Diese Annahme wird durch die gut wasserdurchlässigen Parabraunerden, die hier anstehen, unterstrichen. Im Juni und Juli 1968 sinkt aber der Chloridwert trotz relativ kräftiger Niederschläge stark ab. Für diesen Zeitraum muß eine starke Verdunstung angenommen werden, die zur Folge hatte, daß nur wenig Niederschlag in den Untergrund versickerte, so daß keine Auswaschung der Chlorid-Ionen stattfinden konnte.

3.5.5.3. Nr. 63 Bg. 4, Langsdorf Teich (Abb. 11)

Die Grundwassermeßstelle Langsdorf Teich mit einer Tiefe von 39,60 m steht im Basalt dicht an einem Fischteich nördlich von Langsdorf. Bei dieser Bohrung, die durchgehend verrohrt ist, sind zwischen 14,00 und 15,00 m und von 38,60 bis zur Endteufe geschlitzte Filterrohre eingebaut. Die Wasserproben-Entnahme und Temperaturmessungen erfolgten bei 39,00 m.

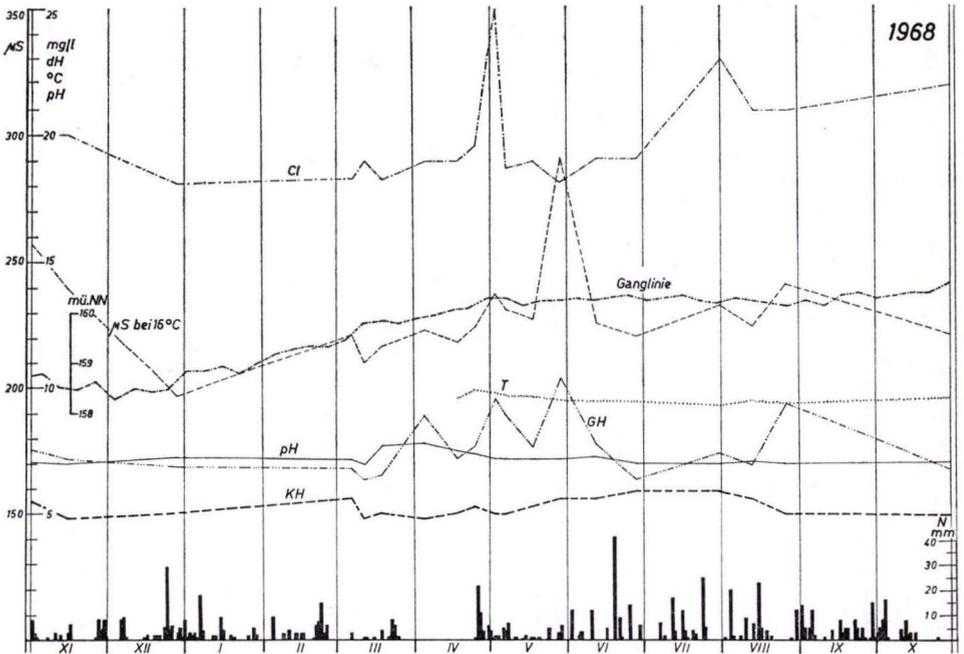


Abb. 11. Die Änderung der physikalisch-chemischen Kennwerte (elektrolytische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Chloride, Gesamthärte, Karbonathärte) sowie die Ganglinie der Beprobungsstelle Nr. 63 Bohrung 4 (Langsdorf Teich) einschl. der Niederschläge der Station Hungen GF im hydrologischen Jahr 1968.

Das Gebiet um die Meßstelle wird landwirtschaftlich genutzt. Der Boden besteht bis in 5 m Tiefe aus schlecht wasserdurchlässigem lateritischem Material. Dementsprechend zeigt die Ganglinie des Grundwassers auch keine direkte Beziehung zu den Niederschlägen, sondern nur den Trend der Grundwasserbewegung. Trotzdem fallen Chloridmaxima mit einer gewissen Verzögerung mit Regenspitzen zusammen.

Auffallend ist die eindeutige Beziehung zwischen Gesamthärte und Leitfähigkeit über den gesamten Beobachtungszeitraum. Die Wassertemperatur liegt mit geringen Schwankungen von Anfang April bis Ende Oktober 1968 bei 9,5° C.

3.6. Grundwasserleiter

Das Grundwasser tritt in den Basalten des Vogelsberges fast ausschließlich als Kluftgrundwasser auf. Die Wasserwegsamkeit wird von der Kluft Häufigkeit bestimmt. Der Basalt ist generell plattig oder säulig ausgebildet, wodurch schon primär eine große Klüftigkeit gegeben ist. Die Kluft Häufigkeit ist in tektonischen Störungszonen noch beträchtlich erhöht.

Wie wir in Kap. 2.2 gesehen haben, sind den Basaltlagen Tuffe und Laterite zwischengeschaltet. Diese sind im allgemeinen schlecht wasserdurchlässig.

Das Liegende der Vulkanite bilden Kiese, Sande und Tone des präbasaltischen Tertiärs oder Gesteine des Mesozoikums und Paläozoikums. Eine Trennung in Stockwerke, die praktisch auch keine hydraulische Verbindung mehr besitzen, besteht zwischen dem Salzwasser der tertiären Sande und dem Basaltgrundwasser, da die Sande von mächtigen lateritischen Tuffen überlagert werden, die tektonisch als inkompetentes Material bezeichnet werden müssen, in dem sich keine offenen Klüfte ausbilden können.

Die Grundwasserneubildung ist im Arbeitsgebiet dort besonders gut, wo unter einer lockeren Bodendecke kluftreiche Basalte anstehen, die in der Lage sind, das neugebildete Grundwasser weiterzuleiten. Dies ist besonders nördlich Langd, östlich von Villingen, nördlich und östlich von Ruppertsburg und im Raum Gonterskirchen der Fall.

Im NW des Arbeitsgebietes, wo die Basalte und Tuffe in Laterite umgewandelt sind, wird ein Eindringen des Niederschlages sehr erschwert. Aber auch hier wird Grundwasser neugebildet, wenn klüftige Basalte im Untergrund anstehen oder sogar an der Oberfläche Basaltdurchbrüche zu finden sind.

Normalerweise versickert das Niederschlagswasser auf den reichlich vorhandenen Klüften bis auf das Hauptgrundwasserniveau und tritt am Rande des Vogelsberges oder in Gebieten, wo die Grundwasseroberfläche geschnitten wird, in Quellen aus (Horlofftal zwischen Jägerhaus und Beobachtungrohr 33, Taf. 1). An Stellen, an denen durch Verwerfungen bedingt, der durchlässige Basalt an wenig oder sehr schwer durchlässige tertiäre Sedimente oder Tuffe stößt, wird der unterirdische Abfluß gehemmt, so daß in den Talauen Quellgebiete mit z. T. sehr großer Schüttung auftreten können. Das Wasserwerk Inheiden wurde an einer Stelle errichtet, an der die Quellschüttungen insgesamt 300 — 450 l/s betragen.

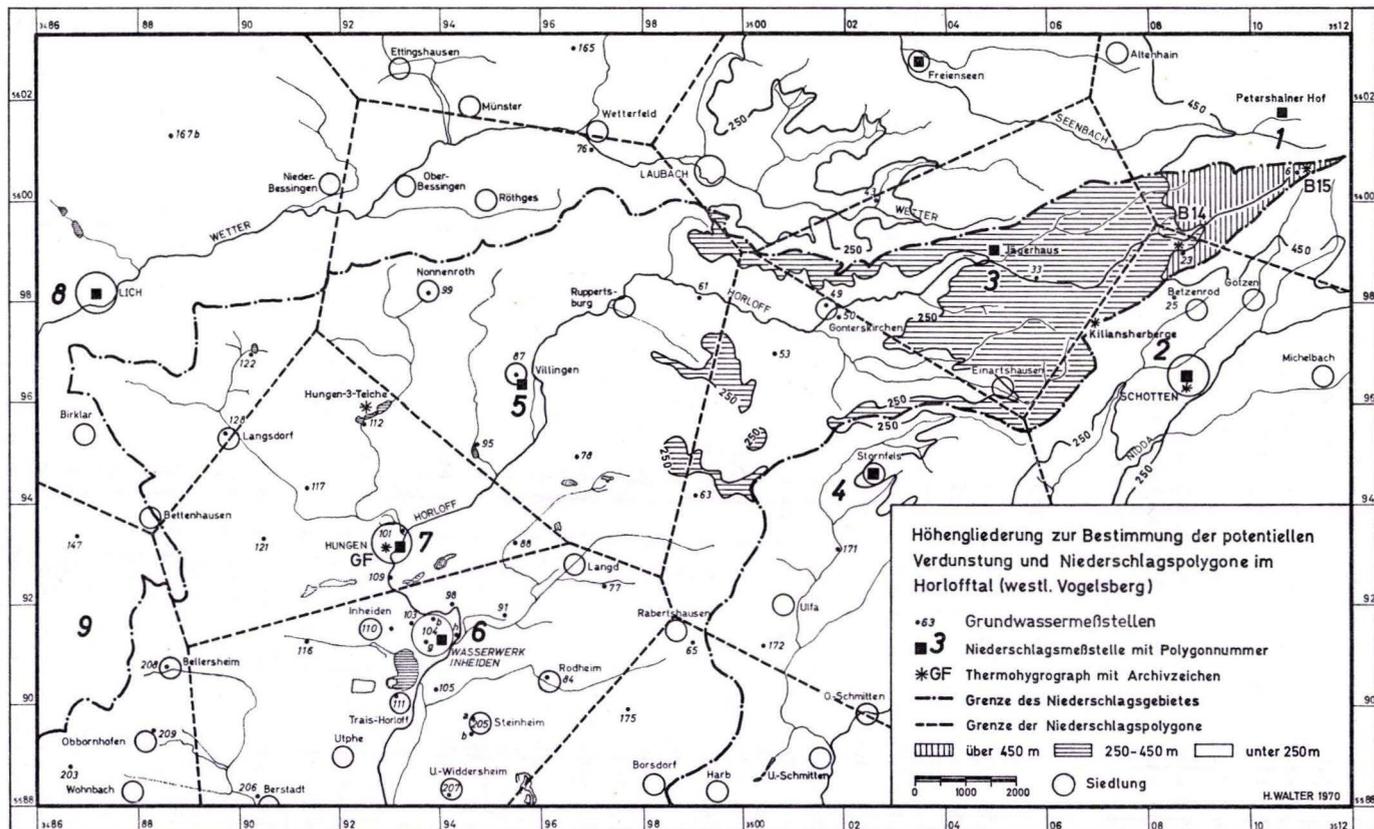


Abb. 12. Höhengliederung zur Bestimmung der potentiellen Verdunstung und Niederschlagspolygone im Horlofftal (westl. Vogelsberg).

3.7. Einzugsgebiet

Auf Abb. 2 sind die Grundwassergleichen für fast das gesamte Untersuchungsgebiet für April und September 1969 dargestellt. Daraus ist zu ersehen, daß das Grundwasser hauptsächlich aus NW (Langsdorf), NE (Ruppertsburg-Villingen) und E (Langd) zum Wasserwerk Inheiden strömt. Wie in Abschn. 3.2 näher ausgeführt, kann für die Grundwasserhaushaltsuntersuchung davon ausgegangen werden, daß das durch die Wasserentnahme in Inheiden besonders stark beeinflusste Gebiet ein Rechteck darstellt, das von Störungen begrenzt wird. Seine Größe wurde mit 88 km² bestimmt.

Das östlich der Ohm-Seental-Linie liegende Niederschlagsgebiet der Horloff wurde, da seine Grenzen von Störungen durchzogen werden, als Einzugsgebiet einbezogen. Für das Gesamteinzugsgebiet der Horloff bis zum WWI ergibt sich somit eine Größe von 120 km².

3.8. Niederschlagsdargebot

Das Gebietsmittel, also das Niederschlagswasser, das in einem bestimmten Zeitabschnitt — z. B. Tag, Monat oder Jahr — auf ein Niederschlagsgebiet fällt, wurde nach dem sog. „Mittelsenkrechten-Verfahren“ (Niederschlagspolygone) berechnet. Dabei konnte auf elf Niederschlagsstationen zurückgegriffen werden, von denen fünf durch den Deutschen Wetterdienst betreut werden, der Rest von der Geologischen Forschungsstelle des ZOV in Hungen. Drei dieser Stationen waren mit Regenschreibern nach HELLMANN, die anderen mit normalen Regenschreibern nach HELLMANN besetzt.

Auf Abb. 12 sind nur neun Niederschlagsstationen eingezeichnet, da die Stationen „Hof Lehr“ und „Kiliansherberge“ nur 1 1/2 Jahre bestanden. Die Station Kiliansherberge mußte danach aufgelassen werden, während die Station Hof Lehr nur für diesen Zeitraum für Spezialuntersuchungen geplant war.

Auf Tab. 2 ist als Beispiel das Gebietsmittel für das Jahr 1967 für das Einzugsgebiet der Horloff bis zum Pegel Friedrichshütte dargestellt.

Tab. 2. Berechnung des Jahresniederschlags 1967 für das Einzugsgebiet der Horloff bis zum Pegel Friedrichshütte

Niederschlagsmeßstelle mit Polygonnummer	Petershainer Hof	Schotten	Jägerhaus	Stornfels	Villingen	Summe
	1	2	3	4	5	
Lage der Meßstelle in m über NN	495	293	257	265	150	
Flächenaufteilung des Einzugsgebietes auf N-Polygone (km ²)	3,4	2,4	16,8	10,5	1,5	34,6
Niederschlag im hydrolo- gischen Jahr 1967 (mm)	985	1 118	1 111	898	872	
N-Anteil der Teil- flächen (mm)	<u>3,4×985</u>	<u>2,4×1118</u>	<u>16,8×1111</u>	<u>10,5×898</u>	<u>1,5×872</u>	
	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	
	= 97,2	= 75,8	= 539,0	= 272,9	= 38,7	= 1 023,6

Für das Gesamtniederschlagsgebiet (125 km²) wurden folgende Gebietsmittel berechnet:

Jahr	mm	Jahr	mm
1963	688,3	1967	867,2
1964	469,7	1968	938,4
1965	884,4	1969	664,5
1966	909,9		

Nach SCHIRMER (1959) erreichte der mittlere Jahresniederschlag für das Niederschlagsgebiet der Horloff bis zum WWI für verschiedene Zeiträume folgende Werte:

1891 — 1930	683,4 mm
1931 — 1955	689,2 mm
1891 — 1955	685,7 mm.

Diese Werte sind allerdings nach einem weitmaschigen Netz berechnet worden.

3.8.1. Zusätzlicher Niederschlag durch Nebel

An der Untergrenze des Bergnebels in 395 m über NN wurden an der Station Kiliansherberge von Juni 1968 bis April 1969 mit einem Nebelfänger nach GRUNOW Messungen des Nebelniederschlags durchgeführt.

Dieser Nebelfänger nach GRUNOW besteht aus einem Drahtzylinder mit 1,5 mm Maschenweite und 0,25 mm Drahtstärke, der auf einen HELLMANN-Regenmesser aufgesetzt wird. Der Durchmesser und die Höhe des Zylinders sind so gewählt, daß die Anströmfläche 200 cm² beträgt. Bestimmt wird die Differenz der Wassermenge zwischen normalem Regenmesser und einem Regenmesser mit Nebelfänger.

Tab. 3. Zusätzlicher Niederschlag durch Nebel (N = Niederschlagsmenge, E = Niederschlagsmenge N + Nebelzuschlag B, k. M. = keine Messungen)

Periode	Station: Kiliansherberge 395 m über NN						Station: Geologische Forschungsstelle 138 m über NN		
	1968			1969			1969		
	N mm	E=N+B mm	E-N mm	N mm	E=N+B mm	E-N mm	N mm	E=N+B mm	E-N mm
November	84,7			26,7	33,7	7,0	19,5	18,1	-1,4
Dezember	121,8			30,0	43,9	13,9	26,5	26,8	0,3
Januar	113,7	k. M.	—	60,1	71,5	11,4	28,2	29,5	1,3
Februar	76,3			65,7	84,8	19,1	52,3	50,9	-1,4
März	51,9			44,9	59,0	14,1	30,4	25,3	-5,1
April	57,7			75,9	101,5	25,6	56,8	46,7	-10,1
Winter	506,1	—	—	303,3	394,4	91,1	213,7	197,3	-16,4
Mai	56,9	k. M.	—				66,6	61,6	-5,0
Juni	100,4	95,5	-4,9				68,8	67,1	-1,7
Juli	85,6	90,2	4,6	k. M.	k. M.	—	k. M.	k. M.	—
August	110,1	113,4	3,3				k. M.	k. M.	—
September	121,9	138,8	16,9				k. M.	k. M.	—
Oktober	85,7	116,3	30,6				k. M.	k. M.	—
Sommer	560,6	(554,2)	—	—	—	—	(135,4)	—	—

Wie aus Tab. 3 ersichtlich ist, ergab sich für die Station Kiliansherberge bei diesen Mengen für den Winter 1969 eine zusätzliche Niederschlagsmenge von 91,1 mm. Beträchtliche zusätzliche Niederschlagshöhen wurden auch in den Monaten September und Oktober 1968 mit 16,9 bzw. 30,6 mm gemessen.

Bei der Station Hungen GF in 138 m über NN wurden nur von November 1968 bis Juni 1969 Messungen durchgeführt. Hier ist der zusätzliche Niederschlag durch Nebel erheblich geringer. Im Dezember 1968 und Januar 1969 wurden 0,3 bzw. 1,3 mm gemessen. Die negativen Werte im Sommer sind durch die Verdunstung des Niederschlages bedingt, der im Drahtgitter hängen bleibt.

Aus diesen kurzzeitigen Messungen an nur zwei Stationen können jedoch keine Rückschlüsse auf den Gesamtnebelniederschlag im Arbeitsgebiet gezogen werden, so daß der zusätzliche Niederschlag durch Nebel in der Wasserbilanz nicht berücksichtigt wurde.

3.8.2. Zusätzlicher Niederschlag durch Tau

Der Tau und die feste Form, der Reif, bilden sich in der bodennahen Luftschicht durch Abkühlung der mit Wasserdampf angereicherten Luft. Die Messung des Taus erfolgte mit der Tauplatte nach LEIK und dem Tauschreiber nach KESSLER-FUESS. Die Messungen mit dem Tauschreiber brachten dabei wenig befriedigende Ergebnisse, da der Taufänger aufgrund seiner Konstruktion nicht immer horizontal liegt und das Gehäuse einen großen Einfluß auf die Ventilation und somit die Abkühlung hat. Im Vergleich zur Tauplatte brachte der Schreiber 50 % geringere Tauerträge. Ähnliche Ergebnisse wurden von GELBKE (1955) mitgeteilt.

Die Tauplatte besteht aus sog. Biskuitporzellan. Sie hat einen Durchmesser von 113 mm und eine Dicke von 5 mm. Die wirksame Oberfläche beträgt 100 cm². Die Platten wurden exakt horizontal in Decelith-Kassetten auf Decelith-Tellern exponiert, damit eine thermische Isolierung gegenüber dem Erdboden vorhanden war. Gemessen wurde die Gewichts Differenz zwischen feuchter und trockener Platte. Dabei entspricht 1 g Gewichtszunahme 0,1 mm Niederschlag.

Als Tauertrag wurde dabei am Hoherodskopf für den Monat September 1968 0,26 mm pro Nacht, an der Station Hungen GF vom Herbst 1968 bis Frühjahr 1969 0,08 mm pro Nacht gemessen.

Aus diesen Werten ist ersichtlich, daß der Tau als zusätzlicher Niederschlag keinen wesentlichen Einfluß hat. Seine Hauptbedeutung liegt in der Pflanzenökologie, denn durch Tauwasserabsorption wird das Wasserdefizit der Blätter in einer Taunacht nach STEUBING (1955) bis zu 8 % herabgesetzt und der Gesamtwasserverbrauch der Vegetation infolge Transpirationsausschaltung während der Benetzungszeit erheblich vermindert. Da aber auch hier nur für einige Pflanzen die Wassermenge bekannt ist, die durch Tauwasseraufnahme eingespart wird, ist die Anwendung auf einen Waldbestand nicht möglich.

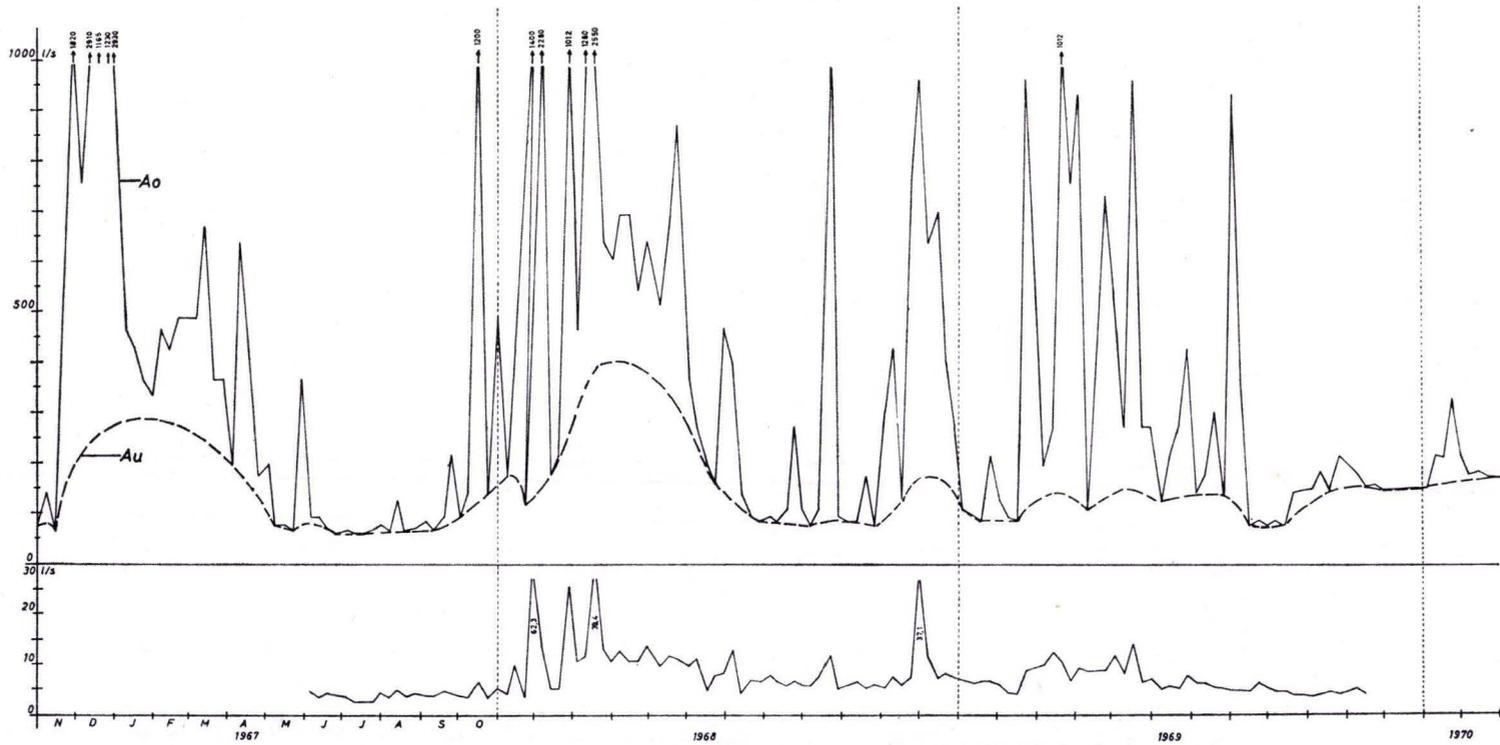


Abb. 13. Oberirdischer Abfluß A_o und unterirdischer Abfluß A_u nach NATERMANN am Horloff-Schreibpegel Friedrichshütte sowie die Schüttung am Meßwehr Laubacher Straße für die hydrologischen Jahre 1967 — 1969.

3.9. Oberirdischer und unterirdischer Abfluß

3.9.1. Meßmethodik für den Gesamtabfluß

Vor Beginn der Untersuchungen war die Horloff mit nur zwei Schreibpegeln, einem Meßwehr nach REHBOCK und einem Lattenpegel versehen.

Im Jahre 1967 wurden in der Horloff zwei weitere Schreibpegel, zwei Meßwehre, die eine Kombination von REHBOCK- und PONCELETT-Überfall darstellen sowie drei Lattenpegel installiert.

In der Zeit von März 1967 bis Oktober 1969 wurden dann für die neu eingerichteten Meßstellen die notwendigen Abflußkurven für die Mengenbestimmung mit Hilfe von OTT-Meßflügeln aufgestellt. Außerdem wurden die Abflußkurven der bestehenden Meßstellen durch weitere Messungen präzisiert. Die kleinen Bäche und ein Teil der Quellen wurden mit folgenden Meßwehren beobachtet: THOMSON-Überfall, hyperbolisches Wehr und trapezförmiges Wehr. Insgesamt wurden 24 THOMSON-Überfälle und sechs hyperbolische bzw. trapezförmige Meßwehre eingerichtet (Taf. 1).

Der hohe Zeitaufwand für die Messungen zwang dazu, später die Anzahl der Meßstellen zu reduzieren. Die zeitlichen Abstände der Messungen konnten aber konsequent eingehalten werden. Trotzdem war es bei einer Reihe von Bachabflußmessungen notwendig, gewisse Korrekturen anzubringen. Dazu bot sich die Möglichkeit des Vergleiches der weniger gut belegten Abflußganglinie mit der Schreibpegelkurve des größeren oder benachbarten Einzugsgebietes mit gleichem geologischem Untergrund und ähnlichem Abflußverhalten.

3.9.2. Bestimmung des oberirdischen und unterirdischen Abflusses

3.9.2.1. Methode NATERMANN

Bei dem Verfahren nach NATERMANN (1951) wird der unterirdische Abfluß Au (Quellwasser und seitlich zuströmendes Grundwasser) dadurch ermittelt, daß die Tiefpunkte bzw. Trockenwetterpunkte der Gesamtabflußganglinie durch eine Au-Linie miteinander verbunden werden (Abb. 13). Die ausplanimetrierte Fläche unter der Au-Linie ergibt den unterirdischen Abfluß in m^3 pro Zeiteinheit oder die unterirdische Abflußhöhe in mm bezogen auf das unterirdische Einzugsgebiet.

Dieses Verfahren bereitet aber Schwierigkeiten, wenn über einen längeren Zeitraum reichlich Niederschlag fällt und somit kein echter Trockenperiode-Tiefpunkt entsteht. In diesen Fällen konnten aber gemessene Quellschüttungen im gleichen Einzugsgebiet herangezogen werden, da sie etwa die gleichen Schwankungen zeigen wie der unterirdische Abfluß.

Bei der Methode nach NATERMANN wird allerdings nur der Teil des unterirdischen Abflusses erfaßt, der oberhalb der Pegelstelle in den Vorfluter eintritt, nicht dagegen Wasser, das unterirdisch aus dem Untersuchungsgebiet abströmt.

Für das Gebiet der Horloff bis zum Pegel Friedrichshütte ergab sich folgender unterirdischer Abfluß:

1967	Au = 134,8 mm
1968	Au = 173,4 mm
1969	Au = 104,8 mm.

3.9.2.2. Methode WUNDT

Nach WUNDT (1958) ist der mittlere unterirdische Abfluß (mittlerer Niedrigwasserabfluß MNQ) eines Jahres gleich dem Quotient aus der Summe der Niedrigwasserabflüsse der Monate und der Anzahl der Einzelmonate,

$$\text{also} \quad \text{MNQ} = \frac{\sum \text{NQ}}{n}$$

Für den Pegel Friedrichshütte ergaben sich dabei folgende Werte:

1967	MNQ = 135 mm
1968	MNQ = 173 mm
1969	MNQ = 102 mm.

Daraus ist zu ersehen, daß beide Methoden praktisch dieselben Werte liefern. Da die Methode nach WUNDT aber einen erheblich geringeren Zeitaufwand benötigt, wurde im folgenden der unterirdische Abfluß nur nach diesem Verfahren bestimmt.

3.10. Aktuelle Verdunstung

3.10.1. Verdunstung aus langjährigen Niederschlags- und Abflußmessungen

Im Untersuchungsgebiet existieren für größere Areale nur zwei Pegel mit langjährigen Aufzeichnungen und zwar Friedrichshütte und Hungen GF.

Aus der Wasserbilanz für lange Zeiträume

$$\text{Niederschlag (N)} = \text{Verdunstung (V)} + \text{Abfluß (A)}$$

läßt sich die aktuelle Verdunstung (V) berechnen.

Danach ergeben sich für die zwei genannten Einzugsgebiete folgende Durchschnittswerte:

Tab. 4. Beziehung zwischen Niederschlag (N), Abfluß (A) und Verdunstung (V) an den Horloffpegeln „Friedrichshütte“ und „Hungen Geol. Forschungsstelle“

Jahr	Friedrichshütte			Jahr	Hungen Geologische Forschungsstelle		
	N mm	A mm	V mm		N mm	A mm	V mm
1963	802	240	562	1963	705	171	534
1964	567	226	341	1964	483	94	389
1965	1102	356	746	1965	904	192	712
1966	1121	386	735	1966	951	292	659
1967	1024	391	633	1967	889	236	653
1968	1062	447	615	1968	968	251	717
1969	683	257	426	1969	676	149	527
M =	908	329	579	M =	796	197	599

3.10.2. Verdunstung aus Lysimetermessungen

Im Arbeitsgebiet selbst sind keine Lysimeter vorhanden. An seinen Grenzen aber werden sieben Meßstellen vom Deutschen Wetterdienst bzw. dem Hessischen Landesamt für Gewässerkunde betrieben.

In den Tab. 5 und 6 sind die Ergebnisse dieser Messungen dargestellt. Die Zusammenstellung zeigt, daß die auf diese Weise ermittelten Verdunstungswerte von Ort zu Ort erheblich schwanken und schon aus diesem Grunde keinesfalls repräsentativ für größere Flächen sein können.

Auch die Werte, die mit POPOFF-Lysimetern in den Jahren 1953 und 1954 in höheren Abschnitten des Horlofftals vom WWI ermittelt wurden (Tab. 7) sind unbrauchbar, da nach diesen Messungen die Verdunstung in den hohen Lagen des Vogelsberges größer wäre, als in den niederen. Nach den Werten der Lysimeter 3 und 10, die beide in Wiesen angelegt waren, würde so z. B. die Verdunstung im Jahre 1954 in 505 m über NN 695,1 mm und in 265 m über NN nur 473,9 mm betragen. Diese Zahlen sind sicherlich dadurch bedingt, daß der oberirdische Abfluß, der besonders an dem Lysimeter 3 mit einem Niederschlagswert von 1003,8 mm geherrscht haben muß, nicht berücksichtigt wurde.

Tab. 5. Lysimeterwerte aus dem westl. Vogelsberg * (N = Niederschlag, S = Sickerung, Angabe in hydrologischen Jahren)

Station	1968			1969			Bodentyp	Bodenart	Bewuchs
	N mm	S mm	N—S mm	N mm	S mm	N—S mm			
1) Bobenhausen	1002,0	13,2	988,8	683,3	7,1	676,2	Braunerde	schluffiger Lehm	Weide
2) Weitershain	809,3	622,2	187,1	576,8	353,7	223,1	Pseudogley- Para- braunerde	feinsandiger Lehm	Weide
3) Münzenberg	—	—	—	430,7	295,6	135,1	podsolige Braunerde über Hanggley	Sand über Feinsand	Acker
4) Eichelsachsen	1118,3	562,1	556,2	695,4	274,2	421,2	Braunerde- Pseudogley	feinsandiger Lehm über Lehm	Weide
5) Gedern	1049,6	673,4	376,2	752,4	428,7	323,7	Braunerde- ranker	stein- und blockhaltiger Lehm	Weide
6) Ossenheim	702,9	259,5	443,4	522,4	162,9	359,5	Braunerde über Braunlehm	feinsandiger Lehm	Acker

*) Die Werte wurden mir freundlicherweise von Herrn Oberregierungsrat Dr. KLAUSING, Hess. Landesamt für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung, zur Verfügung gestellt.

Tab. 6. Lysimeteranlage Gießen des Deutschen Wetterdienstes *

(Bodenart: Löß, a = unbewachsen, b = unter Gras, Angabe in hydrologischen Jahren)
(Sickerwasser wird in 2 m unter Geländeoberkante aufgefangen)

Jahr		N mm	S mm	N — S mm
1965	a)	905,4	360,7	544,7
	b)	905,4	273,1	632,3
1966	a)	860,6	545,4	315,2
	b)	860,6	381,5	479,1
1967	a)	837,0	384,1	452,9
	b)	837,0	341,6	495,4
1968	a)	783,1	433,1	350,0
	b)	783,1	307,1	476,0
1969	a)	547,9	190,5	357,4
	b)	547,9	165,5	382,4

Tab. 7. Beobachtungen des WWI mit Topflysimetern nach POPOFF (N = Niederschlag, G = Sickerung, Angabe in hydrologischen Jahren)

Station	1953			1954			Höhenlage über NN	Bestand
	N mm	S mm	N—S mm	N mm	S mm	N—S mm		
1	928,2	314,7	613,5	1019,4	428,5	590,9	540	Fichten, 15- und 70jährig
2	911,9	285,2	626,7	1014,3	432,3	582,0	520	Fichtenjungwuchs mit Gras bewachsen
3	898,8	230,6	668,2	1003,8	308,7	695,1	505	Wiesen mit wenig Ackerland
4	824,0	280,8	543,2	859,0	164,7	694,3	400	Buchen, 90- bis 100jährig
5	824,0	362,8	461,2	859,0	339,7	519,3	400	Fichten, 50jährig
6	866,7	317,9	548,8	876,9	308,9	568,0	400	Wiesen mit wenig Ackerland
7	792,0	248,1	543,9	795,0	123,2	671,8	320	Buchen, 90- bis 120jährig
8	811,3	292,9	518,4	790,3	188,0	602,3	320	Buchen, 90- bis 120jährig
9	805,6	252,6	553,0	765,6	165,8	599,8	270	Buchenjungwuchs, 10- bis 15jährig
10	805,3	250,6	554,7	765,4	291,5	473,9	265	Wiesen mit wenig Ackerland

3.11. Potentielle Verdunstung

3.11.1. Allgemeines

In vielen Gebieten fehlen ausreichend lange hydrologische Meßreihen. Deshalb hat man schon seit langem versucht, die Verdunstung aus meteorologischen Daten zu bestimmen, da diese oft in genügender Anzahl vorhanden sind. Sie bieten außerdem den Vorteil, die Verdunstung für kurze Zeiträume bestimmen zu können, was mit Pegelmessungen nicht möglich ist, da die Werte für Rücklage und Aufbrauch des Wassers nicht bekannt sind. Bei der Berechnung der Verdunstung auf diese Art muß aber der Boden ständig genug Wasser für die Evatranspiration enthalten.

*) Die Werte sind in den Agrarmeteorologischen Monatsberichten für den Raum Gießen veröffentlicht.

In Mitteleuropa kann in Naßjahren die potentielle Verdunstung gleich der aktuellen gesetzt werden, dagegen verdunstet in Trockenjahren weniger als die potentielle Verdunstung angibt.

Da nach UHLIG (1954) die komplizierten Formeln von ALBRECHT (1962) sowie THORNTHWAITTE & MATHER (1957) zur Berechnung der potentiellen Verdunstung zu ähnlichen Resultaten führen wie die Formel von HAUDE, wurde hier die letztere wegen ihrer relativen Einfachheit benutzt.

Bei dem Verfahren von HAUDE (1954, 1963) wird die potentielle Verdunstung, der Verdunstung einer Grasfläche mit hohem Wasserstand angepaßt. Nach DAMMANN (1965) in EINSELE et al. (1969) hat sich die HAUDE-Formel in unserem Klimabereich sehr gut bewährt. Danach weichen die nach HAUDE berechneten Mittelwerte meist nur 2 — 3 % von der aktuellen Verdunstung ab, die aus Pegelmessungen bestimmt wurde.

Nach HAUDE wird die tägliche Verdunstung nach folgender Formel bestimmt:

$$V_p = V_{pot} = f \times d_{14}$$

d_{14} = tägliches Sättigungsdefizit um 14.00 Uhr
 f = Proportionalitätsfaktor, abhängig von der Jahreszeit

Tab. 8. Proportionalitätsfaktoren zur Verdunstungsformel von HAUDE

März	April-Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.-Febr.
f 0,33	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,26

3.11.2. Meßstationen und Flächenaufteilung des Untersuchungsgebietes

Im Arbeitsgebiet wird die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit durch Thermohygrographen an den folgenden Stationen aufgezeichnet: Bg. 15 (Nr. 6), Bg. 14 (Nr. 23), Schotten, Kiliansherberge, Hungen Drei Teiche und Hungen GF (Abb. 12). Davon wurde die Station Schotten, da sie schon außerhalb des Niederschlagsgebietes der Horloff liegt, nur zur Ergänzung der Meßlücken von Station Bg. 14 (Nr. 23) benutzt.

Kiliansherberge und Hungen Drei Teiche wurden nur für 1 1/2 Jahre beobachtet.

In diesem Zeitraum wurden aus Bg. 14 (Nr. 23) und Kiliansherberge sowie Hungen Drei Teiche und Hungen GF die Mittelwerte gebildet, da diese Stationen ungefähr gleich hoch über NN liegen.

Um die Verdunstungswerte der Einzelstationen auf die verschiedenen Einzugsgebiete übertragen zu können, war es notwendig, die Höhenabhängigkeit der potentiellen Verdunstung zu berücksichtigen. Es wurden deshalb für die entsprechenden Einzugsgebiete die Flächenanteile unter 250 m, 250 — 450 m und über 450 m über NN ermittelt und dafür die Verdunstungswerte der entsprechenden Stationen eingesetzt.

Tab. 9. Geltungsbereich der verschiedenen Verdunstungsmeßstationen

Höhenlage in m über NN	Station	Seehöhe der Station m
unter 250	Hungen GF	138
	Hungen Drei Teiche	160
250 — 450	Bg. 14 (Nr. 23)	415
	Schotten	293
	Kiliansherberge	388
über 450	Bg. 15 (Nr. 6)	534

Die Werte der potentiellen Verdunstung für die Jahre 1967 bis 1969 sind für die maßgebenden Stationen auf Tab. 10 dargestellt.

Tab. 10. Jahres- und Halbjahreswerte der potentiellen Verdunstung nach HAUDE im Untersuchungsgebiet (Wi = Winter, So = Sommer)

Hydrologisches Jahr	Bohrung 15 534 m über NN			Bohrung 14 415 m über NN			Hungen GF 138 m über NN		
	Wi mm	So mm	Jahr mm	Wi mm	So mm	Jahr mm	Wi mm	So mm	Jahr mm
1967	85,0	308,0	393,0	116,0	394,4	510,4	148,1	452,9	601,0
1968	92,0	229,8	321,8	120,7	263,3	384,0	175,7	382,2	557,9
1969	86,9	199,0	285,9	89,8	352,9	442,7	100,3	418,2	518,5

3.11.3. Korrektur der potentiellen Verdunstung

Da in Trockenjahren alles verfügbare Bodenwasser verbraucht ist und es zeitweise zu keiner Verdunstung kommen kann, muß die potentielle Verdunstung korrigiert werden. Es wird hier der Korrekturfaktor benutzt wie er von EINSELE et al. (1969) vorgeschlagen wurde.

Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1970) spricht man in der Bodenkunde von einem maximalen Haftwassergehalt oder auch der Feldkapazität. Man versteht darunter die Wassermenge, die ein Boden auf Grund seines Aufbaues nach dem Sickerungsvorgang gegen die Wirkung der Schwerkraft noch halten kann.

Ein anderer Begriff der Bodenkunde ist der permanente Welkepunkt (PWP), d. h. der Restwassergehalt des Bodens, oberhalb einem pF-Wert von 4,5, den die Pflanzen wegen fehlender Saugspannung nicht mehr nutzen können. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten wird nach UHLIG (1956) in EINSELE et al. (1969) maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte genannt.

Der größte Teil der Böden des Arbeitsgebietes wird nun von einem Lockergestein aufgebaut, das im Mittel wie folgt zusammengesetzt ist:

0,3 %	Kies
9,7 %	Grobsand
40,8 %	Feinsand
29,4 %	Schluff
19,8 %	Ton.

In der Bodenkunde wird eine Bodenart dieser Zusammensetzung als „sandiger Lehm“ bezeichnet. Diese Lehm Böden haben im allgemeinen günstige physikalische und chemische Eigenschaften. Sie besitzen ein gutes Wasserleitvermögen und ein mittleres Wasserhaltevermögen.

Als mittleres Trockenraumgewicht wurde für dieses Material $1,38 \text{ Mp/m}^3$ bestimmt. Im Frühjahr und Herbst betrug der Wassergehalt dieses sandigen Lehms $25,9 \%$ bezogen auf das Trockengewicht oder $35,8 \text{ Vol.}\%$.

Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1966) liegt der permanente Welkepunkt für einen Boden, der ca. 20% Ton enthält, bei $18 \text{ Vol.}\%$. Aus diesen beiden Grenzwassergehalten läßt sich somit die maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte zu $35,8 - 18 = 17,8 \text{ Vol.}\%$ bestimmen.

Wenn man annimmt, daß die Pflanzenwurzeln die Bodenfeuchte bis in 1 m Tiefe ausnutzen, ergibt sich daraus ein Wasservorrat von 178 mm . Einen ähnlichen Wert mit 175 mm gibt UHLIG (1956) bis in $1,60 \text{ m}$ Tiefe für einen unbewachsenen sandigen Lehm an. Man kann also für einen sandigen Lehm mit einem Korrekturfaktor von 175 mm als maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte rechnen.

Es ergab sich aber nun, daß für die drei untersuchten Jahre $1967 - 1969$ eine Korrektur (Abzug der Differenz von Niederschlagsdefizit und maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte von der potentiellen Verdunstung) nicht nötig war, da das Niederschlagsdefizit 100 mm nicht überschritt. Daraus ist zu folgern, daß im Arbeitsgebiet für die drei untersuchten Jahre die potentielle Verdunstung etwa gleich der aktuellen Verdunstung war.

3.11.4. Unproduktive Verdunstung (Interception)

Unter Interception versteht man die Niederschlagsmenge, die durch das Kronendach der Bäume oder andere oberirdische Vegetationsformen zurückgehalten wird und verdunstet. Zahlenmäßig ist sie die Differenz des im Freien und unter der Waldvegetation gemessenen Niederschlages, berichtigt um die an den Baumstämmen zur Erde abfließende Wassermenge (Stammabfluß).

Auf den Tab. 11 und 12 sind die Interceptionswerte für einen Buchenwald und einen Fichtenaltbestand an der Station Kiliansherberge und einem Fichtenjungwald bei Station Jägerhaus dargestellt. Aus diesen Tabellen kann man ablesen, daß der Winter durchweg eine Herabsetzung der Interception bringt. Diese ist bei Laubwald auf das Fehlen der Belaubung, bei Nadelwald auf die nur eine geringe Verdunstung zulassende, hohe relative Luftfeuchtigkeit, die über diesen Beständen herrscht, zurückzuführen.

Wenn auch durch die in einer Vergrößerung der Interceptionsoberfläche sich auswirkende Zurückhaltung von Schnee (besonders bei Nadelwald) und durch den Fortfall des Stammabflusses recht günstige Bedingungen für die Interception gegeben sind, so gelangt in Gebieten mit häufigem Tauwetter, wie dies im Vogelsberg der Fall ist, doch der größte Teil des Schnees als Schmelzwasser zum Boden. Bei übermäßiger Belastung der Bäume durch aufliegende Schneemassen werden der Interception außerdem größere Schneemengen durch Abrutschen auf den Boden, wie dies im Untersuchungsgebiet recht häufig zu beobachten ist, entzogen.

Tab. 11. Freilandniederschlag N_F und Menge des durch die Kronen getropften Wassers N_K in Buchen- und Fichtenbeständen, Station: Kiliansherberge 395 m über NN

Periode	1968					1969				
	N_F Freiland mm	N_K				N_F Freiland mm	N_K			
		Buchen mm	%	Fichten mm	%		Buchen mm	%	Fichten mm	%
November	84,7	62,4		63,5		26,7	16,8		16,7	
Dezember	121,8	85,5		93,0		30,0	21,0		18,6	
Januar	113,7	98,9		90,1		60,1	42,8		44,0	
Februar	76,3	56,6		51,0		65,7	52,2		42,5	
März	51,9	41,2		27,1		44,9	29,8		29,3	
April	57,7	42,0		37,7		75,9	50,3		36,4	
Winter	506,1	386,6	76,4	362,4	71,6	303,3	212,9	70,4	187,5	61,9
Mai	56,9	33,0		25,0						
Juni	100,4	77,3		64,8						
Juli	85,6	61,3		56,8		k. M.	k. M.		k. M.	
August	110,1	78,9		68,0						
September	121,9	82,1		82,0						
Oktober	85,7	64,3		62,7						
Sommer	560,6	396,9	70,7	359,3	63,9					
Jahr	1 066,7	783,5	73,4	721,7	67,7					

Tab. 12. Freilandniederschlag N_F und Menge des durch die Kronen getropften Wassers N_K in Buchenbeständen, Station: Jägerhaus 257 m über NN

Periode	1968		%	1969		
	Freiland N_F mm	Buchen N_K mm		von N_F	Freiland N_F mm	
November	62,8	60,4		23,7	k. M.	
Dezember	107,8	76,0		48,4	43,4	
Januar	102,6	83,7		52,8	42,8	
Februar	85,6	63,3		39,3	36,6	
März	61,7	41,8		33,1	27,9	
April	75,1	58,2		61,0	52,9	
Winter	515,6	383,4	74,4	258,3	202,7	(5 Monate)
Mai	44,4	28,6		62,6	47,3	
Juni	99,5	62,6		80,5	69,0	
Juli	93,5	71,4		47,5	k. M.	
August	128,9	90,5		175,9	k. M.	
September	127,5	86,5		16,0	k. M.	
Oktober	75,3	53,6		8,6	k. M.	
Sommer	569,1	393,2	69,2	391,1	116,3	(2 Monate)
Jahr	1 084,7	776,6	71,6	649,4	319,0	

Die während der Wintermonate hier häufiger auftretenden Nebelniederschläge wirken sich gleichfalls negativ auf die Interception aus. Dieser Effekt zeigt sich auch deutlich in dem geringen Unterschied zwischen Winter- und Sommerinterception bei Fichtenbeständen, wie dies bereits von BURGER (1932) festgestellt und von DELFS (1955) bei Untersuchungen im Harz gefunden wurde. Die Interception von Laub- und Nadelwald erreicht im Sommer, wenn auch in den einzelnen Monaten des Halbjahres stärker schwankend, die größeren Werte.

Im Jahre 1968 wurden an der Kiliansherberge bei Buchen 26,6 %, bei Fichten 32,3 %, am Jägerhaus bei Buchen 28,4 % Interception, bezogen auf den Gesamtjahresniederschlag, beobachtet. Da aber auch hier die Meßreihe nur kurz und nur an zwei Stationen gemessen wurde, konnte auch die Interception bei der Wasserbilanz nicht berücksichtigt werden. Wahrscheinlich ist aber das Fehlen dieses Faktors in der Wasserhaushaltsrechnung nicht schwerwiegend, da der Niederschlagsverlust durch Interception wenigstens zum Teil wieder durch den zusätzlichen Niederschlag durch Nebel ausgeglichen wird. Ein Vergleich des Winterhalbjahres 1969 an der Station Kiliansherberge ergab dabei folgende Werte: Niederschlagsverlust durch Interception (Mittelwert aus Buchen- und Fichtenbeständen) 34 %, zusätzlicher Niederschlag durch Nebel 30 %.

3.12. Grundwasserneubildung

3.12.1. Allgemeines

In der angewandten Hydrologie ist die Bestimmung der Grundwasserneubildung heute eine der wichtigsten Aufgaben, da in einem Einzugsgebiet auf die Dauer nur soviel Wasser gefördert werden kann wie dem Grundwasserleiter aus den Niederschlägen zugeführt wird. Die Grundwasserneubildung ist aber für ein bekanntes Einzugsgebiet mit einem bestimmten Gesteinsaufbau keine Konstante, sondern der Wert ändert sich mit den klimatischen Verhältnissen und sogar der Grundwasserentnahme.

3.12.2 Bestimmung der Grundwasserneubildung aus Lysimetermessungen

Aus den Tab. 5 und 6 sind die Jahreswerte der Sickerung (Grundwasserneubildung) für die Jahre 1968 und 1969, für fünf Stationen im westlichen Vogelsberg, sowie für die Jahre 1965 — 1969 für Lysimeter Gießen zu entnehmen. Bei diesen Jahreswerten fallen die großen Schwankungen der Sickermenge auf. So versickert im Lysimeter Bobenhausen praktisch überhaupt kein Niederschlag, während im Lysimeter Weitershain dreiviertel der Niederschlagsmenge versickert, obwohl beide Lysimeter sehr ähnliche Böden enthalten.

Bei der Bildung von langjährigen Mitteln glätten sich zwar manche Unregelmäßigkeiten der Jahreswerte, aber die Schwankungen verschiedener Lysimeter sind immer noch so groß, daß sie nicht allein auf Standort- und Vegetationsunterschiede zurückgeführt werden können.

Nach den hohen Versickerungsraten von Lysimeter Weitershain würde so z. B. die Gebietsverdunstung nur 187 bzw. 223 mm pro Jahr betragen. Diese Werte stimmen

jedoch nicht mit den sonstigen Kenntnissen über die Landesverdunstung überein (DAMMANN 1965, Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Nidda, 1969). Es fällt weiterhin auf, daß die Versickerung in dem Trockenjahr 1969 relativ hoch ist. In diesem Jahr müßte aber die Verdunstung wegen der höheren Jahrestemperatur besonders groß sein.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch mit Topf-Lysimetern nach POPOFF gemacht, die in den Jahren 1953 und 1954 vom WWI im höher gelegenen Einzugsgebiet der Horloff durchgeführt wurden. Bei diesen Untersuchungen wurde der Niederschlag neben den jeweiligen Lysimetern, also innerhalb der Bestände gemessen. Die Ergebnisse sind auf Tab. 7 dargestellt. Danach wären bei Lysimeter 4 im Jahre 1953 280,8 mm und bei Lysimeter 5 362,8 mm versickert. Im Jahre 1954 waren es bei Lysimeter 4 sogar nur 164,7 mm und bei Lysimeter 5 339,7 mm; demnach ein Unterschied von 175,0 mm, obwohl beide Stationen in 400 m über NN angelegt waren und dieselbe Niederschlagsmenge erhielten.

Interessanterweise müßten die Sickerwassermengen gerade umgekehrt sein, denn die Station 4 war in einer gut durchlässigen, nicht erodierten 6 — 10 dm mächtigen Parabraunerde mit einem 45 cm starken Al-Horizont, Station 5 aber in einem schlecht wasserdurchlässigen Pseudogley angelegt. Dies hängt wohl damit zusammen, daß der Bodenmonolith bzw. der gestört eingebrachte Boden zu geringmächtig ist, um die natürlichen Verhältnisse nachzuahmen, da das Wasser in 1,50 m unter Gelände, bei den POPOFF-Lysimetern sogar nur in 0,25 m unter Gelände, aufgefangen wird (Ausnahme bilden die Lysimeter in Gießen, wo dies erst in 2 m unter Gelände geschieht). Im ungestörten Boden kann es dagegen noch in tieferen Bodenschichten festgehalten und bei Bedarf über die Pflanzenwurzeln zur Verdunstung gebracht werden. Schließlich ist die Versickerungsfläche der meisten Lysimeter zu klein, denn sie beträgt bei den Lysimetern des Hess. Landesamtes für Gewässerkunde 0,785 m², bei den Topflysimetern nur 500 cm². Aus diesem Grunde können schon nach EINSELE et al. (1969) geringe Unebenheiten der Bodenoberfläche oder Unregelmäßigkeiten in der Verteilung des Bewuchses (Zu- oder Ableitung von Niederschlagswasser über Pflanzenteile) erhebliche Abweichungen von Mittelwerten verursachen.

3.12.3. Berechnung der Grundwasserneubildung aus der erweiterten Wasserbilanz

Die Wasserhaushaltsgleichung

$$N = A + V \quad (1)$$

gilt nur für lange Zeiträume. Für kurze Beobachtungszeiten muß sie erweitert werden. Dann gilt die Gleichung

$$N = A + V + (R - B) \quad (2).$$

Hier bedeuten R = die Rücklage und B = den Aufbrauch von Grundwasser. Da diese Werte aber meistens auch nicht erfaßt werden können, muß die Formel nochmals erweitert werden. Im folgenden wird der Ausdruck $R - B = S$ gesetzt. A, V und S werden weiterhin nach EINSELE et al. (1969) folgendermaßen aufgliedert:

$$A = A_o + A_u \quad \begin{array}{l} A_o = \text{oberirdischer Abfluß} \\ A_u = \text{unterirdischer Abfluß (abfließendes Grund- und Quellwasser,} \\ \quad \text{das an der Pegelstelle voll erfaßt wird)} \end{array}$$

$$V = V_o + V_u \quad \begin{array}{l} V_o = \text{Verdunstungsanteil aus Niederschlag und Bodenwasser} \\ V_u = \text{Verdunstung von Grundwasser auf dem tieferen Untergrund} \end{array}$$

$$S = S_o + S_u \quad \begin{array}{l} S_o = \text{Vorratsänderung in der durchwurzelten Bodenzone} \\ S_u = \text{Vorratsänderung im tieferen Untergrund} \end{array}$$

Die Wasserhaushaltsgleichung lautet dann:

$$N = A_o + A_u + V_o + V_u + S_o + S_u \quad (3).$$

Setzt man die Vorratsänderung im tieferen Untergrund

$$S_u = I_u - A_u - V_u$$

(I_u = Infiltration in den tieferen Untergrund für eine bestimmte
Zeitspanne) = Grundwasserneubildung

so geht die Gleichung (3) über in

$$N = A_o + A_u + V_o + V_u + S_o + I_u - A_u - V_u$$

$$\text{oder} \quad N = A_o + V_o + S_o + I_u \quad (4).$$

Von diesen Gliedern der Gleichung ist I_u gesucht. A_o wird nach dem Verfahren von NATERMANN oder über die Methode nach WUNDT bestimmt. V_o und V_u sind für größere Flächen außerordentlich schwer zu bestimmen.

Da aber der Grundwasserspiegel im Arbeitsgebiet meist unter dem Wurzelbereich der Pflanzen liegt, kann nach EINSELE et al. (1969) V_u vernachlässigt werden. Dann wird V_o = V = aktuelle Verdunstung, da im Arbeitsgebiet für den untersuchten Zeitraum die potentielle Verdunstung gleich der aktuellen Verdunstung gesetzt werden kann. Da weiterhin der Wassergehalt im durchwurzelten Boden am Anfang und Ende eines Jahres meistens gleich ist, wird S_o = 0 und die Bilanzgleichung vereinfacht sich zu

$$N = V_p + A_o + I_u \quad (5)$$

oder Rücklage im tieferen Untergrund (Versickerung zum Grundwasserleiter, Grundwasserneubildung)

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

Im folgenden wird ausschließlich mit der Gleichung (6) gearbeitet, da hier nur drei Größen in die Rechnung eingehen.

Wo langjährige Abflußmessungen zur Verfügung stehen, kann natürlich auch auf die etwas erweiterte Gleichung (1) zurückgegriffen werden:

$$\begin{array}{l} N = V + A_o + A_u \quad \text{oder} \\ A_u = N - V - A_o \end{array} \quad (7).$$

Da sich die Gleichungen (6) und (7) entsprechen, kann

$$I_u = A_u \quad (8)$$

gesetzt werden. Durch langjährige Messung des unterirdischen Abflusses A_u einschließlich des im Einzugsgebiet geförderten Grundwassers kann also direkt die Grundwasserneubildung bestimmt werden. Die Exaktheit dieser Bestimmung hängt dann allein von der Erfassung des unterirdischen Abflusses ab.

Will man nun die während einer Meßperiode im Untergrund gespeicherte oder aufgebrauchte Wassermenge berechnen, so ist von der Grundwasserneubildung I_u der unterirdische Abfluß abzuziehen.

$$\text{Vorratsänderung } S_u = I_u - A_u \quad (9).$$

Grundwasser, das im Einzugsgebiet gefördert und dem Vorfluter vollständig zugeführt wird, beeinflusst diesen Rechnungsgang nicht. Es wird einerseits der Speicherung entzogen, andererseits aber dem unterirdischen Abfluß hinzugefügt.

$$S_u - G = I_u - (A_u + G) \quad (G = \text{Fördermenge})$$

daraus wird wieder:

$$S_u = I_u - A_u.$$

Es stellt sich nun die Frage, wie groß ist die Grundwasserneubildung und wie groß ist die Wassermenge, die im Wasserwerk Inheiden auf die Dauer entnommen werden kann.

Ich möchte im folgenden die Grundwasserneubildung des gesamten Einzugsgebietes aus der Grundwasserneubildung verschiedener Teileinzugsgebiete entwickeln (Tab. 13 — 15).

Wie wir im Kap. 3.2 (Tektonik) gesehen haben, wird das Einzugsgebiet der Horloff kurz oberhalb des Pegels Friedrichshütte von einer großen N — S verlaufenden Störungszone gequert, die für das Wasser, das unterirdisch aus dem höher gelegenen Einzugsgebiet der Horloff abfließt, ein Hindernis bildet.

Dies bedeutet, daß das Wasser nur sehr schlecht unterirdisch abfließen kann, wodurch es gezwungen wird, aufzusteigen und in den Vorfluter überzutreten. Daher mißt man an dem flußabwärts gelegenen Pegel einen erheblich erhöhten Abfluß. Dies geschieht aber auch nur dann, wenn der Stauraum oberhalb der Störung aufgefüllt ist.

Betrachtet man nun die dem unterirdischen Abfluß entstammende Wassermenge an den Pegeln Friedrichshütte und Ruppertsburg untere Brücke, so sieht man, daß im Mittel aus den Jahren 1967 — 1969 am Pegel Friedrichshütte aus einem Gebiet von 34,6 km² 153 l/s und am Pegel Ruppertsburg aus 41,7 km² 235 l/s abgeflossen sind. Daß dieser Zuwachs von 82 l/s nicht aus einem Bereich von 7 km² erfolgen kann, liegt auf der Hand.

In diesem Gebiet von 7 km² wurden im selben Zeitraum von 1967 — 1969 die Bäche an der Laubacher Straße (Nr. 22) und in der Wolfsgrube (Nr. 23) beobachtet (Abb. 13 und Tab. 13 — 15).

Diese beiden Bäche haben ein Einzugsgebiet von 2,9 km² und eine dem unterirdischen Abfluß entstammende Wasserführung von 9,6 l/s. Aus einer einfachen Rechnung ergibt sich nun, daß aus dem Gebiet von 7 km² ein unterirdischer Abfluß von höchstens 23 l/s erfolgen kann. Das bedeutet, daß die Differenz von 59 l/s aus dem Einzugsgebiet der Horloff kommen muß, das oberstrom der Störungszone liegt.

Betrachten wir die Entwicklung der Grundwasserneubildung weiter, so stellen wir fest, daß der unterirdische Abfluß von 235 l/s an der Meßstelle Ruppertsburg auf 221 l/s am Pegel Villingen sinkt, obwohl sich das Einzugsgebiet um 13,9 km² vergrößert. Bis zur Meßstelle Hungen GF geht der unterirdische Abfluß sogar auf 212 l/s zurück, obwohl die Gebietsvergrößerung 44,6 km² beträgt.

In demselben Gebiet steigt aber die Grundwasserspeicherung von 3,7 Mio m³ bei Ruppertsburg über 7,4 Mio m³ bei Villingen auf 10,3 Mio m³ bei Hungen.

Das bedeutet, daß in diesem Gebiet eine starke Versickerung stattfinden muß.

Ein Blick auf die Grundwassergleichenkarte (Abb. 2) zeigt, daß sich in Richtung Hungen — Villingen — Ruppertsburg der Entnahmetrichter des WWI hauptsächlich erstreckt, was möglicherweise eine Versickerung begünstigt.

Tab. 13. Charakterisierung der Teileinzugsgebiete der Horloff (hydrologisches Jahr 1967)

Lfd. Nr.	Teileinzugsgebiete der Horloff (etwa von E nach W)	Flächenanteil am oberirdischen Einzugsgebiet in km ²				Ein-zugs-ge-biet in km ²	N-Poly-gon	Winterhalbjahr (alle Werte in mm)						Sommerhalbjahr (alle Werte in mm)						Hydrologisches Jahr					
		m u. NN		über				N	V	Ao	Au	Iu	Su	N	V	Ao	Au	Iu	Su	N	V	Ao	Au	Iu	Su
		unter 250 GF	250-450 B 14	450-1515	über 1515																				
1	Horloffquelle		0,23	0,23	1	562	85	-	155	477	322	423	308	-	16	115	99	985	393	-	172	592	420		
2	Höllerskopf		0,20	0,20	1	562	85	-	158	477	339	423	308	-	17	115	98	985	393	-	155	592	437		
3	Höhe 422,1 (S+2)	0,24	0,62	0,86	1	562	94	177	127	291	164	423	332	36	4	55	98	985	426	213	131	346	215		
4	Egelhain	0,17	0,54	0,71	1	562	92	175	132	295	163	423	329	36	3	58	55	985	421	211	135	353	218		
P 5	Höhe 408,7 (S+1)	0,43	2,03	2,46	1,2	562	90	260	346	212	-134	452	325	94	28	35	7	1015	414	354	374	247	-127		
6	Wenzelsgrund	0,75		0,75	3	578	116	149	113	513	200	533	394	21	2	113	116	1111	510	170	115	431	316		
7	Bügerhaus (S+3+6)	3,59	0,55	4,14	1,3	575	112	200	170	263	93	510	383	43	18	84	66	1084	495	243	188	346	158		
P 8	Altes Forsthaus (S+4+P5)	4,24	2,66	6,90	2,3	569	104	275	237	190	- 47	496	361	50	25	85	60	1065	465	325	262	275	13		
9	Einartshausen Süd	2,19		2,19	3,4	565	116	107	109	342	233	533	395	24	19	114	95	1098	511	131	128	456	328		
10	Einartshausen Nord	0,78		0,78	3	578	116	16	90	446	356	533	394	3	79	136	57	1111	510	19	169	582	413		
P11	Meßwehr Gontersk. (S+P8+7)	0,31	8,64	3,28	12,3	572	109	362	128	101	- 27	505	373	65	29	67	38	1077	481	427	157	169	12		
12	Lingelbach	0,22	0,62	0,84	3	578	124	102	63	352	289	533	410	12	-	111	111	1111	534	114	63	463	400		
13	Schifferbach	0,83	2,10	2,93	3,4	550	125	89	63	336	273	511	411	14	-	86	86	1061	536	103	63	422	359		
14	Einartshäuser Bach (S+9+10)	1,56	3,55	5,11	2,3,4	531	126	103	143	302	159	501	412	39	20	50	30	1032	538	142	163	352	189		
P15	Gontersk. Sportpl. Mühlg. (S+P11+12)	2,33	10,39	3,28	16,00	573	114	228	203	231	28	511	385	48	29	78	49	1085	500	276	232	309	77		
P16	Gontersk. Teiche (S+P15+13+14)	7,97	16,82	3,28	28,07	551	121	142	137	288	151	503	276	17	23	210	187	1054	522	159	160	373	213		
17	Silbach	2,32	0,34	2,66	4	457	144	40	55	273	218	441	445	15	6	- 19	- 25	898	589	55	61	254	193		
18	Volpertskopf	0,26	0,14	0,40	4	458	137	94	57	227	170	441	432	11	-	2	- 2	898	569	105	57	224	167		
19	Jagen 7	0,20	0,14	0,34	4	458	135	76	57	247	190	441	429	20	-	8	- 8	898	564	96	57	238	181		
20	Gontersk. Teiche (I+II) (S+17+18)	3,06	0,48	3,54	4	458	144	84	71	230	159	441	445	17	28	- 21	- 49	898	589	101	99	208	109		
P21	Friedrichshütte (S+P16+19+20)	13,29	18,06	3,28	34,63	532	125	217	106	190	84	492	409	39	29	44	15	1024	534	256	135	234	99		
22	Laubacher Straße	0,26	1,08	1,34	5	425	122	36	102	267	165	447	406	9	42	32	- 10	872	528	45	144	299	155		
23	Wolfgrube	1,28	0,31	1,59	5	425	142	41	58	242	184	447	401	8	22	- 2	- 24	872	583	49	80	240	160		
P24	Ruppertsburg (S+P21+22+23)	19,61	18,82	3,28	41,71	514	129	124	153	261	108	484	415	31	40	38	- 2	998	544	155	193	299	106		
P25	Villingen (S+P24)	32,71	19,60	3,28	55,59	493	133	117	114	243	129	474	423	25	29	26	- 3	967	557	142	143	268	125		
26	Wallenberg Teich	4,75		4,75	5	425	148	105	77	172	95	447	453	12	1	- 18	- 19	872	601	117	78	154	76		
27	Hubbach/Schwimmb.	11,29		11,29	5,7,8	377	148	76	66	153	87	417	453	10	3	- 46	- 49	795	601	86	69	108	39		
28	Langsdorf/Bahnw.	7,77		7,77	7,8	390	148	42	35	200	165	446	453	12	-	- 9	- 9	836	601	44	35	191	156		
29	Langsdorf/Sägew.	0,92		0,92	8	392	148	41	104	203	99	448	453	18	9	- 23	- 32	840	601	59	113	180	67		
30	Riesengrabenweg	3,06		3,06	7	324	148	-	137	176	39	385	453	-	5	- 68	- 73	709	601	-	142	108	34		
31	Rodg./Schwimmb. (S+28+29+30)	19,10		19,10	7,8	358	148	19	38	191	153	417	453	5	4	- 41	- 45	775	601	24	42	150	108		
P32	Hubbach GF (S+27+31)	31,75		31,75	7,8	363	148	100	53	115	62	416	453	6	3	- 43	- 46	779	601	106	56	72	16		
P33	Horloff GF (S+P25+26+P32)	77,24	19,69	3,28	100,21	440	140	156	43	144	101	373	436	18	19	- 81	- 100	889	576	174	62	139	77		
34	Langder Bach	9,82	0,39	10,2	4,5,6,7	393	147	31	27	215	188	423	451	7	3	- 35	- 38	815	597	38	30	180	150		
P35	Trais-Horloff-Station (S+P33+34)	94,72	20,00	3,28	118,00	428	141	143	82	144	62	444	439	14	24	- 9	- 33	872	580	154	107	138	31		

S = Fläche, die von Einzugsgebieten niedriger Ordnungsnummer noch nicht erfaßt wurde
P = Meßstelle mit Latten- oder Schreibpegel

Tab. 14. Charakterisierung der Teileinzugsgebiete der Horloff (hydrologisches Jahr 1968)

Lfd. Nr.	Teileinzugsgebiete der Horloff (etwa von E nach W)	Flächenanteil am oberirdischen Einzugsgebiet in km ²		Einzugsgebiet in km ²	N-Polygon	Winterhalbjahr (alle Werte in mm)						Sommerhalbjahr (alle Werte in mm)						Hydrologisches Jahr						
		Höhenstufen in m ü.NN				N	V	Ao	Au	Iu	Su	N	V	Ao	Au	Iu	Su	N	V	Ao	Au	Iu	Su	
		unter 250 m	über 250 m																					GF
1	Horloffquelle		0,23	0,23	1	574	92	-	121	482	361	606	230	-	42	376	334	1180	322	-	164	858	694	
2	Höllerskopf		0,20	0,20	1	574	92	-	122	482	360	606	230	-	31	376	345	1180	322	-	153	858	705	
3	Höhe 422,1 (S+2)		0,24	0,86	1	574	100	142	105	332	227	606	239	61	75	306	231	1180	339	203	180	637	457	
4	Egelhain		0,17	0,54	0,71	1	574	99	118	120	357	237	606	238	87	9	281	272	1180	337	205	129	638	509
F 5	Höhe 408,7 (S+1)		0,43	2,03	2,46	1,2	566	97	291	323	178	-145	598	236	180	63	182	119	1163	333	471	386	359	-27
6	Wenzelsgrund		0,75	0,75	3	516	121	135	93	260	167	569	263	18	4	288	284	1085	384	203	97	498	401	
7	Jägerhaus (S+3+6)		3,59	0,55	4,14	1,3	528	117	232	152	179	27	577	259	96	28	222	194	1105	376	328	180	401	221
F 8	Altes Forsthaus (S+4+P5)		4,24	2,66	6,90	1,2,3	543	110	268	199	165	-34	583	250	127	57	206	149	1126	360	395	256	371	115
9	Einartshausen Süd		2,19		2,19	2,3,4	519	121	103	103	295	192	567	263	39	26	265	239	1086	384	142	129	559	430
10	Einartshausen Nord		0,78		0,78	3	516	121	21	86	374	288	569	263	11	75	295	220	1085	384	32	161	669	508
P11	Mießwehr Gontersk. (S+P8+7)		0,31	3,28	12,23	1,2,3	535	114	389	167	32	-136	580	257	139	37	184	147	1115	372	528	204	215	11
12	Lingelbach		0,22	0,62	0,84	3	516	103	143	43	270	227	569	294	63	1	212	211	1085	429	206	44	449	405
13	Schifferbach		0,83	2,10	2,93	3,4	502	136	70	53	296	243	559	297	46	2	216	214	1062	433	116	55	513	458
14	Einartshäuser Bach (S+9+10)		1,56	3,55	5,11	2,3,4	499	137	114	131	248	117	554	300	54	22	200	178	1052	437	168	153	447	294
P15	Gontersk. Sportpl. +Kühlg. (S+P11+12)		2,33	10,39	16,00	1,2,3	530	123	266	182	141	-41	577	274	116	41	187	146	1107	397	382	223	328	105
P16	Gontersk. Teiche (S+P15+13+14)		7,97	16,82	28,07	1,2,3	513	133	142	125	238	113	566	293	90	33	183	150	1079	426	232	158	421	263
17	Silbach		2,32	0,34	2,66	4	460	169	100	44	191	147	528	367	50	11	111	100	987	536	150	55	302	247
18	Volpertskopf		0,26	0,14	0,40	4	460	156	173	45	131	86	528	341	57	21	130	109	987	497	230	66	260	194
19	Jagen 7		0,20	0,14	0,34	4	460	153	197	39	110	71	528	333	78	5	117	112	987	486	275	44	226	182
20	Gontersk. Teiche (I+II) (S+17+18)		3,06	0,48	3,54	4	460	168	150	53	142	89	528	366	54	36	108	72	987	534	249	44	204	160
P21	Friedrichshütte (S+P16+19+20)		13,29	18,06	34,63	1,2,3	502	139	193	124	170	46	560	306	81	49	173	124	1062	445	274	173	343	170
22	Laubacher Straße		0,26	1,08	1,34	4,5	430	131	46	85	253	168	564	286	32	62	246	184	994	520	98	147	376	229
23	Wolfsgrube		1,28	0,31	1,59	5	430	165	67	51	198	147	564	359	33	30	172	142	994	524	100	81	370	289
P24	Ruppertsburg (S+P21+22+23)		19,61	18,82	41,71	1,2,3	490	144	137	141	209	68	560	316	67	62	177	115	1050	461	204	203	385	182
P25	Villingen (S+P24)		32,71	19,60	55,59	1,2,3	476	151	133	104	192	88	560	331	54	34	175	141	1036	482	187	138	367	229
26	Wallenberg Teich		4,75		4,75	5	430	176	57	68	197	129	564	382	59	15	123	108	994	558	116	83	320	237
27	Hubbach/Schwimmb.		11,29		11,29	5,7,8	380	176	23	54	181	127	521	382	24	6	115	109	901	558	47	60	296	236
28	Langsdorf/Bahnw.		7,77		7,77	7,8	372	176	32	29	154	135	509	382	13	13	114	101	882	558	45	42	279	237
29	Langsdorf/Sägew.		0,92		0,92	8	374	176	78	70	120	50	510	382	35	42	93	51	884	558	113	112	213	101
30	Riesengrabenweg		3,06		3,06	7	325	176	-	72	149	77	474	382	-	37	92	55	798	558	-	109	240	131
31	Rödg./Schwimmb. (S+28+29+30)		19,10		19,10	7,8	349	176	19	36	154	118	492	382	14	14	96	82	842	558	33	50	251	201
F32	Hubbach GF (S+27+31)		31,75		31,75	5,7,8	359	176	67	42	116	74	501	382	36	9	83	74	860	558	103	51	199	148
F33	Horloff GF (S+P25+26+P32)		77,24	19,69	100,21	1,2,3	355	162	126	55	67	12	456	354	44	26	58	32	968	516	170	81	282	201
34	Langder Bach		9,82	0,39	10,21	4,5,6,7	399	174	37	24	188	154	520	378	14	11	128	117	919	551	51	35	317	282
P35	Trais-Horloff-Station (S+P33+34)		94,72	20,00	118,00	1,2,3,6,7,8	420	164	149	54	107	53	533	358	54	27	121	94	953	522	203	81	228	147

S = Fläche, die von Einzugsgebieten niedriger Ordnungsnummer noch nicht erfasst wurde
P = Meßstelle mit Latten- oder Schreihnegel

Tab. 15. Charakterisierung der Teileinzugsgebiete der Horloff (hydrologisches Jahr 1969)

Kfd. Nr.	Teileinzugsgebiete der Horloff (etwa von E nach W)	Flächenanteil am oberirdischen Einzugsgebiet in km ²				Einzugsgebiet in km ²	N-Polygon	Winterhalbjahr (alle Werte in mm)						Sommerhalbjahr (alle Werte in mm)						Hydrologisches Jahr						
		m u. NN		Höhenstufen in				N	V	Ao	Au	Iu	Su	N	V	Ao	Au	Iu	Su	N	V	Ao	Au	Iu	Su	
		unter 250 GF	250-450 B 14	über 450 B 15																						
1	Horloffquelle		0,23	0,23	1	334	87	-	79	247	168	458	199	-	27	259	232	793	286	-	106	507	401			
2	Höllerskopf		0,20	0,20	1	334	87	-	72	247	175	458	199	-	27	259	232	793	286	-	99	507	408			
3	Höhe 422,1 (S+2)	0,24	0,62	0,86	1	334	88	99	44	147	103	458	242	34	4	182	178	793	330	133	48	330	282			
4	Egelhain	0,17	0,54	0,71	1	334	88	100	49	146	97	458	236	36	4	186	182	793	323	136	53	334	281			
P 5	Höhe 408,7 (S+1)	0,43	2,03	2,46	1,2	330	83	70	183	177	-	458	226	92	61	140	79	768	313	262	244	213	-	31		
6	Wenzelsgrund	0,75	3,03	3,78	3	258	90	83	42	85	43	391	353	30	4	8	4	649	443	114	46	92	46	6		
7	Jägerhaus (S+3+6)	3,59	0,55	4,14	1,3	274	89	96	57	89	32	405	332	21	18	52	34	680	422	117	75	141	66	6		
P 8	Altes Forsthaus (S+4+P5)	4,24	2,66	6,90	1,2,3	300	89	128	105	83	-	22	432	294	54	58	84	26	732	382	182	163	168	5		
9	Einarthausen Süd	2,19		2,19	2,3,4	277	90	64	49	123	74	415	353	24	21	38	17	692	443	88	70	161	91			
10	Einarthausen Nord	0,78		0,78	3	258	90	9	83	159	76	391	353	4	79	34	-	45	649	443	13	162	193	31		
F11	Meßwehr Gontersk. (S+P6+7)	0,31	8,64	3,28	1,2,3	287	89	170	67	28	-	39	419	513	86	34	20	-	14	705	402	256	101	47	-	54
12	Lingelbach	0,22	0,62	0,84	3	258	92	55	19	111	92	391	370	17	-	4	4	649	462	72	19	115	96			
13	Schifferbach	1,83	2,10	2,93	3,4	260	93	49	26	118	92	396	371	9	2	16	14	656	464	58	28	134	106			
14	Einarthäuser Bach (S+9+10)	1,56	3,55	5,11	2,3,4	269	93	169	45	7	-	38	408	373	29	19	6	-	13	677	466	198	64	13	-	51
F15	Gontersk. Sportpl. +Mühlg. (S+F11+12)	2,33	10,39	3,28	1,2,3	280	91	144	74	45	-	29	412	331	64	27	17	-	10	692	422	208	101	62	-	38
F16	Gontersk. Teiche (S+P15+13+14)	7,97	16,82	3,28	28,07	1,2,3	273	92	105	61	76	15	409	353	43	46	13	-	33	682	446	148	107	88	-	19
17	Silba n	2,32	0,34	2,66	4	266	99	51	24	116	92	411	410	6	10	-	5	-	15	677	509	57	34	111	77	
18	Volpertskopf	0,26	0,14	0,40	4	266	97	49	19	120	101	411	395	16	-	-	-	677	492	65	19	120	101			
19	Jagen 7	0,20	0,14	0,34	4	266	96	43	21	127	106	411	391	15	2	5	3	677	487	58	23	132	109			
20	Gontersk. Teiche (I+II) (S+17+18)	3,06	0,48	3,54	4	266	99	63	59	104	45	411	409	13	30	-	11	-	41	677	508	76	89	93	4	
F21	Friedrichshütte (S+P16+19+20)	13,29	18,06	3,28	34,63	1,2,3	272	93	116	52	62	10	412	363	39	50	10	-	40	683	457	155	102	71	-	31
22	Laubacher Straße	0,26	1,03	1,34	5	255	92	19	70	144	74	466	366	11	46	89	43	721	457	30	116	234	118			
23	Wolfsgrube	1,28	0,31	1,59	5	255	98	29	33	128	95	466	405	4	20	56	36	721	504	33	53	184	131			
F24	Ruppertsburg (S+F21+22+23)	19,61	18,82	3,28	41,71	1,2,3	269	94	90	72	85	13	421	371	31	55	19	-	36	690	466	121	127	103	-	24
P25	Villingen (S+F24)	32,71	19,60	3,28	55,59	1,2,3	266	96	63	42	107	65	430	382	21	46	27	-	19	696	478	84	88	134	46	
26	Wallenberg Teich	4,75		4,75	5	255	100	59	28	96	68	466	418	21	2	27	25	721	519	80	30	122	92			
27	Hubbach/Schwimmb.	11,29		11,29	5,7,8	236	100	44	29	92	63	438	418	17	7	3	-	4	674	519	61	36	94	58		
28	Langsdorf/Bahnw.	7,77		7,77	7,8	256	100	25	14	151	117	344	418	9	2	-	83	-	85	600	519	34	16	47	31	
29	Langsdorf/Sägew.	0,92		0,92	8	257	100	37	68	120	52	343	418	25	24	-	100	-	124	599	519	62	92	18	-	74
30	Riesengrabenweg	3,06		3,06	8	214	100	-	65	114	49	410	418	-	26	-	8	-	34	624	519	-	91	105	14	
31	Rodg./Schwimmb. (S+28+29+30)	19,10		19,10	7,8	236	100	15	23	121	98	376	418	9	10	-	51	-	61	611	519	24	33	68	35	
F32	Hubbach GF (S+27+31)	31,75		31,75	5,7,8	235	100	36	16	99	83	399	418	76	7	-	95	-	102	634	519	112	23	3	-	20
F33	Horloff GF (S+P25+26+F32)	77,24	19,69	3,28	00,21	1,2,3	216	98	53	32	65	33	423	398	44	20	-	19	-	39	676	496	97	52	83	31
34	Langder Bach	9,82	0,39	10,21	4,5,6,7	229	100	18	13	111	98	416	416	4	3	-	4	-	7	645	516	22	16	107	91	
F35	Trais-Horloff-Station (S+F33+34)	94,72	20,00	3,28	18,00	1,2,3	247	98	61	33	88	55	420	401	25	24	-	6	-	30	667	499	86	57	82	25

S = Fläche, die von Einzugsgebieten niederer Ordnungsnummer noch nicht erfaßt wurde
P = Meßstelle mit Latten- oder Schreibzeigel

Hydrologie und Wasserhaushalt im oberen Horlofftal

Gleichzeitig weist die Bodenkarte (Taf. 2) für diesen Bereich in der Hauptsache gut durchlässig 0 — 3 dm bzw. 6 — 10 dm mächtige, stark erodierte Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden mit einer mittleren Durchlässigkeit aus. Wie Aufschlüsse im anstehenden Gestein in diesem Gebiet zeigen, ist der Basalt, der diese Böden unterlagert, stark klüftig, so daß hier ein Hauptregenerationsgebiet für das im WWI gepumpte Wasser zu suchen ist.

In dieser Fläche von 100,2 km² ist auch das Einzugsgebiet des Hubbaches mit 31,75 km² enthalten. In diesem stehen besonders im nordwestlichen Teil schlecht wasserdurchlässige lateritische Verwitterungsböden an oder sie liegen in geringer Tiefe unter flachgründigen Parabraunerden. Dies bedeutet, daß hier keine große Grundwasserneubildung stattfindet. Als Mittel aus den Jahren 1967 — 1969 ergeben sich folgende Werte: Von einem Niederschlag von 758 mm = 24 066 500 m³ sind 559 mm = 17 748 250 m³ verdunstet, 107 mm = 3 397 250 m³ flossen oberirdisch ab, so daß nur 2 921 000 m³ für die Grundwasserneubildung blieben. Davon flossen 1 375 727 m³ dem Vorfluter zu und nur 1 545 275 m³ wurden gespeichert.

Betrachtet man das Trockenjahr 1969 allein, so kann man feststellen, daß von 634 mm Niederschlag 519 mm verdunsteten, 112 mm oberirdisch und 23 mm unterirdisch abflossen, so daß in diesem Jahr kein Wasser gespeichert werden konnte, sondern sogar noch ein Aufbruch von 20 mm stattfand.

Für das Gesamteinzugsgebiet des WWI ergibt sich somit das folgende Bild:

- a) Das Niederschlagsgebiet der Horloff bis zum Pegel Trais-Horloff Station hat eine Größe von 125 km².
- b) Durch Ausplanimetrieren auf der Grundwassergleichenkarte ergibt sich ein rechnerisches Einzugsgebiet von nur 120 km².
- c) Da ein Gebiet von 7 km² Größe westlich des WWI keinen oberirdischen Abfluß hat und hier infolge des Entnahmetrichters der Niederschlag abzüglich der Verdunstung in den Untergrund versickert, muß dieses Gebiet besonders behandelt werden. Die Meßstelle Trais-Horloff Station erfaßt somit den oberirdischen Abfluß eines Gebietes von 125 — 7 = 118 km² und die dem unterirdischen Abfluß entstammende Wassermenge eines Gebietes von nur 120 — 7 = 113 km². Bei der Bestimmung des Niederschlages N und der Verdunstung V wurde darum auch mit 118 km² gerechnet, bei Ermittlung der Grundwasserneubildung Iu, des unterirdischen Abflusses Au und der Speicherung Su aber mit 113 km².
- d) Die drei untersuchten Jahre stellen jedoch keinen Mittelwert dar, da die aufgetretenen Unterschiede, sie sind auf den Tab. 13 — 15 für diese drei Jahre angegeben, zu groß sind.

Für den Beobachtungszeitraum betrug der Niederschlag im Mittel 831 mm. Davon sind 534 mm verdunstet und 147 mm = 557 l/s = 17 346 000 m³ pro Jahr oberirdisch abgeflossen. Die Grundwasserneubildung betrug somit 150 mm.

Hierzu muß aber noch die Wassermenge gezählt werden, die sich auf der Fläche von 7 km² westlich des WWI gebildet hat. Da in diesem Gebiet kein oberirdischer Abfluß stattfand, kann die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung gleich der

Versickerung gesetzt werden. Sie beträgt für den beobachteten Zeitraum 1967 — 1969 $N-V = 710,3 - 559,1 = 151,2$ mm oder $1\,058\,400\text{ m}^3$. Umgerechnet auf das Gesamt-Einzugsgebiet von 120 km^2 ergeben sich hieraus rund 9 mm, so daß wir mit einer Grundwasserneubildung von $150 + 9 = 159$ mm rechnen können.

Von diesen 159 mm = $19\,080\,000\text{ m}^3$ traten 81 mm in den Vorfluter über, so daß in den Jahren 1967 — 1969 eine Versickerung in den tieferen Untergrund (durch WWI gewinnbares Wasser) von $159 - 81 = 78$ mm = $9\,360\,000\text{ m}^3$ stattfand. Diese Wassermenge, die einer Förderung von 300 l/s entsprechen würde, stellt keinesfalls die Wassermenge dar, die für die Dauer in Inheiden gefördert werden kann. Das lang-jährige Mittel muß erheblich über diesem Wert liegen.

3.12.4. Berechnung der Grundwasserneubildung aus der Fördermenge von Wasserwerken

Die Bestimmung der mittleren Grundwasserneubildung aus der Fördermenge von Wasserwerken für eine Periode von mehreren Jahren beruht darauf, daß anhand von Grundwasserganglinien ein Zeitabschnitt ausgesucht wird, an dem die Grundwasserstände in den Beobachtungsrohren zu Beginn und am Ende des betrachteten Zeitraumes, jeweils gleich hoch liegen.

Die geförderte Wassermenge ergibt dann unmittelbar die gesamte Grundwasserneubildung in diesem Zeitraum, aus der das Jahresmittel berechnet werden kann.

Bei dieser Methode muß einmal die Größe des unterirdischen Einzugsgebietes bekannt sein und andererseits darf kein Wasser mehr unterirdisch abströmen. Tritt aber an morphologisch höher gelegenen Stauhorizonten ein Teil des unterirdischen Abflusses in den Vorfluter über, so muß dieser Teil zu der Fördermenge G hinzugerechnet werden.

$$I_u = G + A_u$$

Im untersuchten Zeitraum von 1961 — 1969 betrug die mittlere Förderung im WWI (Tab. 16)

$$682\text{ l/s} = 21\,212\,928\text{ m}^3/\text{Jahr} = 177\text{ mm.}$$

Tab. 16. Fördermengen des Wasserwerkes Inheiden
(hydrologische Jahre)

1961	595,8 l/s
1962	688,7 l/s
1963	722,7 l/s
1964	742,0 l/s
1965	726,0 l/s
1966	669,7 l/s
1967	630,9 l/s
1968	608,9 l/s
1969	750,0 l/s

$$6\,134,7\text{ l/s} : 9 = 682\text{ l/s}$$

$$682 \times 86\,400 \times 30 \times 12 = 21\,212\,928\text{ m}^3/\text{Jahr}$$

$$21\,212\,928 : 120\text{ km}^2 = \underline{\underline{177\text{ mm}}}$$

Da für den Pegel Trais-Horloff Station, der das gesamte Einzugsgebiet umfaßt, nur von den Jahren 1967 — 1969 Pegelaufzeichnungen vorliegen, aus denen der unterirdische Abfluß bestimmt werden kann, wurde über eine Korrelationsrechnung der unterirdische Abfluß am Pegel Horloff GF auf den Pegel Trais-Horloff Station umgerechnet.

Für das neunjährige Mittel ergab sich dabei ein unterirdischer Abfluß von $A_u = 61$ mm. Die mittlere Grundwasserneubildung würde somit $I_u = 177 + 61 = 238$ mm betragen.

Da aber im untersuchten Zeitraum der Grundwasserstand von 1969 hinter dem von 1961 zurückblieb, mußte eine Korrektur angebracht werden, derart, daß das zu viel entnommene Wasser von der obigen Grundwasserneubildung subtrahiert wurde. Zu diesem Zweck wurde ein Zeitraum ausgewählt, in dem kein Niederschlag gefallen war, so daß aus den Spiegelschwankungen der Grundwassermeßstellen und der geförderten Wassermenge in Inheiden das nutzbare Kluft- und Porenvolumen berechnet werden konnte.

Es wurden deshalb für den 1. und 31. Oktober 1969 Grundwassergleichenpläne gezeichnet und diese mit einem quadratischen Netz überdeckt. Für die Mitte dieser Quadrate, deren Kantenlänge einer Strecke von 500 m entsprach, wurde dann die Höhe des Grundwassers in m über NN bestimmt.

Aus den an diesen beiden Daten ermittelten Werten konnte der Inhalt der einzelnen Säulen und durch Summierung das Volumen des von Wasser erfüllten Gesteinskörpers errechnet werden. Die Differenz dieser beiden Volumina stellt somit das Gesteinsvolumen dar, aus dem das im WWI geförderte Wasser entnommen wurde. Aufgrund dieser Werte läßt sich nun das nutzbare Kluft- und Porenvolumen berechnen, das mit 2,54 % ermittelt wurde

Der mittlere Spiegelunterschied aller vom WWI beeinflussten Grundwassermeßstellen betrug von 1962 — 1969 1,52 m (Tab. 17).

Es wurden also für diesen Zeitraum $1,52 \text{ m} \times 0,0254 \text{ m} = 38,6$ mm Wasser, d. h. pro Jahr $38,6 : 8 \approx 5$ mm Wasser mehr entnommen, so daß die im Jahre 1962 gemessene Grundwasserspiegellage nicht wieder erreicht wurde.

Zur Berechnung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung sind somit von der Förderung einschließlich des unterirdischen Abflusses abzuziehen: $I_u = 238 - 5 = 233$ mm/Jahr. Diese 233 mm entsprechen bei einem Einzugsgebiet von $120 \text{ km}^2 = 27\,960\,000 \text{ m}^3$ oder 898 l/s. Diese Wassermenge ist aber wegen der oben beschriebenen Wirkung von Staubhorizonten in Inheiden nicht voll gewinnbar.

Im langjährigen Mittel beträgt der unterirdische Abfluß zuzüglich der Förderung des Wasserwerkes Hungen mit 10 l/s, der Firma Jackl, Hungen, mit 3,5 l/s und der MOHA Milchversorgungsbetriebe, Hungen, mit 2,5 l/s, wie wir gesehen haben, 61 mm = 235 l/s.

Hieraus ergibt sich eine Dauerentnahme für die Förderung im WWI von
 $898 - 235 = 663 \text{ l/s}$.

Die Relevanz dieses Wertes sollte aber durch künftige Betriebserfahrungen weiter überprüft werden.

Tab. 17. Jährliche Grundwasserspiegeländerungen im Einzugsgebiet des Wasserwerkes Inheiden
 (Angaben in m)

Grundwasserstandsmittel im Monat Oktober									
Meßstelle	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	Summe
121 Riesengrabenweg	-1,73	-0,57	-0,65	+1,68	+1,12	-0,27	+1,84	-0,62	+0,80
122 Langsdorf Teich	+0,33	-3,54	-1,70	+0,22	+3,09	+1,08	+1,60	-0,38	+0,73
117 Hungen km 20	-0,29	-2,31	-1,65	-0,64	+1,94	+1,09	+1,68	-1,96	-2,14
112 Hungen Drei Teiche	-0,48	-1,20	-1,36	+0,75	+1,38	+0,19	+0,68	-0,09	-0,13
95 Villingen Wallenberg	-2,90	+0,63	-2,46	+3,07	+0,24	+0,01	+1,12	-1,31	-0,60
78 Villinger Wald	+0,16	-0,01	+0,04	+0,03	+0,01	+0,01	-0,03	0	+0,21
61 Friedrichshütte	-0,15	-0,29	-0,44	+0,30	+0,49	+0,01	+0,18	-0,22	-0,12
77 Langd Steinbruch	-	-4,80	-1,76	-0,14	+3,39	+1,56	+2,76	-2,21	-1,20
99 Nonnenroth	-0,76	-4,25	-1,41	+2,91	+4,50	+0,92	+1,71	-0,97	+2,65
103 Inheiden Bahnwärter	-0,64	-3,02	-2,86	-1,32	+2,88	+2,86	-0,64	0	-2,74
208 Bellersheim	-0,82	-0,22	-0,92	+1,46	+0,31	-0,66	+1,34	-0,83	-0,34
128 Langsdorf	-0,29	-0,45	-0,65	+0,87	+0,20	-0,34	+0,42	-0,32	-0,56
91 Bohrloch 44	-1,02	-2,82	-2,82	-0,87	+2,71	+2,26	+2,24	-2,34	-2,66
101 Hungen GF	-0,65	-2,96	-2,90	-1,40	+2,85	+2,83	+1,99	-2,47	-2,71
110 Gärtnerei Frank	-0,69	-2,98	-2,79	-1,30	+2,86	+2,89	+1,92	-2,53	-2,62
116 Feldheimer See	-0,38	-1,66	-3,10	-1,14	+2,46	+0,59	+2,15	-1,37	-2,45
104h Bohrloch 42	-0,60	-3,06	-2,84	-1,27	+2,86	+2,87	+2,93	-3,64	-2,75
98 Bohrloch 37	-0,65	-3,05	-2,84	-1,32	+2,89	+2,86	+2,02	-2,72	-2,81
104g Bohrloch 40	-	-3,00	-2,84	-1,28	+2,85	+2,84	+1,92	-2,56	-2,07
104b Brunnen III	-0,62	-	-6,50	-1,05	+3,35	+3,02	+0,97	-2,38	-3,21
Brunnen XVII	+0,06	-2,29	-2,88	-1,18	+2,24	+3,93	+1,46	-2,91	-1,57
Brunnen VI	-0,64	-3,02	-2,90	-1,23	+2,93	+2,98	+1,66	-2,55	-2,77
								M =	-1,52

Die Grundwassermeßstelle VI und der Entnahmebrunnen XVII sind auf der Grundwassergleichenkarte nicht verzeichnet. Sie liegen im Brunnengarten des Wasserwerkes Inheiden.

3.13. Vergleich der Grundwasserneubildung und -speicherung verschiedener Einzugsgebiete

In den Tab. 13 — 15 sind nun für die Jahre 1967 — 1969 für alle beobachteten Teileinzugsgebiete (s. auch Taf. 1), getrennt für das Winterhalbjahr, das Sommerhalbjahr und das ganze Jahr, die Gebietsmittel des Niederschlages und der Verdunstung sowie der oberirdische und unterirdische Abfluß und die Versickerung und Speicherung dargestellt.

Außerdem sind die jeweiligen Flächenanteile der drei Stationen zur Berechnung der Gebietsverdunstung verzeichnet, sowie das Einzugsgebiet in km² und die wirksamen Niederschlagspolygone angegeben.

Bei einer Ordnung der untersuchten Wasserläufe (ausgenommen die Meßstellen in der Horloff sowie der Abflüsse der Teiche Gonterskirchen (Nr. 20) und der des Hubbaches am Pegel GF (Nr. P 32), der das Hungener Abwasser beinhaltet) kommt man unter Berücksichtigung der in diesem Gebiet vorherrschenden Bodentypen und Vegetation zu folgender Gruppierung:

3.13.1. Kleine, kurze Bäche, die ihr Wasser hauptsächlich aus Quellschüttungen erhalten

Es sind hier die Meßstellen Nr. 1 (Horloffquelle), Nr. 2 (Höllerskopfquelle) und Nr. 10 (Einartshausen Nord) im höheren Vogelsberg und Drainage Riesengrabenweg (Nr. 30) in der Wetterau, westlich Hungen, zu nennen. Horloffquelle und Höllerskopfquelle liegen beide in Fichtenwald. In ihren Einzugsgebieten sind die gut wasserlässigen Lockerbraunerden und mittelgründigen Parabraunerden verbreitet. Dies hat Höchstwerte für die Grundwasserneubildung I_u und Speicherung S_u zur Folge.

Die Meßstelle Einartshausen Nord erfaßt über die Kanalisation einen Teil des Oberflächenwassers der Gemeinde, so daß ein geringer oberirdischer Abfluß A_o vorhanden ist. Die Grundwasserneubildung variiert in den untersuchten Jahren aber sehr stark. So betrug sie 1967 582 mm, 1968 669 mm und im Trockenjahr 1969 nur 193 mm. Der unterirdische Abfluß betrug aber immer ca. 160 mm. Dies bedeutet, daß die Quellen, aus denen der unterirdische Abfluß stammt, eine sehr gleichmäßige Schüttung haben.

Das Einzugsgebiet der Meßstelle Nr. 30 (Riesengrabenweg) erhält aufgrund seiner Lage in der Wetterau eine Niederschlagsmenge, die im Mittel 250 mm niedriger ist als bei den oben beschriebenen Gebieten. Gleichzeitig nimmt aber die Verdunstung infolge der höheren Temperatur erheblich zu.

Im Einzugsgebiet dieser Meßstelle sind Parabraunerden zwischen 3 — 6 dm und > 10 dm Gründigkeit sowie Rankerböden auf Latosol der verbreitete Bodentyp (Taf. 2). Diese Latosolunterlage und der z. T. mächtige Illutionshorizont der Para-

braunerden bewirken auch in Trockenjahren einen relativ hohen unterirdischen Abfluß und damit verbunden eine stark mit der Niederschlagsmenge schwankende Grundwasserspeicherung.

3.13.2. Kleine Bäche mit mittlerem Gefälle

Diese Bäche haben generell einen relativ niedrigen oberirdischen Abfluß, aber hohe Werte für die Grundwasserneubildung und -speicherung.

Die Grundwasserneubildung ist außer von dem Bewuchs auch stark von der Durchlässigkeit der anstehenden Böden abhängig.

Die hier anzuführenden Gebiete sind: Nr. 3 (Höhe 422,1), Nr. 4 (Egelhain), Nr. 6 (Wenzelsgrund), Nr. 9 (Einartshausen Süd), Nr. 12 (Lingelbach), Nr. 18 (Volpertskopf), Nr. 19 (Jagen 7), Nr. 22 (Laubacher Straße) und Nr. 23 (Wolfsgrube). In den Einzugsgebieten all dieser Bäche sind 3 — 6 dm oder 6 — 10 dm mächtige Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden die verbreiteten Bodentypen.

Wie in Kap. 3.4 schon erwähnt wurde, haben diese Böden eine gute bis mittlere Wasserdurchlässigkeit. Da, wo aber zusätzlich schlecht durchlässige Pseudogleye vorhanden sind, z. B. im Einzugsgebiet des Lingelbaches oder dem Bach im Engelhain, liegen sie geodätisch höher als die Parabraunerden, so daß Wasser, das von den Pseudogleyen oberirdisch abfließt, auf den Parabraunerden z. T. wieder versickern kann.

3.13.3. Mittlere Bäche mit steilem Gefälle und landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet

Dieser Typ ist im Einartshäuser Bach (Nr. 14) verwirklicht. Hier sind im Oberlauf und im unteren Drittel der Talhänge schlecht wasserdurchlässige Pseudogleye und in der Bachniederung ebenfalls schlecht durchlässige Gleye verbreitet. Auf und an den höheren Partien der Hänge stehen dagegen gut wasserdurchlässige, 0 — 3 dm und 3 — 6 dm mächtige, Parabraunerden an.

Dies bedeutet, daß in Naßjahren ein relativ hoher oberirdischer Abfluß A_o herrscht, aber gleichzeitig auch die Grundwasserneubildung I_u relativ hohe Werte annimmt, während die Speicherung nur mittelmäßig ist.

Das ist darauf zurückzuführen, daß durch die Verbreitung der Pseudogleye am unteren Teil der Talhänge und der Gleye im Bachbett, Wasser, das der Schwerkraft folgend aus den Parabraunerden kommt, nicht weiter versickern kann, sondern oberirdisch abfließt.

In Trockenjahren haben wir dann ebenfalls einen hohen oberirdischen Abfluß, aber wegen des niedrigen Niederschlages eine geringere Grundwasserneubildung und oft keine Speicherung, da der in den Parabraunerden versickernde Niederschlag als A_o in Quellen wieder zu Tage tritt.

3.13.4. Mittlere Bäche mit steilem Gefälle und forstwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet

Dieser Typ wird von dem Schifferbach (Nr. 13) repräsentiert. Im Einzugsgebiet des Schifferbaches sind gut wasserdurchlässige Parabraunerden von 0 — 3 dm und 3 — 6 dm Gründigkeit und kleinere Vorkommen von Pseudogley-Parabraunerden kartiert worden.

Aus dem Zusammenwirken des Gefälles, der Vegetation und der Bodentypen ergibt sich hieraus ein relativ geringer oberirdischer Abfluß, aber sehr hohe Werte für die Grundwasserneubildung und die -speicherung.

3.13.5. Kleine und mittlere Bäche mit mittlerem Gefälle und teilweise durch hohen Grundwasserstand versumpfter Talaue

Diese Gerinne haben einen relativ hohen oberirdischen Abfluß und nur eine mittlere Grundwasserneubildung und -speicherung. Dieser Typ kann durch das Zusammenwirken ganz verschiedener Bodentypen erfolgen.

Im Silbachtal (Nr. 17) wird ein großer Teil des Einzugsgebietes von Pseudogley-Parabraunerden mit einer mittleren Wasserdurchlässigkeit eingenommen. In diese Pseudogley-Parabraunerden sind kleinere Vorkommen von 0 — 3 dm oder 3 — 6 dm mächtige Parabraunerden eingestreut. Die breite Talniederung wird dagegen von einem Gley ausgefüllt, der die Versumpfung hervorgerufen hat.

Im Einzugsgebiet der Bäche, die durch die Meßstellen Nr. 26 (Wallenberg Teich) und Nr. 29 (Langsdorf Sägewerk) erfaßt werden, sind hauptsächlich Parabraunerden der verschiedensten Gründigkeit verbreitet, die teilweise bis zum Bt-Horizont erodiert sind. Dieser freigelegte Bt-Horizont bewirkt nun, wie schon im Kapitel Bodenkunde beschrieben, einen relativ hohen oberirdischen Abfluß.

3.13.6. Kleine und mittlere Bäche mit schwachem Gefälle

Diese Wasserläufe haben einen sehr kleinen oberirdischen Abfluß, aber Höchstwerte für die Grundwasserneubildung und -speicherung.

Als Beispiele sind hier die Einzugsgebiete Nr. 27 (Hubbach Schwimmbad), Nr. 28 (Langsdorf Bahnwärter), Nr. 31 (Rodgraben Schwimmbad) und Nr. 34 (Langder Bach) zu nennen.

Aus der Tatsache der hohen Grundwasserspeicherung kann man nun ableiten, daß in den Einzugsgebieten dieser Wasserläufe gut wasserdurchlässige Böden vorhanden sein müssen. Ein Blick auf die Bodenkarte (Taf. 2) zeigt auch, daß im Bereich der obigen Gebiete die größeren Flächen von Parabraunerden eingenommen werden, in die Flecken von Pseudogley-Parabraunerden und in den Tälern Aueböden eingelagert sind.

3.13.7. Mittlere und größere Wasserläufe mit starkem Gefälle und schmalen Tälern, in denen lokale Grundwasserstockwerke angeschnitten werden

Hier wirken sich das Gefälle und die steilen, schmalen Täler sehr stark aus, so daß wir einen großen oberirdischen Abfluß haben. Bedingt durch den hohen Ao kann sich nur noch eine mittlere Grundwasserneubildung ergeben. Die Speicherung ist sehr gering, da durch rasch anspringende Quellen ein Großteil der Grundwasserneubildung in den Vorfluter übertritt.

Als Beispiel kann hier die Horloff bis zum Meßwehr Gonterskirchen (Nr. P 11) oder der Jägerhausbach (Nr. 7), der eine abgeschwächte Form darstellt, genannt werden.

4. Zusammenfassung

Problemstellung

Die Basalte des Vogelsberges bilden wegen ihrer stark ausgebildeten Klüftung einen hervorragenden Grundwasserleiter. Im südwestlichen Vogelsberg stoßen im Horlofftal bei Inheiden, bedingt durch die Tektonik dieses Gebietes, grundwasserleitende Basalte gegen wenig wasserdurchlässige lateritisierte Tuffe und tertiäre Sedimente.

An dieser Stelle, die durch hohe Quellschüttungen ausgezeichnet war, wurde im Jahre 1911 das Wasserwerk Inheiden (WWI) errichtet.

Ziel der hier vorgelegten Arbeit war es, durch eine systematische hydrogeologische Untersuchung das unterirdische Einzugsgebiet des Wasserwerkes abzugrenzen und Aufschluß über die Grundwasserneubildung in diesem Gebiet zu erhalten.

Morphologie und Geologie des Vogelsberges und der Wetterau

Das heutige Relief des Vogelsberges mit den schmalen stark eingetieften Tälern im westlichen und südwestlichen Vogelsberg und der Hügel- und Beckenlandschaft mit breiten Tälern im Ostvogelsberg ist ebenso wie die weite Senke der Wetterau das Produkt der an das quartäre Klima gebundenen Erosion.

Geologisch gehören Vogelsberg und Wetterau zu der großen, Mitteleuropa meridional durchziehenden Mittelmeer-Mjösen-Zone. In diesem Bereich reicht die bekannte Schichtenfolge vom Karbon bis ins Quartär. Aber besonders das Tertiär prägte die Geotektonik dieser Gebiete, da vom oberen Aquitan bis zum Ende des Torton ein starker, aus Effusionen und Intrusionen bestehender Magnetismus den Vogelsberg aufbaute.

Geomagnetische und gefügekundliche Ergebnisse

Mit Hilfe der Geomagnetik und der Untersuchung des Fließgefüges der Laven war es möglich, die Fließrichtung der Lavaströme zu ermitteln sowie die großen Störungszonen, die man im Vorland des Vogelsberges kartieren kann, auch innerhalb des Basaltkörpers zu verfolgen.

Es ergab sich folgendes Resultat:

1. Die Lavaströme sind vom Zentrum des heutigen Vulkans sowohl nach Westen als auch nach Osten geflossen.
Im Norden des Gebietes existierte eine Schwelle, die durch die Linie Butzbach — Lich — Laubach gekennzeichnet ist. Nördlich der Schwelle herrschte N- bzw. NW-Gefälle, südlich davon S- und SW-Gefälle.
2. Die Störungszonen des Vorlandes sind im Basaltkörper durch hohe positive und negative Störwerte, die oft Lavadurchbrüche darstellen, gekennzeichnet.

Ergebnisse der bodenkundlichen Kartierung

Im Arbeitsgebiet sind die gut wasserdurchlässigen Parabraunerden und die pseudo-vergleyten Parabraunerden, die eine mittlere Wasserdurchlässigkeit besitzen, die verbreitetsten Bodentypen. Sie sind besonders nördlich Langd und östlich von Villingen und Ruppertsburg ausgebildet, wo sie von klüftigen Basalten unterlagert werden. Diese Flächen stellen das Hauptregenerationsgebiet des Grundwassers dar.

Hydrochemische Ergebnisse

Die Wässer, die in dem klüftigen Basalt des Vogelsberges zirkulieren, werden sowohl von der Bodendecke wie auch dem Speichergestein beeinflusst. Da diese Wässer in den verschiedenen Basaltlagen über Störungszonen und Lavadurchbrüche hydraulisch miteinander in Verbindung stehen, ähneln sie sich sehr in ihrem Chemismus. Dieser ist daher nicht geeignet, einen Beweis für eine Stockwerksgliederung des Grundwassers zu erbringen. Die Wässer sind als hydrogenkarbonatisch oder hydrogenkarbonatisch-sulfatisch zu bezeichnen.

Hydrologie und Wasserhaushalt

Das Klima im Vogelsberg und somit im Untersuchungsgebiet wird durch die aus Westrichtungen einströmenden atlantischen Luftmassen bestimmt.

Niederschlag, Temperatur, Windbewegung und Sonnenscheindauer zeigen eine Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Höhenlage.

Im Untersuchungsgebiet wurde das Gebietsmittel des Niederschlages über das sog. „Mittelsenkrechten-Verfahren“ (Niederschlagspolygone) aus neun Meßstellen berechnet. Für das Niederschlagsgebiet der Horloff bis zum WWI (125 km²) ergaben sich folgende Jahreswerte

1967	867 mm
1968	938 mm
1969	665 mm.

Der Abfluß wurde in der Horloff an 11 Meßstellen (3 Wehre, 4 Schreibpegel, 4 Lattenpegel) und in den Seitenbächen an 30 Meßblechen ermittelt.

Die Abflußmengenbestimmung erfolgte an den Pegeln über Abflußkurven, die mit OTT-Meßflügeln aufgestellt wurden.

Als Wehre kamen in der Horloff Überfallwehre nach REHBOCK oder PONCELET zur Anwendung. In den Bächen wurde die Abflußmenge mit den folgenden Wehertypen bestimmt:

1. THOMSON-Überfall
2. Hyperbolisches Wehr nach KESSLER
3. Trapezförmiges Wehr nach BUTÜRIN.

Es konnte gezeigt werden, daß die Bestimmung des unterirdischen Abflusses Au nach NATERMANN (1951) und WUNDT (1958) unter den Verhältnissen, die in den Jahren 1967 — 1969 im Vogelsberg herrschten, die gleichen Werte ergibt.

Die potentielle Verdunstung wurde im Arbeitsgebiet für die drei untersuchten Jahre 1967 — 1969 nach der Methode von HAUDE (1954, 1963) bestimmt, bei der die potentielle Verdunstung einer Grasfläche mit hohem Grundwasserstand angepaßt ist.

Für den untersuchten Zeitraum war die potentielle Verdunstung gleich der aktuellen Verdunstung, so daß eine Korrektur der potentiellen Verdunstung über das Niederschlagsdefizit und die maximal ausschöpfbare Bodenfeuchte nicht nötig war. Für das Niederschlagsgebiet der Horloff bis zum Pegel Trais-Horloff Station (125 km²) wurden für die hydrologischen Jahre folgende Werte berechnet:

1967	588 mm
1968	527 mm
1969	509 mm.

Die Grundwasserneubildung wurde nach mehreren Methoden ermittelt. Aber nur ihre Berechnung aus der erweiterten Wasserbilanz und aus der Förderung von Wasserwerken lieferte brauchbare Werte.

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung aus der erweiterten Wasserbilanz wurde folgende Gleichung benutzt:

$$I_u = N - V_p - A_o.$$

(I_u = Grundwasserneubildung

N = Niederschlag

V_p = potentielle Verdunstung

A_o = oberirdischer Abfluß)

Als Grundwasserneubildung ergaben sich für das Einzugsgebiet des WWI (120 km²) folgende Werte:

1967	144 mm
1968	243 mm
1969	89 mm.

Da für die Anwendung dieser Methode nur drei Jahresreihen zur Verfügung standen, konnte die Wassermenge, die im WWI auf die Dauer entnommen werden kann, nur aus der langjährigen Förderung dieses Wasserwerkes berechnet werden. Die mittlere langjährige Förderung (1961 — 1969) des WWI beträgt bei einem Einzugsgebiet von 120 km²

$$682 \text{ l/s} = 21\,212\,928 \text{ m}^3/\text{Jahr} = 177 \text{ mm.}$$

Dieser Wassermenge muß aber der trotz der Entnahme noch vorhandene unterirdische Abfluß Au hinzugefügt werden. Er beträgt für das neunjährige Mittel 61 mm.

Die mittlere Grundwasserneubildung würde sich somit auf

$$I_u = 177 + 61 = 238 \text{ mm}$$

bezeichnen. Da aber im untersuchten Zeitraum der Grundwasserstand von 1969 hinter dem von 1961 zurückblieb, mußte eine Korrektur angebracht werden, derart, daß das in diesem Zeitraum über die Grundwasserneubildung hinaus zu viel entnommene Wasser von dem oben angegebenen Wert für die Grundwasserneubildung subtrahiert wird.

Aus dem berechneten nutzbaren Kluft- und Porenvolumen von 2,54 % und dem mittleren Spiegelunterschied der vom WWI beeinflussten Brunnen von 1,52 m ergab sich eine Wassermenge von 38,6 mm, die die Grundwasserneubildung dieses Zeitabschnitts überschritt.

Die tatsächliche mittlere jährliche Grundwasserneubildung beträgt somit

$$I_u = 238 - 5 = 233 \text{ mm.}$$

Diese 233 mm, die bei einem Einzugsgebiet von 120 km² 898 l/s entsprechen, sind aber in Inheiden nicht voll gewinnbar, da ein Teil der Grundwasserneubildung an höher gelegenen unvollkommenen Stauhohizonten in den Vorfluter übertritt.

Dieser beträgt im langjährigen Mittel

$$61 \text{ mm} = 235 \text{ l/s.}$$

Hieraus ergibt sich eine Dauerentnahme für die Förderung des WWI von

$$898 - 235 = 663 \text{ l/s.}$$

Die Relevanz dieses Wertes sollte aber durch künftige Betriebserfahrungen des Wasserwerkes überprüft werden.

Vergleich der Grundwasserneubildung und -speicherung verschiedener Einzugsgebiete

Bei einer Ordnung der untersuchten Wasserläufe haben sich unter Berücksichtigung der in diesem Gebiet vorherrschenden Boden- und Vegetationstypen folgende Gesetzmäßigkeiten ergeben:

- a) Kleine, kurze Bäche, die ihr Wasser hauptsächlich aus Quellschüttungen erhalten
Auswirkungen: kein oberirdischer, aber ziemlich konstanter unterirdischer Abfluß und stark wechselnde Speicherung.

- b) Kleine Bäche mit mittlerem Gefälle
Auswirkungen: geringer oberirdischer Abfluß, aber hohe Werte für die Grundwasserneubildung Iu und Speicherung Su.
- c) Mittlere Bäche mit steilem Gefälle und landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet
Auswirkungen: in Naßjahren relativ hoher oberirdischer Abfluß, aber auch relativ hohe Grundwasserneubildung mit mittlerer Speicherung.
In Trockenjahren hoher oberirdischer Abfluß, aber geringe Grundwasserneubildung.
- d) Mittlere Bäche mit steilem Gefälle und forstwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet
Auswirkungen: Geringer oberirdischer Abfluß, aber sehr hohe Werte für die Grundwasserneubildung und -speicherung.
- e) Kleine und mittlere Bäche mit mittlerem Gefälle und teilweise durch hohen Grundwasserstand versumpfter Talaue
Auswirkungen: relativ hoher oberirdischer Abfluß, mittlere Grundwasserneubildung und -speicherung.
- f) Kleine und mittlere Bäche mit schwachem Gefälle
Auswirkungen: sehr kleiner oberirdischer Abfluß, aber Höchstwerte für Grundwasserneubildung und -speicherung.
- g) Mittlere und größere Wasserläufe mit starkem Gefälle und schmalen Tälern, in denen lokale Grundwasserstockwerke angeschnitten werden
Auswirkungen: hoher oberirdischer Abfluß, mittlere Grundwasserneubildung, die durch rasch ansprechende Quellen meist kurz darauf in den Vorfluter übertritt, so daß es nur zu einer geringen Speicherung kommt.

5. Schriftenverzeichnis

- AHRENS, W. (1938): Geolog. Untersuchungen über die Basalte des Westerwaldes. — Z. deutsch. geol. Ges., **90**: 381 — 383; Berlin.
- ALBRECHT, F. (1930): Über den Zusammenhang zwischen täglichem Temperaturgang und Strahlungshaushalt. — Gerlands Beitr. Geophys., **25**: 1 — 36; Leipzig.
- (1951): Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. — Arch. Met. Geoph. Biokl., **2**: 1 — 38; Wien - New York.
- (1962): Die Berechnung der natürlichen Verdunstung (Evapotranspiration) der Erdoberfläche aus klimatologischen Daten. — Ber. Dt. Wetterd., **83**, 19 S.; Offenbach.
- ALLISSOW, B. P., DROSDOW, O. A. & RUBINSTEIN, E. S. (1956): Lehrbuch der Klimatologie. — 536 S.; Berlin.
- BAHNEMANN, F. (1939): Die Magnetisierung geologischer Körper. — Beitr. angew. Geophysik, **7**: 281 — 284; Leipzig.
- BAIER, W. (1952 a): Ergebnisse von Erdbodentemperaturmessungen. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **6**: 189 — 195; Bad Kissingen.
- (1952 b): Ergebnisse von Bodenfeuchteuntersuchungen in Stuttgart-Hohenheim. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **37**, 35 S.; Bad Kissingen.
- (1954 a): Agrarmeteorologische Untersuchungen zur Wasserhaushaltsformel. — Wasser u. Boden, **6**: 253 — 258; Bonn.
- (1954 b): Agrarmeteorologische Untersuchungen zur Wasserhaushaltsformel. — Wasser u. Boden, **7**: 245 — 249; Bonn.
- BARNER, J. (1965): Experimentelle Ökologie des Kulturpflanzenbaus. — 231 S.; Hamburg - Berlin.
- BAUMANN, H. (1937): Arbeitsweise und Verwendung wägbarer Lysimeter zur Bestimmung der Verdunstung vom bewachsenen Erdboden. — Dt. Wasserwirtsch., **32**: 181 — 186; Berlin.
- (1951): Die Bodenfeuchtebestimmung und ihre Auswertung für die Landwirtschaft. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **32**: 4 — 8; Bad Kissingen.
- BECKSMANN, E. (1955): Grundwasserchemismus und Speichergestein. — Z. deutsch. geol. Ges., **106**: 23 — 35; Hannover.
- BERCK, E. (1938): Quellenbeobachtung und Quellenforschung. — Balneologe, **5**: 401 — 409; Berlin.
- BERÉNYI, D. (1967): Mikroklimatologie, Mikroklima der bodennahen Atmosphäre. — 328 S., Stuttgart.
- BLANCKENHORN, M. (1928): Allgemeine Ergebnisse der neueren geologischen Aufnahmen im westlichen Kurhessen. Zur Paläogeographie der hessischen Senke während der Tertiärperiode. — Jb. preuß. geol. L.-A., **48**: 158 — 174; Berlin.
- (1932): Kritischer Überblick über die Tertiärablagerungen des nördlichen Hessens, ihr Alter, ihre Gliederung, ihren Gegensatz zu denen Südhessens und ihre Abgrenzung nach Süden. — Jb. preuß. geol. L.-A., **53**: 263 — 303; Berlin.
- BLEIBAUM, I. (1953): Studien zur Meteorologie der südlichen Rhön. — Ber. Dt. Wetterd., **4**, 15 S.; Bad Kissingen.
- BOGOMOLOV, G. W. (1958): Grundlagen der Hydrogeologie. — 178 S.; Berlin
- BOLTER, E. (1961): Über Zersetzungsprodukte von Olivinfeldspatbasalten. — Beitr. Min. u. Petrogr., **8**: 111 — 140; Heidelberg.
- BÖSENBERG, K. & LÜTTIG, G. (1959): Zur Methodik hydrochemischer Untersuchungen im Wesergebiet. — Geol. Jb., **76**: 579 — 596; Hannover.
- BOSS, G. (1952): Die Brauchbarkeit des Piche-Evaporimeters bei Verdunstungsmessungen. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **5**: 194 — 202; Bad Kissingen.
- (1953): Verdunstungs- und Taumessungen in Afrika. — Ber. Dt. Wetterd., **5**, 14 S., Bad Kissingen.

- BORCHERT, G. (1956): Eine Untersuchung über die Wasserführung des Bodens in Abhängigkeit vom Witterungsablauf und von der Vegetationsbedeckung. — *Erdkunde*, **10**: 76 — 80; Bonn.
- BRECHTEL, H. M. (1965): Methodische Beiträge zur Erfassung der Wechselwirkung zwischen Wald und Wasser. Dargelegt an Problembearbeitungen in Kiefernaltbeständen im Hess. Forstamt Isenburg. — *Forstarch.*, **35**: 229 — 241.
- (1966): Forsthydrologische Forschung in Coweeta/USA. — *Allg. Forstz.*, **32/33**, 4 S.; München.
- (1969 a): Die Nutzung des Bodens durch den Menschen als Faktor im Wasserhaushalt. — *Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz*, **22**: 5 — 33; Bonn - Bad Godesberg.
- (1969 b): Wald und Abfluß. Methoden zur Erforschung der Bedeutung des Waldes für das Wasserdargebot. — *Dt. Gewässerkundl. Mitt.*, Sonderheft 1969: 24 — 30; Koblenz.
- (1969 c): Watershed — Management — Forschung in den USA. — *Allg. Forstz.*, **24**: 279 — 285; München.
- BREDDIN, H. (1955): Ein neuartiges hydrogeologisches Kartenwerk für die südliche Niederrheinische Bucht. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **106**: 94 — 112; Hannover.
- (1961): Das neue hydrogeologische Kartenwerk der Wasserwirtschaftsverwaltung von Nordrhein-Westfalen. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **113**: 2; Hannover.
- (1963): Die Grundrißkarten des Hydrogeologischen Kartenwerkes der Wasserwirtschaftsverwaltung von Nordrhein-Westfalen. — *Geol. Mitt.*, **2**: 393 — 416; Aachen.
- BRINKMANN, R. (1968): Gefüge und Vulkanotektonik im Vogelsberg (Niederrhessen). — *Geol. Rdsch.*, **57**: 148 — 165; Stuttgart.
- BURGER, H. (1932): Meteorologische Beobachtungen im Freien und in einem Buchen- und Fichtenbestand. — *Mitt. Schweiz. Anstalt forstl. Versuchswesen*, **18**; Zürich.
- (1956): Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben. — *Mitt. Schweiz. Anstalt forstl. Versuchswesen*, **31**: 9 — 58; Zürich.
- BURRE, O. (1960): Untersuchungen über die Berechnung der dem Grundwasser von den Niederschlägen zugehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **30**, 67 S.; Wiesbaden.
- CESTANY, G. (1963): *Traité pratique des eaux Sonteraines*. — 657 S.; Paris.
- DAMMANN, W. (1965): Meteorologische Verdunstungsmessung, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. — *Wasserwirtschaft*, **55**: 315 — 321; Stuttgart.
- DAVIS, ST. N. & DE WIEST, R. J. M. (1966): *Hydrogeologie*. — 463 S.; New York - London - Sydney.
- DELFS, J. (1954): Niederschlagsrückhaltung (Interception) in verschiedenen alten Fichtenbeständen. — *Mitt. Arbeitskreis „Wald und Wasser“*, **1**: 31 — 36; Koblenz.
- (1955): Die Niederschlagsrückhaltung im Walde (Interception). — *Mitt. Arbeitskreis „Wald und Wasser“*, **2**, 54 S.; Koblenz.
- FRIEDRICH, W., KIESEKAMP, H. & WAGENHOFF, A. (1958): Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. — *Aus dem Walde*, **3**, 223 S., mit Tabellenband; Hannover.
- DE WIEST, R. J. M. (1965): *Geohydrology*. — 366 S.; New York - London - Sydney.
- DIEFFENBACH, E. (1856): *Geol. Spezialkarte d. Großherzogtums Hessen*, 1 : 50 000 mit Erl., Sektion Gießen; Darmstadt.
- DIHEL, O. (1933): Über einige Bohrungen im oligozänen Tertiär bei Alsfeld. — *Unveröffentl. Manuskript*.
- (1935 a): Über basaltische Tuffe im Vogelsberg. — *Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-Anst.*, (V) **16**: 10 — 20; Darmstadt.
- (1935 b): Über Basaltverwitterungsböden. — *Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-Anst.*, (V) **16**: 21 — 25; Darmstadt.

- DIELER, H. (1960): Über die Normung von Karten zur Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit (hydrochem. Karten). — Dt. Gewässerkundl. Mitt., **4**: 44 — 51; Koblenz.
- ECKSTEIN, Y. (1969): Hydrogeology of a Volcanic Island Che Ju Do, Korea. — Bull. IASH, **14**, 4: 45 — 60.
- EIDMANN, F. E. (1959): Die Interception in Buchen- und Fichtenbeständen. Ergebnisse mehrjähriger Untersuchungen im Rothaargebirge (Sauerland). — Publ. IASH, **48/49**; Gentbrugge.
- EINSELE, G., BOZORGZAD-ARAB, DJ., HEITTELE, H., KLOCK, M. & SEILER, K. P. (1969): Hydrogeologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. — Geol. Mitt., **9**: 1 — 74; Aachen.
- ERBE, J. (1957): Untersuchungen zur Bestimmung des Wasservorratsänderungsgliedes in der Wasserbilanzgleichung durch Messungen des Grundfeuchte- und Grundwasserganges. — Bes. Mitt. Dt. Gewässerk. Jb., **21**, 97 S.; Koblenz.
- ERNST, TH. & SCHORER, G. (1969): Die Pyroxene des „Maintrapps“, einer Gruppe tholeiitischer Basalte des Vogelsberges. — N. Jb. Miner. Mh., **3**: 108 — 130; Stuttgart.
- & MÖRTEL, H. (1969): Die Restausscheidung tholeiitischer Basalte des „Maintrapps“. — N. Jb. Miner. Mh., **8**: 362 — 379; Stuttgart.
- ESCHNER, A. R. (1969): Die Auswirkungen eines langfristigen Waldschutzes auf den Abfluß eines Wassereinzugsgebietes im Adirondack-Gebirge. — Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz, **22**: 37 — 55; Bonn - Bad Godesberg.
- FAST, H. & SAUER, K. (1958): Die chemische Zusammensetzung südbadischer Grundwässer, Herkunftfragen und Versuch einer Typologie. — Vom Wasser, **25**: 48 — 81; Weinheim.
- FISCHER, K. (1921): Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes der Flußgebiete. — Meteor. Z., **38**: 331 — 336; Berlin.
- (1936): Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt (Niederschlag, Abfluß, Verdunstung). — Mitt. Reichsverb. dt. Wasserwirtsch., **40**: 7 — 111; Berlin-Halensee.
- (1940): Die natürliche Vorratsbildung in unseren Flußgebieten. — Dt. Wasserwirtsch., **35**: 274 — 275; Stuttgart.
- FRIEDRICH, W. (1948): Über den Abfluß bei Hochwasser. — Göttinger Geogr. Abh., **1**: 70 — 81; Göttingen.
- (1949): Verfahren zur Ermittlung des Wasserhaushaltes von Flußgebieten. — Mitt. Bundesanst. Gewässerkunde, **11**: 22 — 29; Bielefeld.
- (1950): Über die Verdunstung vom Erdboden. Zusammenfassender Bericht über die Eberswalder Lysimetermessungen. — GWF, **91**: 289 — 296; München.
- (1955): Ergebnisse und Erfahrungen bei Lysimeterbeobachtungen in Deutschland. — Bes. Mitt. Dt. Gewässerkundl. Jb., **12**: 73 — 78; Koblenz.
- FRIEDRICH-LAUTZ, I. (1963): Zusammensetzung und Entstehung der Brauneisenerzlagerstätten in den Tagebauen der Gewerkschaft Louise bei Merlau, Oberhessen. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **91**: 277 — 317; Wiesbaden.
- GELBKE, W. (1955): Untersuchungen zur Methodik der Taumessung an Hand dreijähriger Taumeßreihen in Greifswald. — Abh. MHD DDR, **5**: 10 — 104; Berlin.
- (1955/56): Ergebnisse dreijähriger Taumessungen. — Ann. Meteor., **7**: 79 — 86; Hamburg.
- GERB, L. (1958): Grundwassertypen. — Vom Wasser, **25**: 16 — 47; Weinheim.
- GERLACH, M. (1926): Untersuchungen über die Menge und Zusammensetzung der Sickerwässer. — Landwirtsch. Jb., **64**: 701 — 733; Berlin.
- GLIEMEROTH, G. (1943): Der Wasserhaushalt eines Lößlehms und seine Beeinflussung durch Pflanzenbestand und Bearbeitung. — J. Landw., **89**: 1 — 160.

- CÖHRE, K. (1943): Beitrag zur Verdunstung zu verschiedenen Tageszeiten und bei verschiedenen Witterungseinflüssen. — *Z. Meteorol.*, **3**: 289 — 293; Berlin.
- (1949): Der Wasserhaushalt im Boden (nach Messungen in Eberswalde). — *Z. Meteorol.*, **3**: 13 — 19; Berlin.
- GORELL, H. A. (1958): Classification of formation waters based on sodium chloride content. — *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **42**: 2513; Tulsa.
- GRUNOW, J. (1952 a): Nebelniederschlag, Bedeutung und Erfassung einer Zusatzkomponenten des Niederschlages. — *Ber. Dt. Wetterd. US-Zone*, **7**: 30 — 34; Bad Kissingen.
- (1952 b): Zum Wasserhaushalt einer Schneedecke, Messungen der Schneedichte beim Observatorium Hohenpeißenberg. — *Ber. Dt. Wetterd. US-Zone*, **6**: 385 — 393; Bad Kissingen.
- (1956 a): Die Niederschlagsmessung mit hangparallelen Auffangflächen: Methode, Erfahrungen, Folgerungen. — *Dt. Ber. Internat. Hydrolog. Tag. Rom 1954*: 22 — 33; Bonn.
- (1956 b): Bedeutung und Erfassung des Nebelniederschlages. — *Dt. Ber. Internat. Hydrolog. Tag. Rom 1954*: 55 — 64; Bonn.
- (1957): Vergleichende Messungen des Nebelniederschlages. — *Publ. IASH*, **44**: 485 — 501; Gentbrugge.
- (1964): Weltweite Messungen des Nebelniederschlages nach der Hohenpeißenberger Methode. — *Publ. IASH*, **65**: 324 — 342; Gentbrugge.
- HAHN, A. (1953): Statistische Verfahren der Gewässerkunde. — *Bes. Mitt. Dt. Gewässerkundl. Jb.*, **8**, 43 S., Koblenz.
- ANGENHEISTER, G. & BOSUM, W. (1961): Geomagnetik. In: BENTZ, A.: *Lehrb. d. angew. Geologie*. — **1**: 485 — 572; Stuttgart.
- HARRASSOWITZ, H. (1918): Die Blockfelder im östl. Vogelsberg. — *Ber. Vers. niederrhein. geol. Ver.* 1915, Bonn.
- (1926): Laterit. Material und Versuch erdgeschichtlicher Auswertung. — *Fortschr. Geol. Paläont.*, **4**: 253 — 566; Berlin.
- HAUCK, K. (1953): Die Abflußzahlen im Vogelsberg. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **104**: 195 — 196; Hannover.
- HAUDE, W. (1952): Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas. — *Ber. Dt. Wetterd. US-Zone*, **7**: 225 — 229; Bad Kissingen.
- (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. — *Mitt. Dt. Wetterd.*, **8**, 22 S.; Bad Kissingen.
- (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. — *Mitt. Dt. Wetterd.*, **2**, 24 S.; Bad Kissingen.
- (1963): Zur Bestimmung der Verdunstung und des Wasserhaushaltes in Trockengebieten des Vorderen Orients zwischen Nil und Euphrat. — *Wasserwirtschaft*, **53**: 427 — 438; Stuttgart.
- HÄUSSER, F. (1933): Die Geologie der südöstlichen Wetterau. — *Diss.*, Gießen.
- HEATH, R. C. & TRAINER, F. W. (1968): *Introduction to Ground-water Hydrology*. — 284 S.; New York - London - Sydney.
- HEILAND, C. A. (1930): Possible causes of abnormal polarisation of magnetic formation. — *Z. Geophysik*, **6**: 228 — 235; Braunschweig.
- HEM, J. D. (1959): *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. — *Geological Survey Water Supply Paper*, 1473, 269 S.; Washington.
- HERR, L. (1936): Bodentemperaturen unter besonderer Berücksichtigung der äußeren meteorologischen Daten. — *Diss.*, 63 S.; Leipzig.
- HERRMANN, R. (1965): Vergleichende Hydrogeographie des Taunus und seiner südlichen und südöstlichen Randgebiete. — *Gießener geogr. Schr.*, **5**, 152 S.; Gießen.

- HESSE, W. (1954): Messung der Pflanzentranspiration mit Kleinlysimetern. — Z. Acker- u. Pflanzenbau, **98**: 107 — 118; Berlin - Hamburg.
- HILLER, W. & SCHNEIDER, G. (1967): Geophysik. In: BRINKMANN, R.: Lehrb. allg. Geologie: 396 — 548; Stuttgart.
- HOFMANN, G. (1972): Zur Methodik der Taumessung. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **6**: 360 — 364; Bad Kissingen.
- (1955): Die Thermodynamik der Taubildung. — Ber. Dt. Wetterd., **3**, 45 S.; Bad Kissingen.
- HÖLL, K. (1960): Untersuchung, Beurteilung und Aufbereitung von Wasser. — 235 S.; Berlin
- HÖLTING, B. & STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1964): Beiträge zur Tektonik des nordwestl. Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **47**, 37 S.; Wiesbaden.
- HUBER, B. (1954): Was wissen wir vom Wasserverbrauch des Waldes? — Mitt. Arbeitskreis „Wald und Wasser“, **1**: 16 — 23; Koblenz.
- HUMMEL, K. (1929): Die tektonische Entwicklung eines Schollengebirgslandes (Vogelsberg und Rhön). — Fortschr. Geol. Paläont., **8**, 233 S.; Berlin.
- KALWEIT, H. (1953): Der Wasserhaushalt. Berechnungsverfahren und Anwendung auf mitteldeutsche Flußgebiete. — 408 S., mit Tabellenband; Berlin.
- KARRENBURG, H. (1961): Die hydrogeologischen Kartenwerke des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen. — Z. deutsch. geol. Ges., **113**: 216 — 230; Hannover.
- KEIL, A., BREDDIN, H. & DIELER, H. (1960): Das neue hydrogeologische Kartenwerk der Wasserwirtschaftsverwaltung von Nordrhein-Westfalen. — Dt. gewässerkundl. Mitt., Sonderheft: 12 — 22; Koblenz.
- KELLER, R. (1953): Wald und Wasserhaushalt. — Erdkunde, **7**: 52 — 57; Bonn.
- (1961): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes (Eine Einführung in die Hydrographie). — 520 S.; Berlin.
- KELLER, W. D., BALGORD, W. & REESMANN, A. (1963 a): Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. — Jour. Sed. Petrology, **33**: 191 — 204; Tulsa.
- — — (1963 b): Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. — Jour. Sed. Petrology, **33**: 426 — 437; Tulsa.
- KIRCHHEIMER, F. (1936): Über das Alter der Braunkohlen in der nordöstlichen Wetterau. — Braunkohle, **35**: 861 — 865; Düsseldorf.
- KIRWALD, E. (1969): Wasserhaushalt und Einzugsgebiet. Gewässerkundliche Untersuchungen im Einzugsgebiet der Ruhr in den Jahren 1951 — 1965. — 404 S., mit Tabellenband; Essen.
- KLÜPFEL, W. (1935): Die Deutung des „Vogelsbergvulkans“ im Wandel der Zeiten. — Geol. Rdsch., **26**: 143 — 144; Berlin.
- KLUT-OLSZEWSKI (1945): Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle. Seine Beurteilung und Aufbereitung. — 281 S.; Berlin.
- KOEHNE, W. (1939): Grundwasserkartierung. — Deutsche Landeskulturzeitung, **8**: 87 — 90; Berlin.
- (1968): Grundwasserkunde. — 314 S.; Stuttgart.
- KREPS, H. (1954): Näherungsverfahren bei hydrometrischen Feldarbeiten und ihre Auswertung. — Österr. Wasserwirtsch., **6**: 60 — 65; Wien.
- KREUTZ, W. (1952): Niederschlagsmessungen in verschiedenen Höhen über dem Erdboden unter Berücksichtigung der Windverhältnisse. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **6**: 182 — 185; Bad Kissingen.
- KUBIENA, W. L. (1948): Die Entwicklungslehre des Bodens. — 215 S.; Wien.
- LANGGUTH, H. R. (1965): Die Grundwasserverhältnisse im Bereich des Velberter Sattels (Rheinisches Schiefergebirge). — Diss., 127 S.; Aachen.

- LAUTERBACH, R. (1952): Über einige besondere Beziehungen zwischen Geologie und Geomagnetik. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **6**: 367 — 371; Bad Kissingen.
- LEICK, E. (1953): Grundsätzliches zur Taumessungsfrage. — Kulturpflanze, **1**: 53 — 78; Berlin.
- LINKE, F. (1921): Niederschlagsmessungen unter Bäumen. — Meteorol. Z., **38**: 277; Berlin.
- MARLOTH, S. (1906): Über Wassermengen, welche Sträucher und Bäume aus treibendem Nebel und Wolken auffangen. — Meteorol. Z., **23**: 547 — 553; Berlin.
- MATTHES, G. (1970): Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **58**, 105 S.; Wiesbaden.
- & THEWS, J.-D. (1963): Der Abfluszuwachs als Hilfsmittel bei der Beurteilung von Wassergewinnungsmöglichkeiten. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **91**: 231 — 236; Wiesbaden.
- — (1964): Gaging of Low-Water as means of investigation of the hydrological conditions of a Region. — Publ. IASH, **63**: 389 — 392; Gentbrugge.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wasser mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. — Steir. Beitr. Hydrogeol., N. F., **10/11**, 184 S.; Graz.
- MERCK AG, E.: Die Untersuchung von Wasser. Eine Auswahl chemischer Methoden für die Praxis. — 115 S.; Darmstadt.
- MORTON, F. J. (1969): Potential Evaporation as a Manifestation of Regional Evaporation. — Water Resources Research, **5**: 1244 — 1255; Washington.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1958): Der Wasserhaushalt der Pseudogleye und dessen Bedeutung für die Pflanze. — Verh. 2. u. 4. Kommission Internat. bodenkundl. Ges., **2**: 105 — 111; Hamburg.
- & ZAKOSEK, H. (1961): Das Bodenwasser. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **89**: 400 — 414; Wiesbaden.
- NATERMANN, E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers (Au L) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). — Wasserwirtsch., Sonderheft: 12 — 14; Stuttgart.
- (1959): Der Wasserhaushalt des oberen Emsgebietes nach dem Au-Linien-Verfahren. — Veröffentl. Ministerium Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, 44 S.; Düsseldorf.
- NEUMANN, W. (1959): Irreguläre geomagnetische Anomalien und ihre Bedeutung für die Geologie. — Diss.; Leipzig.
- NÖRING, F. (1950): Grundsätzliches betreffend hydrogeologische Karten. — Z. deutsch. geol. Ges., **101**: 222 — 229; Hannover.
- (1951 a): Einflüsse der Kunstdüngung auf den Chemismus des Grundwassers. — Gesundh.-Ing., **72**: 190 — 191; München.
- (1951 b): Fragen der Grundwasserchemie in Beziehung zu Oberfläche und Untergrund. — Z. deutsch. geol. Ges., **102**: 123 — 128; Hannover.
- (1955): Chemische und physikalische Erscheinungen bei infiltriertem Grundwasser. — Z. deutsch. geol. Ges., **106**: 11 — 15; Hannover.
- MATTHES, G. & THEWS, J.-D. (1967): Die hydrogeologische Feldkartierung. — Mem. IASH-Kongreß 1965, **7**: 240 — 244; Hannover.
- PPAFF, C. & FRIEDRICH, W. (1954): Die Wasserbilanz des bewachsenen Bodens nach Lysimeterversuchen. — Wasser u. Boden, **6**: 281 — 287; Bonn.
- (1963 a): Das Verhalten des Stickstoffes im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen, I. Mitteilung. — Z. Acker- u. Pflanzenbau, **117**: 77 — 99; Berlin - Hamburg.
- (1963 b): Über die Auswaschung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat aus dem Boden (Lysimeterversuche), III. Mitteilung. — Z. Acker- u. Pflanzenbau, **117**: 117 — 128; Berlin - Hamburg.

- (1963 c): Das Verhalten der Phosphorsäure und der Alkalien im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen. — *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, **117**: 100 — 113; Berlin - Hamburg.
- PFAU, R. (1958): Statistische Bearbeitung von Bodenfeuchtigkeitswerten. — *Ber. Dt. Wetterd.*, **7**, 20 S.; Offenbach.
- PFEIFFER, D. (1962): Hydrologische Messungen in der Praxis der Geologen. — *Bohrtechnik — Brunnenbau — Rohrleitungsbau*, 2 / 3 / 4: 3 — 31, Berlin.
- RÖHRER, F. (1933): Über den Nitratgehalt der Tiefenwässer. — *Geol. Rdsch.*, **23 a** (Salomon-Calvi-Festschr.): 315 — 331; Stuttgart.
- SACHER, L. (1967): Beobachtungen an einem Tuffkörper im Basalt des Vogelsberges bei Schotten. Ein Beitrag zur Kenntnis der Mechanik von Basalt-Subfusionen. — *Oberrhein. geol. Abh.*, **16**: 27 — 36; Karlsruhe.
- SCHAFFERNAK, F. (1960): *Hydrographie*. — Unveränderter Abdruck der Ausgabe 1935, 438 S.; Graz.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1970): *Lehrbuch der Bodenkunde*. — 448 S.; Stuttgart.
- SHELLMANN, W. (1966): Die Bildung von Roterde und Bauxitknollen im Vogelsberg. — *N. Jb. Miner. Mh.*, **11**: 321 — 342; Stuttgart.
- SCHENK, E. (1953): Die hydrogeologischen Verhältnisse in Wetterau und Vogelsberg. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **104**: 194 — 195; Hannover.
- (1955): Ein neues Muschelkalkvorkommen bei Angersbach und die Quertektonik des Lauterbacher Grabens. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **83**: 205 — 219; Wiesbaden.
- (1956): Erosion und Sedimentation im Hauptbraunkohlenlager der Wetterau. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **83**: 246 — 256; Wiesbaden.
- (1957): Corbiculaschichten und Cyrenenmergel im Horloffgraben (Wetterau). — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **85**: 224 — 254; Wiesbaden.
- (1961 a): Tertiär, Vulkanismus und Tektonik im Mittleren Hessen. 1. Ergebnisse einer Bohrung in das ältere Tertiär und den Muschelkalk bei Wahlen und die Tektonik am Nordrande des Vogelsberges. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **89**: 310 — 319; Wiesbaden.
- (1961 b): Tertiär, Vulkanismus und Tektonik im Mittleren Hessen. 2. Das Tertiärquarzitlager im Lumdatal nördlich von Gießen. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **89**: 320 — 330; Wiesbaden.
- (1964 a): Basalt-Vulkanismus und Aquitan bei Allertshausen im Lumdatal nordöstlich von Gießen. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **92**: 223 — 249; Wiesbaden.
- (1964 b): Das Quartärprofil in den Braunkohletagebauen bei Bergstadt und Weckesheim (Wetterau). — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **92**: 270 — 274; Wiesbaden.
- (1964 c): Die geologischen Erscheinungen der Subfusion des Basaltes. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **46**, 31 S.; Wiesbaden.
- (1965 a): Tuffe, Basalt und Laterit am Oele-Berg bei Großen Buseck, Krs. Gießen. — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **93**: 292 — 302; Wiesbaden.
- (1965 b): Das Alter der Lateritdecken und Eisenerzlagerstätten im Vogelsberg. — *Z. Erzbergbau u. Metallhüttenwesen*, **18**: 352 — 353.
- (1968 a): Über die Magnetisierung der Tuffe und Paläosole im Paläovulkan des Vogelsberges. — *Z. Geophys.*, **34**: 567 — 598; Würzburg.
- (1968 b): Über den Wasserhaushalt des basaltischen Paläovulkans Vogelsberg in Hessen. — *Steir. Beitr. Hydrogeol.*, **20**: 23 — 50; Graz.
- SCHIRMER, H. (1959): Klimatische Verhältnisse, insbesondere die des Niederschlages, im Einzugsgebiet der Nidda. — *Amtl. Gutachten Dt. Wetterd.*, erstellt f. d. ZOV Friedberg; Offenbach.
- SCHNEIDER, H., TRUELSEN, G., THIELE, H. (1953): *Die Wassererschließung*. — 420 S.; Essen.
- (1961): Die Grundwasserneubildung (Wege zu ihrer Ermittlung). — *Bohrtechnik — Brunnenbau — Rohrleitungsbau*, 6 / 7 / 8: 1 — 27; Berlin.

- (1967): Ermittlung der Grundwassererneuerung aus Einzugsgebieten bestehender Wasserwerke. — Mem. IASH-Kongreß, **7**: 51 — 55; Hannover.
- SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **2**, 288 S.; Wiesbaden.
- (1969): Bodenkunde. — In: Der Hess. Minister für Landwirtschaft u. Forsten: Wasserwirtschaftl. Rahmenplan Nidda; Wiesbaden.
- SCHOTTLER, W. (1908): Die Basalte der Umgebung von Gießen. — Abh. großh. hess. geol. L.-A., **4**: 321 — 487; Darmstadt.
- (1913): Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000 mit Erl., Bl. Gießen; Darmstadt.
- (1918): Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000 mit Erl., Bl. Laubach; Darmstadt.
- (1921): Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000 mit Erl., Bl. Hungen; Darmstadt.
- (1923): Geol. Kte. Hessen 1 : 25 000 mit Erl., Doppelbl. Nidda und Schotten; Darmstadt.
- (1924): Beiträge zur Kenntnis des Tertiärs und der Basalte am Nord- und Westrand des Vogelsberges. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V) **6**: 40 — 58; Darmstadt.
- (1925): Die Geologie von Salzhausen. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V) **7**: 23 — 55; Darmstadt.
- (1926): Untergrund und Aufbau des vulkanischen Vogelsberges. — Jahresber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver., **15**: 11 — 18; Stuttgart.
- (1931): Der Bau des Vogelsberges erläutert an einem geologischen Querschnitt durch den Vogelsberg im Maßstab 1 : 25 000 und einer Karte der vulkanischen Durchbrüche des Hohen Vogelsberges im Maßstab 1 : 100 000. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (V) **13**: 16 — 61; Darmstadt.
- (1937): Der Vogelsberg. — Notizbl. hess. geol. L.-A., (V) **18**: 3 — 86; Darmstadt.
- SCHROEDER, G. (1950): Die Korrelationsrechnung und ihre Anwendung in der Wasserwirtschaft. — Herausg. Bundesanst. Gewässerk.; Bielefeld.
- (1955): Die Grundwasserreserven der Flußgebiete. Der Zuschußwasserbedarf der Flüsse. — Bes. Mitt. Dt. Gewässerkund. Jb., **13**, 79 S.; Koblenz.
- SCHUBACH, K. (1952): Wasserhaushaltsuntersuchungen an verschiedenen Bodenarten unter besonderer Berücksichtigung der Verdunstung (nach Methode Popow). — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **40**, 14 S.; Bad Kissingen.
- SCHULZE, W. (1959): Die Oberflächenformen des Vogelsberges. — Marburger geogr. Schr., **13**, 195 S.; Marburg.
- (1961): Zur Morphogenese des Vogelsberges. — Petermanns geogr. Mitt., **105**: 9 — 15; Gotha.
- SCHWILLE, F. (1953): Natriumhydrogenkarbonat- und Natrium-Chlorid-Wässer im tieferen Untergrund des Mainzer Beckens. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **81**: 314 — 335; Wiesbaden.
- (1954): Ionenumtausch und der Chemismus von Grund- und Mineralwässern. — Z. deutsch. geol. Ges., **100**: 16 — 22; Hannover.
- SEILER, K. P. (1969): Kluft- und Porenwasser im Mittleren Buntsandstein des südlichen Saarlandes. — Geol. Mitt., **9**: 75 — 96; Aachen.
- SEMMEL, A. (1963): Intramontane Ebenen im Hochland von Godjam (Äthiopien). — Erdk., Arch. wiss. Geogr., **17**, 3/4: 173 — 189; Bonn.
- SIEGENTHALER, J. (1953): Bodentemperatur in Abhängigkeit von äußeren meteorologischen Faktoren. — Gerlands Beitr. Geophys., **40**: 305 — 332; Leipzig.
- SIGVALDASON, G. (1959): Mineralogische Untersuchung über die Gesteinszersetzung durch postvulkanische Aktivität in Island. — Beitr. Mineral. u. Petrogr., **6**: 405 — 426; Heidelberg.

- STEGEMANN, W. (1964): Paläontologie und Stratigraphie einiger Sedimentvorkommen im Vogelsberg. — Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkunde, naturwiss. Abt., N. F. **33**, 4: 251 — 279; Gießen.
- STEBING, L. (1949): Beiträge zur Tauwasseraufnahme höherer Pflanzen. — Biol. Zentralbl., **68**: 252 — 259; Leipzig.
- (1955): Studien über den Taufall als Vegetationsfaktor. — Ber. deutsch. bot. Ges., **68**: 55 — 70; Jena.
- STEUER, A. & SCHOTTLER, W. (1914): Über ein neues Vorkommen von Rupelton bei Rockenberg in der nördlichen Wetterau. — Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. L.-A., (IV) **35**; Darmstadt.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, H. R. (1957): Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. — Publ. in Climatology, **10**: 181 — 311; Washington.
- TROPP, W. (1936): Tertiärgeologische Untersuchungen am Südwestrande des Vogelsberges. — Diss.; Gießen.
- TURKOWSKY, C. (1963): Die Verteilung der induzierten und natürlichen remanenten Magnetisierung innerhalb einiger Basaltlagen des Vogelsberges. — Diplomarbeit, Inst. angew. Geophys. Univ. München; München.
- UDLUFT, H. (1953): Über eine neue Darstellungsweise von Mineralwasseranalysen II. — Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **81**: 308 — 313; Wiesbaden.
- (1955): Analysenschaubilder als Hilfsmittel für die geohydrologische Auswertung der Analysen von einigen hessischen Mineral- und Heilwässern. — Z. deutsch. geol. Ges., **106**: 49 — 52; Hannover.
- (1957): Zur graphischen Darstellung von Mineralwasseranalysen und von Wasseranalysen. — Heilbad u. Kurort, **10**, 4 S.; Gütersloh.
- (1957 — 1959): Über eine graphische Darstellung von Mineralwasseranalysen am Beispiel einiger schweizerischer Heilquellen. — Ann. schweiz. Ges. Balneol. u. Klimatol., **46/48**: 83 — 96; Luzern.
- UHLIG, S. (1951): Die Untersuchung und Darstellung der Bodenfeuchte. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **30**, 39 S.; Bad Kissingen.
- (1952): Die Abschätzung der Bodenverdunstung an Hand von Bodenfeuchtemeßwerten. — Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, **5**: 182 — 189; Bad Kissingen.
- (1954): Berechnung der Verdunstung aus klimatologischen Daten. — Mitt. Dt. Wetterd., **6**, 24 S.; Bad Kissingen.
- (1954): Zur Bestimmung der potentiellen Verdunstung bewachsenen Bodens. — Wasserwirtschaft, **44**: 309 — 315; Stuttgart.
- (1955): Bestimmung des Verdunstungsanspruchs der Luft mit Hilfe von Piche-Evaporimetern. — Mitt. Dt. Wetterd., **13**, 24 S.; Bad Kissingen.
- (1956 a): Berechnung monatlicher Mittelwerte der Gebietsverdunstung nach einer Methode von KALWEIT. — Mitt. Dt. Wetterd., **3**, 29 S.; Bad Kissingen.
- (1956 b): Der mittlere Jahresgang des ausschöpfbaren Bodenfeuchtegehaltes. — Wasserwirtschaft, **46**: 121 — 126; Stuttgart.
- (1959): Wasserhaushaltsbetrachtungen nach THORNTHWAITE. — Z. Acker- u. Pflanzenbau, **109**: 384 — 407; Berlin - Hamburg.
- US dep. of agriculture (1951): Soil survey Manual. — Washington.
- VILLWOCK, R. (1966): Industriegesteinskunde. — 280 S.; Offenbach/M.
- WÄGER, H. (1968): Sedimentchemische und hydrochemische Untersuchungen im östl. Niederschlagsgebiet der Kinzig. — Diss., 155 S.; Darmstadt.
- WALTER, H. (1960): Grundlagen der Pflanzenverbreitung. — **3**, 1. Teil, Standortlehre (analytisch-ökologische Geobotanik), 566 S.; Stuttgart.

- WECHMANN, A. (1964): Hydrologie. — 534 S.; München - Wien.
- WIRTZ, R. (1972): Beitrag zur Kenntnis der Paläsole im Vogelsberg. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **61**, 159 S.; Wiesbaden.
- WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde. — 320 S.; Berlin - Göttingen - Heidelberg.
- (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. — In: GRAHMANN, R.: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung: 47 — 54; Remagen.
- ZAKOSEK, H. (1960): Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden, unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. — Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **32**, 62 S.; Wiesbaden.

DIN-Normen:

- DIN 4047: Landwirtschaftlicher Wasserbau, Fachausdrücke und Begriffserklärungen; Berlin 1955.
- DIN 4049: Blatt I: Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen, Teil I: quantitativ; Berlin 1954.
- DIN 4049: Blatt II: Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffserklärungen, Teil II: qualitativ; Berlin 1960.

Pläne:

- Klima-Atlas von Hessen. — Dt. Wetterd. US-Zone; Bad Kissingen 1949/50.
- Sonderplan Wasserversorgung Mittelhessen. — Der Hessische Minister für Landwirtschaft und Forsten; Wiesbaden 1965.
- Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Nidda. — Der Hessische Minister für Landwirtschaft und Forsten; Wiesbaden 1969.

6. Anhang

6.1. Beobachtete Quellen, Brunnen und Grundwassermessstellen

Erklärung der benutzten Abkürzungen:

- * = nur im Bohrarchiv bzw. Analysenregister
- + = nur in der Grundwassergleichenkarte
- Qu. = Quelle
- B. = Bohrung
- WV = Wasserversorgung
- AWV = Alte Wasserversorgung

Außerdem wurden die Profile aller zugänglichen Bohrungen erfaßt und in einem Bohrarchiv zusammengestellt, das beim Lehrstuhl für Angewandte Geologie in Karlsruhe aufliegt.

Erläuterung der Spalten:

- 1 Laufende Nummer
- 2 Bezeichnung der Quellen, Brunnen und Bohrungen beim ZOV
- 3 Archivnummer der beobachteten Quellen, Brunnen und Bohrungen auf der hydrogeologischen Karte (Taf. 1)
- 4 Nummer der beobachteten Quellen, Brunnen und Bohrungen auf Abb. 8, in den hydrochemischen Tabellen und in der Analysenzusammenstellung
- 5 Nummer der Beobachtungsbrunnen auf der Grundwassergleichenkarte (Abb. 2)

1	2	3	4	5
1	Brunnenstube Steinmauer	1	—	—
2	Qu. Kesselborn	2	—	—
3	Qu. Goldborn	3	—	—
4	Qu. Petershainer Hof	4	—	—
5	Qu. Große Schleife	5	—	—
6	B. 15 Horloffquelle	6	1	6
7	Qu. Atzelbornsgalle	7	—	—
8	Horloffquelle	8	2	—
9	WV Götzen I	9	* 87	—
10	WV Götzen II	10	* 67	—
11	WV Petershainer Hof	11	3	—
12	Qu. Vockenhain	12	—	—
13	Qu. Leihe I	13	—	—
14	Qu. Leihe II	14	—	—
15	Qu. Horfloch	15	—	—
16	Höllerskopfquelle	16	4	—
17	Drainage SE B. 14	17	5	—
18	Qu. Häsels	18	6	—
19	WV Betzenrod	19	7	* 19
20	Qu. Egelhain	20	11	—

1	2	3	4	5
21	Drainage rechts d. Horloff bei B. 14	21	8	—
22	WV Oberseener Hof	22	11	—
23	B. 14 Betzenrod	23	12	23
24	AWV Betzenrod	24	9	—
25	B. 46 Betzenrod II	25	13	25
26	Qu. Mulsau	26	—	—
27	B. Schotten Heilstätte	27	* 90	—
28	Qu. Wenzelsgrund	28	—	—
29	Qu. Kiliansherberge	29	14	—
30	WV Kiliansherberge	30	—	—
31	Qu. Schifferbach	31	—	—
32	Wetterquelle	32	—	—
33	B. 13 Jägerhaus	33	15	33
34	Qu. Thomasbügel I	34	—	—
35	Qu. Thomasbügel II	35	—	—
36	WV Jägerhaus	36	16	—
37	WV Gonterskirchen	37	17	—
38	WV Einartshausen	38	18	—
39	Brunnen Einartshausen Kirche	39	19	—
40	Qu. Lingelbach	40	20	—
41	Qu. Einartshausen N + S	41	—	—
42	Qu. Höhe 327,5	42	—	—
43	B. 12 Laubacher Wald	43	22	43
44	Qu. Forstwiese	44	—	—
45	Qu. Wochenendsiedlung Gonterskirchen	45	21	—
46	Qu. Gonterskirchen	46	24	—
47	Qu. Bauwald	47	—	—
48	WV Stornfels	48	* 96	—
49	461/28 Gonterskirchen Schule	49	23	+49
50	461/29 Gonterskirchen Forsthaus	50	26	+50
51	Qu. Atzelberg	51	—	—
52	Qu. Gier	52	—	—
53	B. 58 Hochsitz	53	28	53
54	Drainage Silbach	54	27	—
55	Qu. Silbach	55	—	—
56	Qu. Volpertskopf	56	—	—
57	Qu. Steinbügel	57	—	—
58	Qu. Höhe 199,6	58	—	—
59	Qu. Tannenloch	59	—	—
60	Qu. Friedrichshütte	60	30	—
61	B. 10 Friedrichshütte	61	31	—
62	Qu. Biebergaben	62	—	—
63	B. 9 Langd Hegwald	63	33	63
64	Qu. Platten-Berg	64	—	—
65	B. 23 Rabertshausen	65	32	65
66	Qu. Laubacher Straße	66	29	—
67	Qu. Langd Hegwald	—	—	—
68	Qu. Kammweg	68	35	—

1	2	3	4	5
69	WV Rabertshausen	69	* 93	* 69
70	WV Langd	70	* 84	* 70
70 a	Brunnenstube Biebergaben	70 a	36	—
71	WV Ruppertsburg	71	37	* 71
72	AWV Ruppertsburg	72	34	—
73	Qu. Welsgraben	73	—	—
74	Qu. Merluh	74	—	—
75	Qu. Steinkaute	75	—	—
76	WV Sträuchesmühle	76	38	76
77	B. 19 Langd Steinbruch	77	—	Bohrarch.: 74 Grundwasser- gleichenkarte: 77
78	B. 8 Villinger Wald	78	39	78
79	Qu. Pumpwerk Rodheim	79	—	—
80	WV Rodheim	80	—	* 80
81	Qu. Hoheberg	81	—	—
82	Qu. Eichküppel	82	—	—
83	Qu. Dornbach	83	—	—
84	486/34 a Rodheim Schulbrunnen	84	40	+ 84
85	Qu. Simgeskopf	85	—	—
86	Qu. Elster-Berg	86	42	—
87	461/9 Villingen Königsbrunnen	87	43	+ 87
88	B. 20 Grube Abendstern	88	44	88
89	WV Hessenbrücker- Hammer	89	—	—
90	Qu. Eichköppel	90	—	—
91	Bohrloch 44	91	45	+ 91
92	AWV Röhges	92	41	—
93	Qu. Sauerwiese I	93	—	—
94	Qu. Blaustück	94	—	—
95	B. 7 Wallenberg	95	—	95
96	WV Steines-Mühle	96	46	—
97	Qu. Sauerwiese II	97	—	—
98	Bohrloch 37	98	48	+ 98
99	461/38 Nonnenroth	99	47	+ 99
100	Brunnen Mittel-Schneise	100	50	—
101	Brunnen GF	101	51	101
102	WV Hungen	102	* 85	* 102 a, * 102 b
103	486/10 Inheiden Bahnwärter	103	52	+ 103
104	WW Inheiden	104	53	* 104 a, 104 b, * 104 c, * 104 d, * 104 e, * 104 f, + 104 g, + 104 h
105	486/32 a Trais-Horloff- Station	105	49	105
106	Qu. Oberholz	106	—	—
107	Qu. Löhchen	107	—	—
108	Qu. Galgenberg	108	—	—
109	WV Untermühle	109	* 100	+ 109
110	Gärtnerei Frank	110	55	+ 110

1	2	3	4	5
111	486/31 Trais-Horloff Schulbrunnen	111	57	+111
112	B. 6 Hungen-Drei-Teiche	112	54	112
113	Brunnen am Schwimmbad Hungen	113	56	—
114	WV Hof Mühlsachsen	114	58	—
115	Brunnen Villinger- Weg-Schneise	115	59	—
116	Brunnen Feldheimer See	116	60	+116
117	B. 5 Hungen km 20	117	61	117
118	Qu. Feldheimer See	118	—	—
119	Qu. Feuer-Berg	119	—	—
120	Drainage Riesengrabenweg	120	—	—
121	B. 2 Riesengrabenweg	121	64	121
122	B. 4 Langsdorf Teich	122	63	122
123	Qu. Mittelau	123	—	—
124	Qu. Weidengarten	124	—	—
125	Qu. Oberau I	125	—	—
126	Qu. Oberau II	126	—	—
127	WV Langsdorf Bahnwärter	127	—	—
128	486/13 Langsdorf Linde	128	65	+128
129	Drainage Langsdorf	129	66	—
130	Brunnenstube Riesengrabenweg	130	67	—
131	486/14 Bellersheim	131	68	+208
132	Qu. Gänsberg	132	—	—
133	WV Bellersheim	133	* 83	* 133
134	WV Bettenhausen	134	69	* 134
135	Qu. Winkelwiese	135	—	—
136	WV Lich (Ringstraße)	136	* 91	* 136
137	Qu. Wanne	137	—	—
138	WV Fleischwarenfabrik Dietz	138	—	138
139	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	139	—	* 139
140	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	140	—	* 140
141	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	141	—	* 141
142	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	142	—	* 142
143	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	143	—	* 143
144	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	144	—	* 144
145	Wassererschl. Brauerei Ihring-Melchior, Lich	145	—	* 145
146	WV Birklar	146	* 103	* 146
147	B. 3 Muschenheim	147	70	147
148	WV Lich, Hardt-Berg	148	91	* 148
149	B. Burgelgrund d. Gemeinde Wetterfeld	149	—	* 149
150	WV Wetterfeld	150	—	* 150

1	2	3	4	5
151	Wasserersch. Sägewerk Franz, Laubach	151	—	* 151
152	Wasserersch. Gräfl. Ziegelei, Laubach	152	—	* 152
153	Wasserersch. Fa. Schork, Laubach	153	—	* 153
154	WV Laubach	154	* 86	* 154
155	461/32 Lauter i. d. Marbach	—	—	165
156	B. 30b Lich Stadtwald	—	—	167 b
157	B. 18 Ulfa II	—	Abb. 8	25,
			Analysenreg.: 71	171
158	B. 58 Ulfa I	—	* 72	172
159	B. 21 Forsthaus Glaubzahl	—	—	175
160	B. 28 Wohnbach	—	—	203
161	486/10 Steinheim Alte Schule	—	* 78	+205 a
162	486/35 Steinheim Neue Schule	—	* 77	+205 b
163	B. 27 Berstadt	—	—	+206
164	486/30 Unter-Widdersheim	—	* 74	+207
165	486/15 a Obbornhofen	—	—	+209

6.2. Analysenzusammenstellung

Erklärung der benutzten Abkürzungen:

1. Allgemeines

- = nicht untersucht
- + = qualitativ nachgewiesen
- Spu = Spuren

2. Art der Entnahmestelle

- Bf Br = Bohrfilterbrunnen
- Dr = Drainagerohr
- Pr = Pegelrohr
- Qu F = Quellfassung
- Sch Br = Schachtbrunnen
- T Br = Tiefbrunnen

3. Bodensatz

- kl = klar
- br = braun
- gr = grau
- ro = rötlich
- un = unerheblich

4. Analytiker

- 1 = Staatl. Chem. Untersuchungsamt Gießen
- 2 = Chemisches Untersuchungsamt Oberhessen
- 3 = Hessisches Chemisches Untersuchungsamt
- 4 = selbst durchgeführte Analysen

ANALYSEN zu Blatt 5418 GIESSEN

Analysen-Nr. 91

Datum der Probenahme	Analytiker	Ort der Probenahme	Art der Entnahmestelle	Bodensatz	Temperatur	pH-Wert	Permanganat-Verbrauch	freie Kohlensäure	freier Sauerstoff	Ammoniak	Nitrit	Nitrat	Chlorid	Sulfat	Hydrophosphat	Hydrogenkarbonat	Gesamthärte	Gesamthärte	Karbonathärte	Nichtkarbonathärte	Eisen	Mangan	Kalzium	Magnesium	Natrium	Kalium	ARCHIV-NR.																			
																												KMnO ₄	CO ₂	O ₂	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	GH	KH	NKH	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
																												°C	pH	mg/l										mval	°dH	mg/l				
21.8.1946	3	WV Lich Albacher Quelle	GuF	-	-	7,23	8,0	25,5	-	0	0	+ 25,0	-	-	-	3,0	11,1	-	-	-	-	-	-	-	-	91																				
20.9.1948	3	WV Lich Albacher Quelle	GuF	k1	-	7,10	6,4	34,5	-	0	0	30,9	28,2	-	-	63,8	2,9	12,3	8,1	4,2	0,1	-	-	-	-	91																				
16.8.1949	2	WV Lich Albacher Quelle	GuF	k1	-	-	-	28,8	-	0	0	11,8	27,2	-	-	63,8	2,9	10,6	-	-	-	-	-	-	-	91																				
29.3.1956	1	WV Lich Neubohrung Hardtberg	BfBr	k1	-	-	-	8,2	33,0	4,8	0	0	6,0	18,2	-	-	5,0	16,6	14,0	2,6	0,09	0	-	-	-	91																				
11.3.1958	1	WV Lich Neubohrung Hardtberg	BfBr	k1	11,0	7,00	7,6	22,0	-	0	0	3,0	16,5	-	-	-	5,0	16,6	14,0	2,5	0,10	0	-	-	-	91																				
3.5.1967	1	WV Lich Br.2 Hardtberg	BfBr	k1	-	6,90	4,7	39,6	-	0	0	4,0	25,1	-	-	-	18,3	14,3	4,0	0,05	0	-	-	-	-	91																				
3.5.1967	1	WV Lich Albacher Quelle	GuF	k1	-	6,60	4,7	28,6	-	0	0	14,0	47,8	-	-	-	15,2	7,6	7,6	0,05	0	-	-	-	-	91																				
21.8.1946	3	WV Lich Quelle Breunersberg	GuF	k1	-	7,46	4,0	27,9	-	0	0	0	15,0	-	-	-	5,6	16,6	-	-	-	-	-	-	-	91																				
20.9.1948	2	WV Lich Quelle Breunersberg	GuF	k1	-	7,30	9,2	44,9	-	0	0	5,5	16,3	-	-	127,6	5,8	17,9	16,2	1,7	0,10	-	-	-	-	91																				
16.8.1949	2	WV Lich Quelle Breunersberg	GuF	k1	-	7,50	3,9	25,7	-	0	0	5,9	16,3	-	-	127,6	5,8	11,8	-	-	-	-	-	-	-	91																				
21.8.1946	3	WV Lich Quelle Lohkaute	GuF	-	-	7,42	5,0	29,2	-	0	0	0	16,0	-	-	-	5,3	16,3	-	-	-	-	-	-	-	91																				
20.9.1948	2	WV Lich Quelle Lohkaute	GuF	k1	-	-	-	9,2	33,9	-	0	0	-	20,0	-	-	118,8	5,4	18,8	15,1	3,7	0,10	-	-	-	91																				
16.8.1949	2	WV Lich Quelle Lohkaute	GuF	k1	-	7,40	3,3	31,5	-	Spu	0	+ 15,3	-	-	121,0	5,5	16,4	15,4	0,6	-	-	-	-	-	-	91																				
21.8.1946	3	WV Lich Wingertquelle	GuF	k1	-	6,84	5,0	66,4	-	0	0	Spu	19,0	-	-	-	3,2	11,7	-	-	-	-	-	-	-	91																				
20.9.1948	2	WV Lich Wingertquelle	GuF	k1	-	7,20	7,3	35,0	-	0	0	18,2	20,3	-	-	-	68,2	3,1	12,3	8,7	3,6	-	-	-	-	91																				
16.8.1949	2	WV Lich Wingertquelle	GuF	k1	-	7,40	3,9	28,8	-	0	0	11,8	16,3	-	-	-	96,8	4,4	12,3	0	-	-	-	-	-	91																				
9.9.1949	2	Tiefbr. Ringstraße	TBr	un	-	7,50	6,3	27,3	-	+	0	+ 35,2	-	-	121,0	5,5	-	-	-	-	0,24	0	-	-	-	91																				

ANALYSEN zu Blatt 5419 LAUBACH

Analysen-Nr. 29-31,34,37,38,40-43,46,47,58,63,79,81,86,88,89

12.5.1969	4	Qu Laubacher Straße	Qu F	k1	-	7,0	-	-	-	-	7,4	16,0	33,7	0,0	201,3	-	12,32	9,24	3,08	0,00	0,00	58,52	18,00	4,10	0,22	29	
26.9.1968	4	Qu Friedrichshütte	Qu F	k1	9,8	7,4	-	-	-	-	0,00	16,00	19,20	0,003	291,58	-	15,56	13,38	2,16	0,00	0,00	82,97	17,15	6,68	1,62	30	
28.3.1962	1	B 10 Friedrichshütte	Fr	un	-	7,42	1,2	35,2	-	0	0,00	3,0	11,0	-	-	3,7	11,6	10,4	-	-	-	-	-	-	-	31	
26.9.1968	4	B 10 Friedrichshütte	Fr	r6	8,9	7,3	-	-	-	-	5,4	11,0	11,8	0,054	1218,38	-	10,64	10,02	0,62	0,00	0,00	39,68	22,13	7,74	1,76	31	
26.9.1968	4	AW Ruppertsburg	Qu F	k1	10,1	7,7	-	-	-	-	11,4	29,0	30,0	Spu	154,42	-	14,84	11,20	3,64	0,00	0,00	60,12	27,97	6,02	0,82	34	
12.5.1969	4	WV Ruppertsburg	Bf Br	k1	-	7,3	-	-	-	-	1,6	12,0	10,7	0,0	283,04	-	13,60	12,99	0,61	0,00	0,00	44,09	32,35	7,74	1,91	37	
18.9.1968	4	WV Strüchensmühle	Bf Br	k1	10,6	7,1	-	-	-	-	14,2	11,0	3,5	0,162	239,12	-	11,32	10,98	0,34	0,00	0,00	32,46	29,43	6,13	1,91	38	
12.5.1969	4	Röhthges	Sch Br	k1	-	7,3	-	-	-	-	16,8	22,0	12,5	0,054	1169,58	-	9,64	7,78	1,86	0,00	0,00	35,67	20,06	7,98	4,94	41	
12.5.1969	4	Qu Str Ruppertsburg-Villingen	Qu	k1	-	6,7	-	-	-	-	13,3	17,0	21,0	0,676	113,46	-	8,00	5,21	2,79	0,00	0,00	40,48	10,21	4,80	0,97	42	
13.5.1969	4	Villingen Schule	Bf Br	k1	-	7,2	-	-	-	-	34,8	53,0	5,0	0,0	190,32	-	13,76	8,74	5,02	0,00	0,00	48,90	30,04	7,38	2,27	43	
12.5.1969	4	WV Steinersmühle	Sch Br	k1	-	7,1	-	-	-	-	56,4	44,0	35,7	3,211	366,41	-	20,84	16,83	4,01	0,0	0,0	86,97	37,70	29,55	33,5	46	
18.9.1968	4	461/38 Nonnenroth	Bf Br	k1	9,9	7,6	-	-	-	-	8,2	11,0	4,8	0,0	128,10	-	6,76	5,88	0,88	0,00	0,00	24,85	14,23	5,50	1,30	47	
12.5.1969	4	WV Hof Mühlaschen	Sch Br	k1	-	7,6	-	-	-	-	7,8	30,0	15,5	0,338	350,14	-	18,60	16,07	2,53	0,05	0,02	36,87	58,37	8,10	3,00	58	
29.10.1968	4	B 4 Landesdorf Teich E-Liefe 39,00 m	Pr	k1	9,8	6,9	-	-	-	-	28,6	21,0	13,2	0,0	122,61	-	8,32	5,63	2,69	0,00	0,00	1,01	11,45	6,13	1,01	63	
29.10.1968	4	B 4 Landesdorf Teich E-Liefe 14,50 m	Pr	k1	9,65	7,1	-	-	-	-	12,0	22,0	5,2	Spu	106,14	-	6,72	4,87	1,85	0,00	0,00	29,26	11,31	5,70	1,05	40	
19.7.1962	1	B 30 Lich	Pr	gr br	-	7,41	-	11,0	-	+	+	10,0	27,6	-	-	-	13,0	9,0	4,0	-	-	-	-	-	-	79	
18.9.1968	4	B 30 Lich	Pr	-	-	8,6	-	-	-	-	6,7	15,0	33,9	0,717	198,88	-	11,40	9,13	2,27	0,00	0,00	52,50	17,63	7,62	0,78	79	
28.6.1969	1	WV Ektingshausen	Bf Br	-	-	7,20	-	-	-	-	2,56	9,0	376,93	-	213,5	-	9,50	9,80	0	0,07	0,04	30,70	19,53	-	-	81	
23.1.1968	1	WV Laubach	Bf Br	k1	-	7,41	3,2	24,2	-	0	0	3,5	8,2	-	-	-	9,0	9,0	0	0,05	0	-	-	-	-	86	
11.9.1956	1	WV Lauter	Qu F	k1	11,2	7,42	6,9	17,6	9,4	0	0	7,0	7,4	2,26	-	-	2,1	6,87	5,88	0,99	0,08	0	23,73	15,30	1,6	4,2	88
10.6.1968	1	WV Lauter	Qu F	-	-	6,90	3,8	11,0	-	0	0	3,5	10,2	-	-	-	6,4	6,4	0	0,05	0	-	-	-	-	88	
11.4.1967	1	WV Laubacher Wald	Bf Br	k1	-	6,70	8,8	-	-	0	0	3,0	8,6	-	-	-	7,0	6,4	0,6	0,08	0	-	-	-	-	89	
11.4.1967	1	WV Laubacher Wald	Bf Br	un	-	6,55	8,5	-	-	0	0	2,0	10,4	-	-	-	7,5	4,8	2,7	0,16	0	-	-	-	-	89	
16.1.1957	1	WV Queckborn	Bf Br	k1	9,4	6,85	6,0	19,9	9,0	0	0	11,0	9,4	5,35	0,19	-	2,5	8,25	7,0	1,25	0,1	0	32,95	15,73	7,0	1,7	98
22.1.1959	1	WV Queckborn	Bf Br	k1	10,0	7,15	6,3	17,6	8,3	0	0	12,0	10,6	5,97	0,15	-	2,7	10,05	7,65	2,4	0,02	0,0	45,74	15,73	6,1	1,6	99

ANALYSEN zu Blatt 5420 SCHOTTEN

Analysen-Nr. 1-24, 26, 27, 28, 87, 90

Datum der Probenahme	Analytiker	Ort der Probenahme	Art der Entnahmestelle	Bodensatz	Temperatur	pH-Wert	Permanganat-verbrauch	freie Kohlensäure	freier Sauerstoff	Ammoniak	Nitrit	Nitrat	Chlorid	Sulfat	Hydrophosphat	Hydrogenkarbonat	Gesamthärte	Gesamthärte	Karbonathärte	Nichtkarbonathärte	Eisen	Mangan	Kalzium	Magnesium	Natrium	Kalium	ARCHIV-NR.																																									
																												°C	pH	KMnO ₄	CO ₂	O ₂	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	GH	KH	NKH	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺																				
																																																	mg/l											mval		°dH		mg/l				
24.9.1968	4	B 15 Horloffquelle	Fr	Pöbr	7,1	6,7	-	-	-	-	-	8,8	10,0	11,7	0,0	31,72	-	2,84	1,46	1,38	0,00	0,00	11,22	5,47	1,81	0,62	1																																									
24.9.1968	4	Horloffquelle	Qu	kl	10,1	6,3	-	-	-	-	-	15,2	9,0	25,6	0,406	39,69	-	5,44	1,82	3,62	0,00	0,00	12,83	8,76	2,44	0,27	2																																									
12.5.1968	1	VV Fosthaus Petershainer Hof	BFB	kl	-	6,0	-	-	-	-	-	6,0	8,0	26,7	0,0811	43,02	-	3,92	2,02	1,30	0,00	0,00	14,03	8,39	1,90	0,45	3																																									
24.9.1968	4	Hällarskopf	Qu	kl	8,7	6,6	-	-	-	-	-	6,5	9,0	28,4	0,0	25,01	-	3,24	1,15	2,09	0,054	0,00	11,22	7,30	2,71	0,64	4																																									
17.5.1968	4	Drainage SE B 14	Dr	kl	-	7,4	-	-	-	-	-	14,2	14,0	24,0	0,649	97,60	-	6,84	4,48	2,36	0,00	0,00	23,25	15,56	3,10	0,31	5																																									
24.9.1968	1	Quelle NE Setzenrod	Qu	kl	10,8	7,05	-	-	-	-	-	9,4	15,0	25,4	0,30	86,62	-	6,72	3,98	2,74	0,00	0,00	17,64	18,36	3,40	0,31	6																																									
24.9.1968	4	Quelle in Setzenrod	QuF	kl	9,5	6,8	-	-	-	-	-	2,1	8,0	24,5	0,243	122,61	-	6,72	5,63	1,09	0,00	0,00	25,65	13,50	4,80	2,02	7																																									
17.5.1968	4	Dr.rod. Horloff bei B 14	Dr	kl	-	7,1	-	-	-	-	-	9,8	10,0	24,9	0,649	53,68	-	-	-	-	0,00	0,00	13,63	10,09	2,53	0,18	8																																									
24.9.1968	4	Qu Str Setzenrod-Oberseener Hof	QuF	kl	10,9	7,1	-	-	-	-	-	4,5	7,0	12,5	0,1352	65,88	-	4,16	3,02	1,14	0,00	0,00	14,43	9,24	3,50	0,73	9																																									
12.5.1969	4	Oberseener Hof Brunnenstube	QuF	kl	-	6,8	-	-	-	-	-	4,8	8,0	11,8	0,30	69,54	-	4,36	3,19	1,17	0,00	0,00	13,23	10,94	2,53	0,73	10																																									
12.5.1969	4	Quelle Egelhain	Qu	dkl gr	-	5,7	-	-	-	-	-	3,8	8,0	19,9	2,57	21,35	-	2,40	0,98	1,58	0,00	0,015	9,22	4,86	2,35	0,31	11																																									
28.3.1962	1	B14 Setzenrod	Pr	gr	-	6,55	-	26,4	-	0	0,0	4,0	35,5	-	-	-	3,4	9,7	9,5	0,2	-	-	-	-	-	-	12																																									
17.4.1968	4	B14 Setzenrod I	Pr	dkl gr	7,45	7,5	-	-	-	-	-	17,6	10,0	38,7	0,0	134,81	-	9,36	6,19	3,17	0,00	0,022	46,49	12,40	4,00	1,34	12																																									
24.9.1968	4	B46 Setzenrod II	Pr	rö	8,8	7,5	-	-	-	-	-	3,6	17,0	13,3	0,0	64,05	-	4,60	2,94	1,66	0,15	0,00	14,03	11,43	4,20	0,87	13																																									
12.5.1969	4	Qu B. Källiansherberge	Qu	kl	-	6,0	-	-	-	-	-	3,2	11,0	41,0	0,0676	39,04	-	5,00	1,79	3,21	0,00	0,00	14,43	12,89	2,71	0,18	14																																									
28.3.1962	1	B13 Jägerhaus	Pr	un	-	6,32	-	13,2	-	+	+	4,0	7,6	-	-	-	2,0	6,9	5,9	1,0	-	-	-	-	-	-	15																																									
24.9.1968	4	B13 Jägerhaus E-liefe 24,50 m	Pr	br	9,6	7,6	-	-	-	-	-	4,0	7,0	7,4	0,081	111,02	-	5,68	5,10	0,58	0,009	0,00	23,65	10,21	5,30	1,15	15																																									
24.9.1968	4	B 13 Jägerhaus E-liefe 13,50 m	Pr	kl	9,0	7,4	-	-	-	-	-	4,6	8,0	4,6	0,0	164,70	-	7,92	7,56	0,36	0,00	0,00	19,24	22,62	5,70	1,15	15																																									
24.9.1968	4	VV Jägerhaus	QuF	kl	9,3	7,3	-	-	-	-	-	0,0	6,0	6,0	0,005	162,87	-	7,86	7,48	0,38	0,00	0,00	20,04	22,01	4,10	1,01	16																																									
23.1.1968	1	VV Gonterskirchen	QuF	kl	-	7,52	5,7	13,2	-	0	-	3,0	8,8	-	-	-	-	5,4	5,3	0,1	0,05	0	-	-	-	-	17																																									
24.9.1968	4	VV Gonterskirchen	QuF	kl	10,9	6,9	-	-	-	-	-	6,60	8,00	9,8	0,054	134,20	-	6,84	6,16	0,68	0,00	0,025	23,25	15,56	6,02	0,78	17																																									
17.10.1946	3	VV Einartshausen	Sch Br	kl	-	7,73	9,7	7,0	-	0	0,0	+	5,5	-	-	-	2,6	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	18																																									
26.8.1947	2	VV Einartshausen	Sch Br	kl	-	7,6	4,0	9,7	-	0	0,0	+	5,5	-	-	-	59,4	2,7	7,6	-	-	-	-	-	-	-	18																																									
9.3.1948	2	VV Einartshausen	Sch Br	kl	-	7,3	7,4	10,3	-	0	0,0	9,1	5,5	-	-	-	61,6	2,8	7,8	-	-	-	-	-	-	-	18																																									
11.2.1950	1	VV Einartshausen	Sch Br	fl	-	7,3	3,4	9,9	-	0	0,0	6,5	5,3	-	-	-	2,7	7,6	-	-	-	-	-	-	-	-	18																																									
17.9.1968	4	VV Einartshausen	Sch Br	kl	-	7,02	3,5	13,2	-	4,5	-	-	8,6	-	-	-	-	7,4	6,4	1,0	0,05	0	-	-	-	-	18																																									
24.9.1968	4	VV Einartshausen	Sch Br	kl	-	7,2	-	-	-	-	-	17,6	8,0	16,0	0,0	144,57	-	7,84	5,62	2,21	0,00	0,00	24,85	19,09	4,80	1,71	18																																									
24.9.1968	4	Br Einartshausen	Sch Br	kl	9,7	7,2	-	-	-	-	-	31,7	23,0	41,0	1,109	116,57	-	7,92	5,35	2,57	0,00	0,00	29,66	16,42	13,6	9,1	19																																									
12.5.1969	4	Qu Lingelbach	Qu	kl	-	5,9	-	-	-	-	-	0,9	9,0	30,6	0,0674	24,4	-	2,52	1,12	1,40	0,048	0,00	13,22	6,32	3,50	0,27	20																																									
12.5.1969	4	Qu Wochenandlung Gonterskirchen	Qu	kl	-	6,4	-	-	-	-	-	7,8	7,0	9,6	0,30	185,4	-	9,24	8,51	0,73	0,00	0,123	38,48	16,66	4,80	0,31	21																																									
26.5.1968	4	B12 Laubacher Wald E-liefe 16,00 m	Pr	kl	9,3	6,5	-	-	-	-	-	6,0	11,0	5,4	0,0	197,64	-	9,42	9,07	0,35	0,00	0,00	36,07	19,46	6,24	1,48	22																																									
28.3.1962	1	B 12 Laubacher Wald	Pr	gr	-	6,55	-	33,0	-	0	0,0	2,0	10,0	-	-	-	3,3	9,4	9,2	0,2	-	-	-	-	-	-	22																																									
26.9.1968	4	B 12 Laubacher Wald E-liefe 30,00 m	Pr	kl	9,4	7,6	-	-	-	-	-	2,3	11,0	4,6	0,0	213,5	-	10,40	9,00	0,60	0,00	0,00	38,09	22,01	6,24	1,43	22																																									
26.9.1968	4	Gonterskirchen Fosthaus	Sch Br	rö	9,3	7,8	-	-	-	-	-	3,8	142,0	70,2	0,149	514,84	-	24,66	23,61	1,05	0,0	0,0	40,08	80,38	110,3	13,9	23																																									
24.9.1968	4	Qu Gonterskirchen	Qu	gelb	9,4	7,1	-	-	-	-	-	35,6	23,0	31,1	0,1352	222,00	-	10,54	5,60	4,92	0,00	0,00	42,89	15,93	6,13	1,39	24																																									
26.9.1968	4	Gonterskirchen Schule	Sch Br	gr	9,9	7,4	-	-	-	-	-	2,8	311,0	57,6	0,541	221,43	-	31,92	10,12	1,76	0,0	0,0	151,10	46,82	5,0	15,7	26																																									
1.5.1969	4	Qu d. Silbaches	Qu	kl	-	6,8	-	-	-	-	-	7,6	12,0	12,5	0,30	113,46	-	6,48	5,21	1,27	0,00	0,00	26,02	12,28	4,90	0,4	27																																									
28.3.1962	1	B 11 Hochaitz	Pr	hbr	-	6,3	-	74,8	-	0	0,0	1,0	10,2	-	-	-	1,7	5,9	4,8	1,1	-	-	-	-	-	-	28																																									
26.9.1968	4	B 11 Hochaitz	Pr	gbr	8,2	7,9	-	-	-	-	-	5,2	14,0	4,8	0,0674	86,62	-	4,84	3,98	0,86	0,00	0,00	19,64	9,00	4,20	0,73	28																																									
17.9.1968	1	VV Gätzen	Bf Br	kl	-	6,98	15,4	-	3,8	0	0	6,6	-	-	-	-	-	4,0	3,0	0,1	0,05	0	-	-	-	-	87																																									
23.8.1968	1	Kreis Krankenhaus Schetton	Bf Br	kl	-	7,80	1,9	2,2	-	0	0	4,0	6,0	-	-	-	-	4,7	5,0	-	0,05	0	-	-	-	-	90																																									

ANALYSEN zu Blatt 5518 BUTZBACH

Analysen-Nr. 69,70,82,83,99,103

Datum der Probenahme	Analytiker	Ort der Probenahme	Art der Entnahmestelle	Bodensatz	Temperatur	pH-Wert	Permanganatverbrauch	freie Kohlensäure	freier Sauerstoff	Ammoniak	Nitrit	Nitrat	Chlorid	Sulfat	Hydrophosphat	Hydrogenkarbonat	Gesamtkalkalität	Gesamthärte	Karbonathärte	Nichtkarbonathärte	Eisen	Mangan	Kalzium	Magnesium	Natrium	Kalium	ARCHIV-NR.																				
																												KMnO ₄	CO ₂	O ₂	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Cl ⁻	SO ₄	HPO ₄	HCO ₃	GH	KH	NKH	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	
																												mg/l											mval		*dH		mg/l				
																												*C	pH																		
10.10.1935	2	WV Bettenhausen	8fBr	k1	-	-	6,8	27,5	-	0	0	+	24,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69																				
21.6.1936	2	WV Bettenhausen	8fBr	k1	-	7,45	1,1	22,0	-	-	0	+	27,2	21,8	-	122,1	-	17,4	15,5	1,9	0	0	-	-	-	-	69																				
2.11.1939	2	WV Bettenhausen	8fBr	k1	-	7,20	6,4	40,7	-	0	0	+	30,2	-	-	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69																				
20.5.1946	2	WV Bettenhausen	8fBr	-	-	7,43	4,0	33,0	-	0	0	+	35,0	-	-	-	6,1	18,3	-	-	-	-	+	-	-	-	69																				
1.10.1947	2	WV Bettenhausen	8fBr	k1	-	7,40	6,9	30,4	-	0	0	+	32,0	-	-	-	6,0	-	16,8	-	-	-	-	-	-	-	69																				
30.9.1948	2	WV Bettenhausen	8fBr	k1	-	7,40	6,7	30,8	-	0	0	3,8	32,2	-	-	-	6,0	-	16,8	-	-	-	-	-	-	-	69																				
23.1.1968	1	WV Bettenhausen	8fBr	-	-	7,58	3,8	35,2	-	0	0	1,0	42,2	-	-	-	-	20,5	18,2	2,3	0,19	0	-	-	-	-	69																				
12.5.1969	4	WV Bettenhausen	Pr	k1	-	7,30	-	-	-	-	0,6	46,0	21,0	0,054	359,9	-	19,8	16,5	3,3	0,00	0	72,54	41,95	10,57	2,61	69																					
18.9.1968	4	B 3 Muschenheim	Pr	k1	9,9	8,20	-	-	-	-	0,0	8,0	14,4	0,067	157,4	-	8,5	7,2	1,2	0,00	0	22,85	23,10	1,18	2,61	70																					
23.1.1968	1	WV Muschenheim	8fBr	k1	-	7,25	3,8	45,2	-	0	0	9,0	34,4	-	-	-	22,1	15,7	6,4	0,05	0	-	-	-	-	82																					
21.10.1936	2	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	6,90	5,2	58,3	-	0	0	+	31,2	-	-	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83																				
26.7.1938	2	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	7,08	2,5	42,9	-	0	0	+	34,2	-	-	-	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83																				
26.9.1939	2	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	7,09	4,4	52,8	-	0	0	+	32,2	-	-	-	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83																				
1.12.1941	2	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	6,95	3,8	43,4	-	0	0	+	34,2	-	-	-	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83																				
17.10.1946	3	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	7,16	6,0	-	-	0	0	+	28,0	-	-	-	4,4	16,1	-	-	-	-	-	-	-	-	83																				
17.10.1947	2	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	7,20	6,0	59,8	-	0	0	+	44,1	-	-	127,6	5,8	-	16,2	-	-	-	-	-	-	-	83																				
8.10.1948	2	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	7,30	4,3	44,0	-	0	0	38,0	48,1	-	-	127,6	5,8	-	16,2	-	-	-	-	-	-	-	83																				
21.3.1949	2	WV Bellersheim (neuer Brunnen)	8fBr	k1	-	7,00	4,2	29,7	-	0	0	10,0	25,2	-	-	96,8	4,4	-	12,3	-	-	-	-	-	-	-	83																				
12.5.1949	2	WV Bellersheim (neuer Brunnen)	8fBr	k1	-	7,20	3,6	20,0	-	0	0	8,0	14,3	-	-	-	4,8	11,2	13,4	-	0,20	-	-	-	-	-	83																				
././.	./.	WV Bellersheim	8fBr	k1	-	7,35	-	27,5	-	0	0	5,0	21,2	-	-	-	-	11,8	10,9	0,9	0,05	0	-	-	-	83																					
26.3.1956	1	Neubohrung W Obbornhofen	8fBr	-	12,6	7,22	6,1	22,0	6,8	0	0	24,0	19,9	-	-	-	4,8	16,1	13,4	2,7	0,10	0	-	-	-	99																					
22.12.1955	1	Neubohrung W Birklar	8fBr	k1	-	7,27	6,6	16,5	5,1	0	0	6,0	6,4	-	-	-	5,4	15,5	15,1	0,4	0,10	0	-	-	-	103																					

ANALYSEN zu Blatt 5519 HUNGEN

Analysen-Nr. 32,33,35,36,39,40,44,45,48-57,59-62,64-68,74-77,93

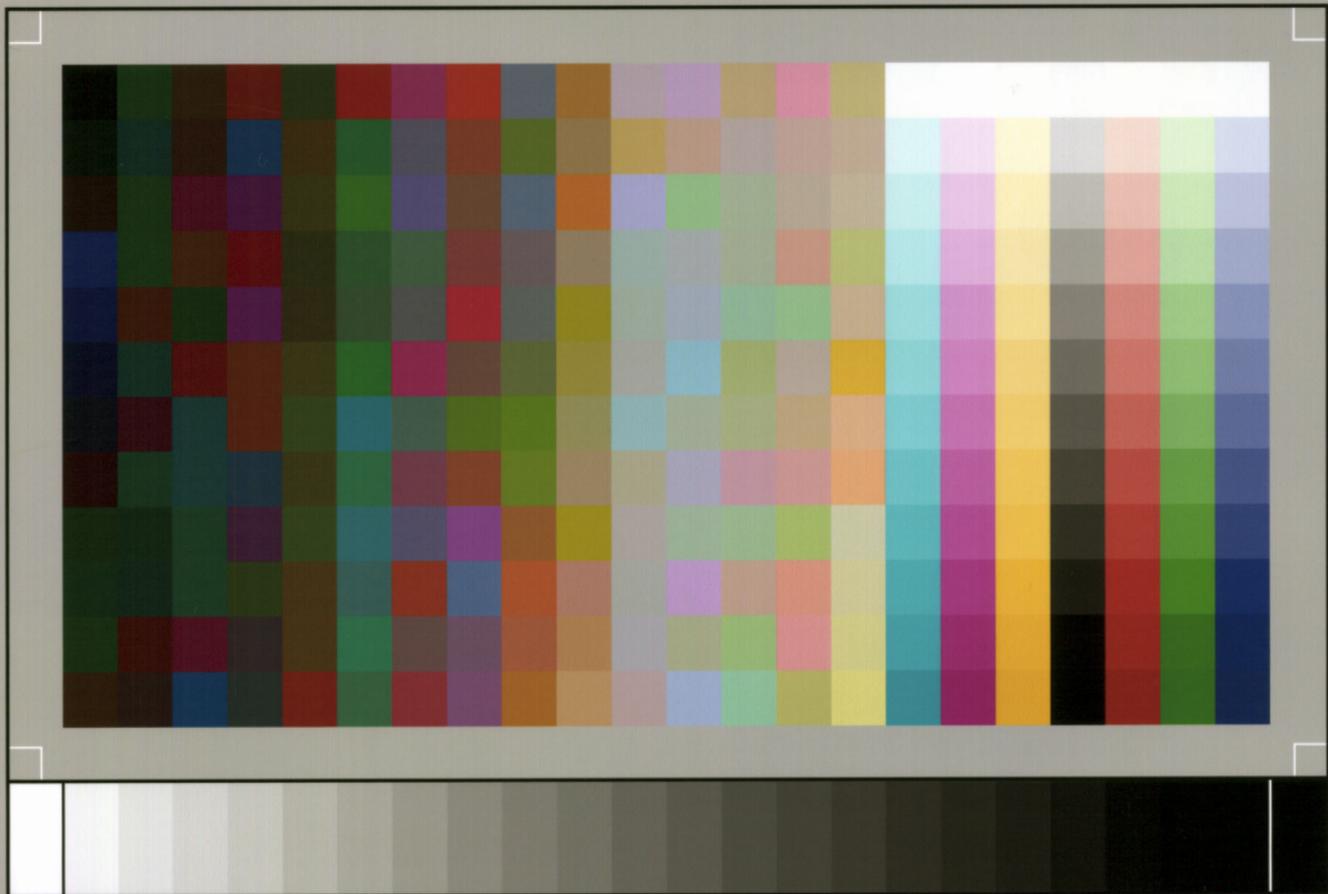
Datum der Probennahme	Analytiker	Ort der Probennahme	Art der Entnahmestelle	Bodensatz	Temperatur	pH-Wert	Permanganat-Verbrauch	freie Kohlensäure	freier Sauerstoff	Ammoniak	Nitrit	Nitrat	Chlorid	Sulfat	Hydrophosphat	Hydrogenkarbonat	Gesamtkalkalität	Gesamthärte		Karbonathärte		Nichtkarbonathärte		Eisen	Mangan	Kalzium	Magnesium	Natrium	Kalium	ARCHIV-NR.													
																		GH	KH	NKH	Fe	Mn	Ca								Mg	Na	K										
																		mg/l													mval		°dH		mg/l								
																		°C	pH	KMnO ₄	CO ₂	O ₂	NH ₄								NO ₂	NO ₃	Cl ⁻	SO ₄	HPO ₄	HCO ₃							
19.7.62	1	B 23 Rabartshausen	Fr	br	-	7,09	-	-	0	0	12,0	42,2	-	-	-	-	-	21,6	17,6	4,0	0	0	-	-	-	-	-	-	32														
23.1.68	1	W Rabartshausen	Fr	BfBr	-	7,03	6,0	68,2	-	-	12,0	41,8	-	-	-	-	-	22,9	17,9	5,0	0,05	0	-	-	-	-	-	-	33														
3.10.1968	4	B 23 Rabartshausen	Fr	rö	br	9,7	7,3	-	-	-	10,6	49,0	43,7	Spu	391,54	-	-	9,42	8,79	0,63	0,00	0,00	36,07	29,43	4,90	1,96	-	32															
28.3.1962	1	B 9 Langd Hagwald	Fr	lbr	-	6,69	-	-	0	0,0	2,0	19,6	-	-	-	-	-	7,9	5,6	2,3	-	-	-	-	-	-	-	33															
19.9.1968	4	B 9 Langd Hagwald	Fr	k1	-	10,2	-	-	-	-	2,0	42,0	18,1	0,0	100,04	-	-	8,36	4,59	3,73	0,00	0,00	43,28	11,19	5,80	1,39	-	33															
12.5.1968	4	Qu Kamweg bei Langd	Du	k1	-	6,4	-	-	-	-	0,6	15,0	41,2	0,054	151,28	-	-	9,72	6,94	2,78	0,00	0,00	43,29	15,81	6,24	0,40	-	35															
12.5.1969	4	W Langd	Qu F	k1	-	7,2	-	-	-	-	7,8	13,0	9,0	Spu	252,54	-	-	12,44	11,52	0,92	0,00	0,00	40,30	24,08	8,10	2,17	-	36															
28.3.1962	1	B 8 Villinger Wald	Fr	gr	-	7,32	-	24,2	-	0	0,0	2,0	16,2	-	-	-	-	12,9	12,3	0,6	-	-	-	-	-	-	-	39															
23.3.1962	4	B 8 Villinger Wald	Fr	k1	-	9,8	7,4	-	-	-	0,0	18,0	19,2	0,0	301,3	-	-	12,04	13,83	-	0,00	0,00	29,68	21,28	5,20	1,30	-	39															
3.10.1968	4	486/34a Rodheia Schulbrunnen	Sch	gr	-	10,3	7,0	-	-	-	22,8	40,0	42,5	10,14	207,40	-	-	9,52	9,52	-	0,0	0,0	30,06	23,10	57,0	43,6	-	40															
19.7.1962	1	B 20 Grube Abendstern	Fr	lbr	-	7,40	-	8,8	-	un	un	6,0	13,4	-	-	-	-	9,9	7,0	2,9	-	-	-	-	-	-	-	44															
13.5.1969	4	B 20 Grube Abendstern	Fr	gr	-	6,3	-	-	-	-	0,6	12,0	41,2	0,352	89,06	-	-	6,72	4,09	2,63	0,03	0,084	29,66	11,19	4,90	1,10	-	44															
15.9.1968	4	Bo 44	Fr	rö	-	9,6	3,7	-	-	-	4,5	5,8	3,0	0,203	205,57	-	-	9,44	9,44	0,00	6,75	0,28	30,08	17,88	34,0	11,0	-	45															
19.9.1968	4	Bo 37	Fr	röBr	-	8,9	7,8	-	-	-	28,5	33,0	8,1	Spu	183,61	-	-	10,00	8,43	1,57	0,0	0,0	29,26	25,66	14,5	11,0	-	48															
18.9.1968	4	486/32a Trais-Horleff Station	Fr	k1	-	10,4	8,1	-	-	-	19,2	20,0	33,2	1,649	211,06	-	-	12,84	9,63	3,21	0,00	0,00	43,69	29,18	9,22	1,62	-	49															
18.9.1968	4	Guljenberg Mittelschweize	Sch	gr	-	9,0	7,7	-	-	-	3,4	32,0	36,9	0,0	168,34	-	-	7,58	7,73	-	0,00	0,00	5,30	13,74	37,5	5,30	-	50															
3.10.1968	4	Geol.Forschungsstelle Hungen	Fr	k1	-	11,6	7,5	-	-	-	5,4	16,0	14,0	0,0675	263,52	-	-	12,84	12,10	0,74	0,00	0,00	44,09	28,94	12,65	3,05	-	51															
10.9.1968	4	486/11 Inhelden Bahwärterhaus	Fr	k1	-	9,7	7,6	-	-	-	21,9	39,0	42,5	Spu	265,53	-	-	16,32	12,18	4,14	0,00	0,00	78,16	23,47	18,0	1,91	-	52															
15.8.1968	4	Br XVI Wk Inhelden	Tör	k1	-	11,5	7,4	-	-	-	6,0	16,0	10,9	Spu	262,91	-	-	13,16	12,07	1,09	0,00	0,00	41,28	31,99	10,0	2,65	-	53															
19.9.1968	4	Br III Wk Inhelden	Tör	k1	-	11,5	7,5	-	-	-	9,3	13,0	8,0	0,0	261,56	-	-	11,52	11,09	0,43	0,00	0,00	38,08	26,87	9,22	2,22	-	53															
18.9.1968	4	B6 Hungen Drei Teiche E-Hofe 15,50m	Fr	gr	-	9,1	7,7	-	-	-	0,0	29,0	18,8	0,1622	236,07	-	-	12,74	10,84	1,92	0,00	0,00	57,72	20,31	8,72	3,15	-	54															
18.9.1968	4	B6 Hungen Drei Teiche E-Hofe 19,70m	Fr	br	-	9,3	8,2	-	-	-	0,0	27,0	17,9	0,2704	242,17	-	-	13,16	11,12	2,04	0,00	0,00	57,72	22,07	8,35	2,95	-	54															
15.9.1968	4	B Gärtnerel Frank	Fr	schw gelb	-	10,7	7,7	-	-	-	33,8	33,0	17,2	0,0	244,61	-	-	15,84	11,23	4,61	0,00	0,00	68,94	26,87	10,9	1,76	-	55															
18.9.1968	4	Br Hungen Schwimbad	Sch	br	-	14,4	7,9	-	-	-	8,0	44,0	42,6	9,0	245,22	-	-	15,20	11,24	3,94	0,00	0,00	68,94	24,20	19,0	7,8	-	56															
19.9.1968	4	486/31 Trais Horleff Schwelle	Sch	k1	-	10,0	7,5	-	-	-	45,3	86,0	105,6	0,0	204,96	-	-	19,60	9,41	10,19	0,012	0,00	74,95	39,46	39,0	1,76	-	57															
1.5.1969	4	Villinger Wegschweize	Sch	br	-	6,7	-	-	-	-	1,8	20,0	5,4	0,0	103,7	-	-	5,52	4,76	0,76	0,102	0,075	16,03	14,23	9,35	0,87	-	59															
19.9.1968	4	Feldheimer See	Sch	k1	-	10,6	7,5	-	-	-	15,2	13,5	14,3	0,0	281,82	-	-	14,06	12,94	1,14	0,00	0,00	52,50	29,31	10,00	2,51	-	60															
18.9.1968	4	B 5 Hungen ka 20	Fr	br	-	10,1	8,3	-	-	-	6,9	10,0	10,2	0,2704	164,05	-	-	8,24	7,53	0,71	0,00	0,00	37,27	13,13	7,50	1,05	-	61															
18.9.1968	4	Meßfelder Hag	Sch	rö	-	14,1	7,7	-	-	-	5,4	11,0	12,6	9,0	150,67	-	-	7,60	6,92	0,68	0,00	0,00	40,88	8,15	4,60	0,91	-	62															
29.10.1968	4	B 2 Riesgrabemag	Fr	k1	-	9,2	7,6	-	-	-	24,6	58,0	58,2	0,0	215,94	-	-	17,36	9,91	7,45	0,00	0,00	78,16	27,85	10,0	2,22	-	64															
18.9.1968	4	486/13 Langsdorf Lins	Sch	schw gr	-	10,8	7,9	-	-	-	81,6	96,0	39,2	0,0	205,57	-	-	20,84	9,45	11,39	0,00	0,0352	18,34	41	19,9	1,76	-	65															
12.5.1969	4	Dr Langsdorf	Fr	schw br	-	7,05	-	-	-	-	12,4	50,0	51,6	0,0	379,42	-	-	26,28	17,42	8,86	0,00	0,00	124,25	30,04	6,57	0,60	-	66															
12.5.1969	4	Dr Riesgrabemag	Dr	k1	-	7,1	-	-	-	-	10,2	45,0	52,2	Spu	347,7	-	-	22,40	15,96	6,52	0,00	0,00	113,83	28,58	6,35	0,31	-	67															
3.10.1968	4	486/14 Bellershaus	Sch	gr	-	10,4	7,9	-	-	-	72,3	199,0	28,5	Spu	166,53	-	-	24,96	7,64	17,32	0,00	0,00	159,57	11,55	26,0	2,42	-	68															
18.9.1968	4	486/30 Unterwiederahm	Sch	br	-	10,3	7,3	-	-	-	58,8	135,0	38,2	0,054	161,04	-	-	16,56	7,39	9,17	0,00	0,00	80,16	23,23	50,0	4,94	-	69															
19.9.1968	4	B 14 Wasservork Inhelden	Fr	-	-	12,0	7,7	-	-	-	1,8	14,0	9,9	0,0676	299,5	-	-	14,72	13,75	0,97	0,015	0,00	48,50	34,53	9,48	2,56	-	75															
19.9.1968	4	Br 42 Wasservork Inhelden	Fr	-	-	10,4	7,8	-	-	-	1,8	17,0	4,4	0,0	123,22	-	-	6,04	5,66	0,38	0,00	0,00	15,63	16,66	9,87	1,86	-	76															
18.9.1968	4	Steinheis neue Schule	BfBr	-	-	11,9	6,95	-	-	-	10,6	15,0	5,5	Spu	362,34	-	-	16,96	16,63	0,33	0,00	0,00	36,87	51,19	12,7	3,35	-	77															

Anschrift des Autors:

Dipl.-Geol. Dr. HERIBERT WALTER
Erdbaulaboratorium Dr. TROPP — Dipl.-Ing. NEFF
6303 Hungen, Königsberger Straße 9

- 29: BAUER, G., u. a.: Beitrag zur Geologie der Mittleren Siegener Schichten. 1960. 363 S., 85 Abb., 10 Tab., 22 Taf., DM 36,-.
- 30: BURRE, O.: Untersuchungen über die Berechnung der dem Grundwasser von den Niederschlägen zugehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. 1960. 68 S., 1 Abb., 8 Tab., 5 Taf., DM 8,60.
- 31: RÖDER, D. H.: Ulmen-Gruppe in sandiger Fazies (Unter-Devon, Rheinisches Schiefergebirge). 1960. 66 S., 4 Abb., 1 Tab., 7 Taf., DM 8,-.
- 32: ZAKOSEK, H.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. 1960. 63 S., 12 Abb., 1 Tab., 2 Taf., DM 11,-.
- 33: KREBS, W.: Stratigraphie, Vulkanismus und Fazies des Oberdevons zwischen Donsbach und Hirzenhain (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1960. 119 S., 21 Abb., 7 Tab., 11 Taf., DM 14,80.
- 34: STOPPEL, D.: Geologie des südlichen Kellerwaldgebirges. 1961. 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf., DM 14,-.
- 35: MATTHES, G.: Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. 1961. 85 S., 3 Abb., 31 Tab., DM 7,60.
- 36: STENGER, B.: Stratigraphische und gefügetektonische Untersuchungen in der metamorphen Taunus-Südrand-Zone (Rheinisches Schiefergebirge). 1961. 68 S., 20 Abb., 4 Tab., 3 Taf., DM 9,-.
- 37: ZAKOSEK, H.: Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal. 1962. 46 S., 1 Abb., 19 Tab., DM 6,80.
- 38: ZIEGLER, W.: Taxionomie und Phylogenie Oberdevonischer Conodonten und ihre stratigraphische Bedeutung. 1962. 166 S., 18 Abb., 11 Tab., 14 Taf., DM 22,60.
- 39: MEISCHNER, KL.-D.: Rhenaer Kalk und Posidonienkalk im Kulm des nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Kohlenkalk von Schreufa (Eder). 1962. 47 S., 15 Abb., 2 Tab., 7 Taf., DM 11,60.
- 40: HOLTZ, S.: Sporen-stratigraphische Untersuchungen im Oligozän von Hessen. 1962. 46 S., 1 Abb., 6 Taf., DM 9,-.
- 41: WALLISER, O. H.: Conodonten des Silurs. 1964. 106 S., 10 Abb., 2 Tab., 32 Taf., DM 12,-.
- 42: KUTSCHER, F.: Register für die Notizblatt-Bände der 5. Folge, Hefte 1—20, erschienen 1916—1939. 1963. 58 S., 1 Taf., DM 7,60.
- 43: EINSELE, G.: Über Art und Richtung der Sedimentation im klastischen rheinischen Oberdevon (Famenne). 1963. 60 S., 8 Abb., 7 Tab., 5 Taf., DM 7,60.
- 44: JACOBSHAGEN, E., HUCKRIEDE, R. & JACOBSHAGEN, V.: Eine Faunenfolge aus dem jungpleistozänen Löß bei Bad Wildungen. 1963. 105 S., 9 Abb., 2 Tab., 14 Taf., DM 12,-.
- 45: KÜMMERLE, E.: Die Foraminiferenfauna des Kasseler Meeressandes (Oberoligozän) im Ahnetal bei Kassel (Bl. Nr. 4622 Kassel-West). 1963. 72 S., 1 Abb., 2 Tab., 11 Taf., DM 9,40.
- 46: SCHENK, E.: Die geologischen Erscheinungen der Subfusion des Basaltes. 1964. 31 S., 6 Abb., 2 Tab., 16 Taf., DM 7,60.
- 47: HÖLTING, B. & STENGEL-RUTKOWSKI, W.: Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. 1964. 37 S., 2 Taf., DM 5,60.
- 48: DIEDERICH, G., LAEMMLER, M. & VILLWOCK, R.: Das obere Biebental im Nordspessart. Neugliederung des Unteren Buntsandstein, Exkursionsführer und geologische Karte. 1964. 34 S., 2 Abb., 5 Tab., 4 Taf., 1 Kte., DM 7,20.
- 49: KUTSCHER, F.: Register für die Notizblatt-Bände der 4. Folge, Hefte 1—35, erschienen 1880—1914. 1965. 56 S., 1 Taf., DM 6,60.
- 50: ZAKOSEK, H., u. a.: Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. 1967. 82 S., 1 Abb., 17 Tab., 1 Atlas, DM 10,-.
- 51: MATTHES, G.: Zur Geologie des Ölschiefervorkommens von Messel bei Darmstadt. 1966. 87 S., 11 Abb., 10 Tab., DM 10,-.
- 52: BERG, D. E.: Die Krokodile, insbesondere *Asiatosuchus* und aff. *Sebecus*?, aus dem Eozän von Messel bei Darmstadt/Hessen. 1966. 105 S., 11 Abb., 6 Taf., DM 11,20.
- 53: HÖLTING, B.: Die Mineralquellen in Bad Wildungen und Kleinern (Landkreis Waldeck, Hessen). 1966. 59 S., 7 Abb., 9 Tab., DM 7,-.
- 54: SOLLE, G.: Hederelloidea (Cyclostomata) und einige stenostome Bryozoen aus dem Rheinischen Devon. 1968. 40 S., 1 Tab., 5 Taf., DM 5,-.
- 55: SCHNEIDER, J.: Das Ober-Devon des nördlichen Kellerwaldes (Rheinisches Schiefergebirge). 1969. 124 S., 24 Abb., 1 Taf., DM 15,-.
- 56: HORST-FALKE-Festschrift. 1970. 228 S., 71 Abb., 10 Tab., 23 Taf., 1 Bild, DM 14,-.
- 57: MEISL, S.: Petrologische Studien im Grenzbereich Diagenese-Metamorphose. 1970. 93 S., 70 Abb., 2 Tab., DM 11,-.

- 58: MATTHES, G.: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. 1970. 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf., DM 12,-.
- 59: SOLLE, G.: *Brachyspirifer* und *Paraspirifer* im Rheinischen Devon. 1971. 163 S., 1 Diagr., 20 Taf., DM 30,-.
- 60: HEINZ-TOBIEN-Festschrift. 1971. 308 S., 58 Abb., 12 Tab., 32 Taf., 1 Bild, DM 24,-.
- 61: WIRTZ, R.: Beitrag zur Kenntnis der Paläosole im Vogelsberg. 1972. 159 S., 2 Abb., 21 Tab., DM 19,-.
- 62: BUGGISCHE, W.: Zur Geologie und Geochemie der Kellwasserkalke und ihrer begleitenden Sedimente (Unteres Oberdevon). 1972. 68 S., 19 Abb., 6 Tab., 13 Taf., DM 16,-.
- 63: THEWS, J.-D.: Zur Typologie der Grundwasserbeschaffenheit im Taunus und Taunusvorland. 1972. 42 S., 27 Abb., 7 Tab., 2 Taf., DM 12,-.
- 64: STEPHAN-HARTL, R.: Die altmiozäne Säugetierfauna des Nordbassin und der Niederräder Schleusen-kammer (Frankfurt/M., Hessen) und ihre stratigraphische Stellung. 1972. 97 S., 16 Abb., 11 Tab., 24 Taf., DM 21,-.
- 65: BOY, J. A.: Die Branchiosaurier (Amphibia) des saarpfälzischen Rotliegenden (Perm, SW-Deutschland). 1972. 137 S., 70 Abb., 2 Tab., 2 Taf., DM 17,-.
- 66: BARTH, H.: Petrologische Untersuchungen im Felsberg-Zug (Bergsträßer Odenwald). 1972. 85 S., 16 Abb., 11 Tab., 8 Taf., DM 12,-.
- 67: KUSTER-WENDENBURG, E.: Die Gastropoden aus dem Meeressand (Rupelium) des Mainzer Tertiärbeckens. 1973. 170 S., 8 Taf., DM 21,-.
- 68: NEUFFER, FR. O.: Die Bivalven des Unteren Meeressandes (Rupelium) im Mainzer Becken. 1973. 113 S., 13 Taf., DM 25,-.

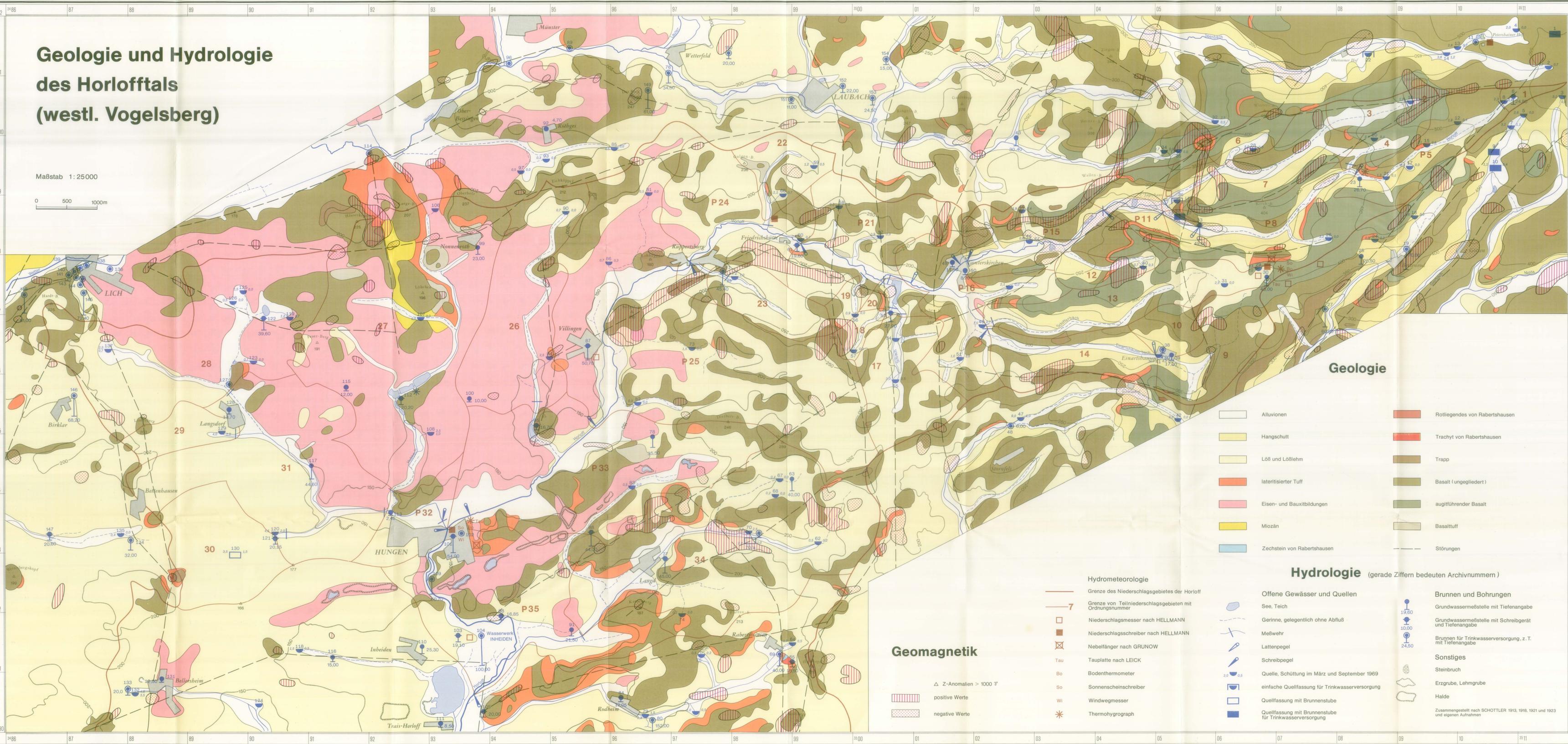


SP050509001

ScanPrint® *autopilot* Scan Target v2.0

Geologie und Hydrologie des Horlofftals (westl. Vogelsberg)

Maßstab 1:25000
0 500 1000m



Geologie

- Alluvionen
- Hängschutt
- Löß und Lößlehm
- lateritisierter Tuff
- Eisen- und Bauxitbildungen
- Miozän
- Zechstein von Raberthausen
- Rotliegendes von Raberthausen
- Trachyt von Raberthausen
- Trapp
- Basalt (ungegliedert)
- augitführender Basalt
- Basaltuff
- Störungen

Hydrometeorologie

- Grenze des Niederschlagsgebietes der Horloff
- Grenze von Teilniederschlagsgebieten mit Ordnungsnummer
- Niederschlagsmesser nach HELLMANN
- Niederschlagsreiber nach HELLMANN
- Nebelfänger nach GRUNOW
- Tau
- Bodenthermometer
- Sonnenscheinschreiber
- Windwemesser
- Thermohyograph

Geomagnetik

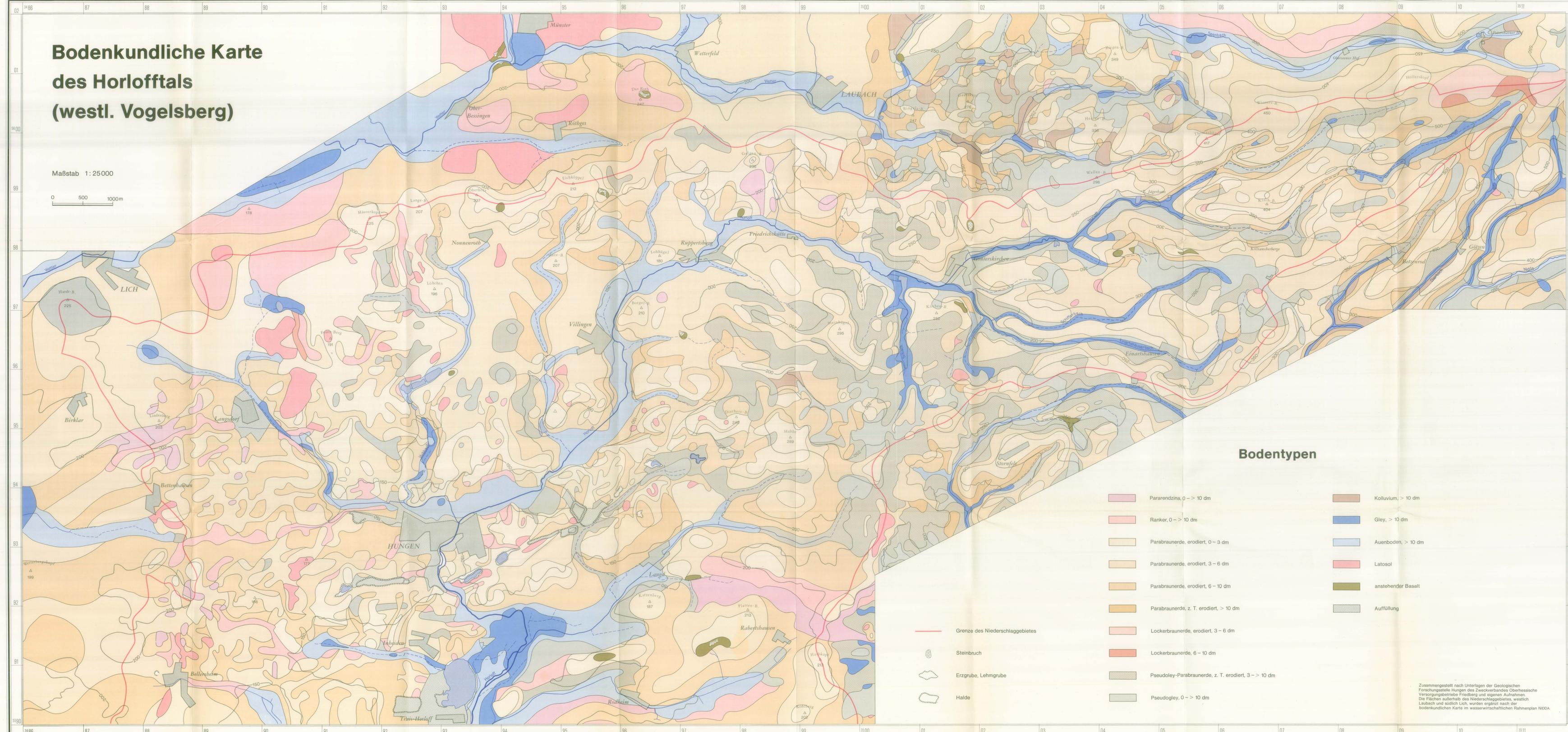
- ΔZ -Anomalien $> 1000 \gamma$
- positive Werte
- negative Werte

Hydrologie (gerade Ziffern bedeuten Archivnummern)

- Offene Gewässer und Quellen
 - See, Teich
 - Gerinne, gelegentlich ohne Abfluß
 - Meßwehr
 - Lattenpegel
 - Schreibpegel
 - Quelle, Schüttung im März und September 1969
 - einfache Quelfassung für Trinkwasserversorgung
 - Quelfassung mit Brunnenstube
 - Quelfassung mit Brunnenstube für Trinkwasserversorgung
- Brunnen und Bohrungen
 - Grundwassermeßstelle mit Tiefenangabe
 - Grundwassermeßstelle mit Schreibgerät und Tiefenangabe
 - Brunnen für Trinkwasserversorgung, z. T. mit Tiefenangabe
 - Sonstiges
 - Steinbruch
 - Erzgrube, Lehmgrube
 - Halde
 - Zusammengestellt nach SCHÖTTLER 1913, 1918, 1921 und 1923 und eigenen Aufnahmen

Bodenkundliche Karte des Horlofftals (westl. Vogelsberg)

Maßstab 1:25000



Bodentypen

- Pararendzina, 0 -> 10 dm
- Ranker, 0 -> 10 dm
- Parabraunerde, erodiert, 0 - 3 dm
- Parabraunerde, erodiert, 3 - 6 dm
- Parabraunerde, erodiert, 6 - 10 dm
- Parabraunerde, z. T. erodiert, > 10 dm
- Lockerbraunerde, erodiert, 3 - 6 dm
- Lockerbraunerde, 6 - 10 dm
- Lockerbraunerde, 6 - 10 dm
- Pseudogley-Parabraunerde, z. T. erodiert, 3 -> 10 dm
- Pseudogley, 0 -> 10 dm
- Kolluvium, > 10 dm
- Gley, > 10 dm
- Auenboden, > 10 dm
- Latosol
- anstehender Basalt
- Auffüllung

- Grenze des Niederschlagsgebietes
- Steinbruch
- Erzgrube, Lehmgrube
- Halde

Zusammengestellt nach Unterlagen der Geologischen Forschungsstelle Hungen des Zweckverbandes Oberhessische Versorgungsbetriebe Friedberg und eigenen Aufnahmen. Die Flächen außerhalb des Niederschlagsgebietes, westlich Laubach und südlich Lich, wurden ergänzt nach der bodenkundlichen Karte im wasserwirtschaftlichen Rahmenplan NDDA.