

## Versickerung von Niederschlägen in Deckschichten und im Gebirge des pfälzischen Buntsandsteingebietes

HUBERT HEITALE

**Kurzfassung:** Durch Beobachtungen und Versuche wurde die Versickerung von Niederschlägen und die Grundwassererneuerung im Buntsandsteingebiet der Pfalz erkundet. Es zeigte sich, daß innerhalb vieler Gebiete im Hauptbuntsandstein Niederschläge und Zuflüsse zu einem großen Teil versickern und nach Erreichen der Feldkapazität der Böden das nutzbare Grundwasser anreichern.

**Abstract:** By observations and experiments the infiltration of precipitates and the recharge of ground water in the Buntsandstein of the Palatinate was found. It became evident that within many areas of the Hauptbuntsandstein precipitations and inflows to a great extent infiltrate and enrich the utilizable ground water reservoir after reaching the field capacity of the soils.

### 1. Einleitung

Die verstärkte Nutzung des Grundwassers im Buntsandstein der Pfalz und des Saarlandes gab seit einiger Zeit Anlaß zu hydrogeologischen Untersuchungen in diesen Gebieten. Besonderes Interesse galt dabei der Grundwassererneuerung.

Ausgehend von verschiedenen Arbeiten im Buntsandstein der Westpfalz (Abb. 1) werden die Versickerung der Niederschläge und damit die Möglichkeiten der Grundwassererneuerung sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht näher untersucht.

### 2. Aufbau von Deckschichten und Gebirge

In der Pfälzer Triasmulde (Pfälzer Wald, Zweibrückener Westrich) bilden die einzelnen Schichtglieder des Buntsandsteins und teilweise auch die des Muschelkalks eine Stufenlandschaft. Die flache Lagerung und die ziemlich gleichbleibende Abfolge der Schichten bedingen, daß von Höhenzug zu Höhenzug Morphologie und Deckschichten nur wenig wechseln. Eine Besonderheit stellt die Westpfälzische Moorniederung dar.

Im folgenden werden wegen ihrer geringen flächenmäßigen Verbreitung die Basisschichten des Buntsandsteins und die höheren Schichtglieder des Muschelkalks (Mittlerer und Oberer Muschelkalk) nicht näher betrachtet.

#### 2.1. Mittlerer Buntsandstein (Hauptbuntsandstein)

Der etwa 300 bis 500 m mächtige Mittlere Buntsandstein der Pfalz (von unten nach oben in Trifels-, Rehberg und Karlstal- oder Trippstadt-Schichten gegliedert) besteht aus einer Wechselfolge von unterschiedlich stark tonig und kieselig gebundenen Sandsteinen, in die selten Konglomerate und Tonlinsen eingelagert sind; wechselnde Eisengehalte und -verbindungen bedingen verschiedene Rotfärbungen.

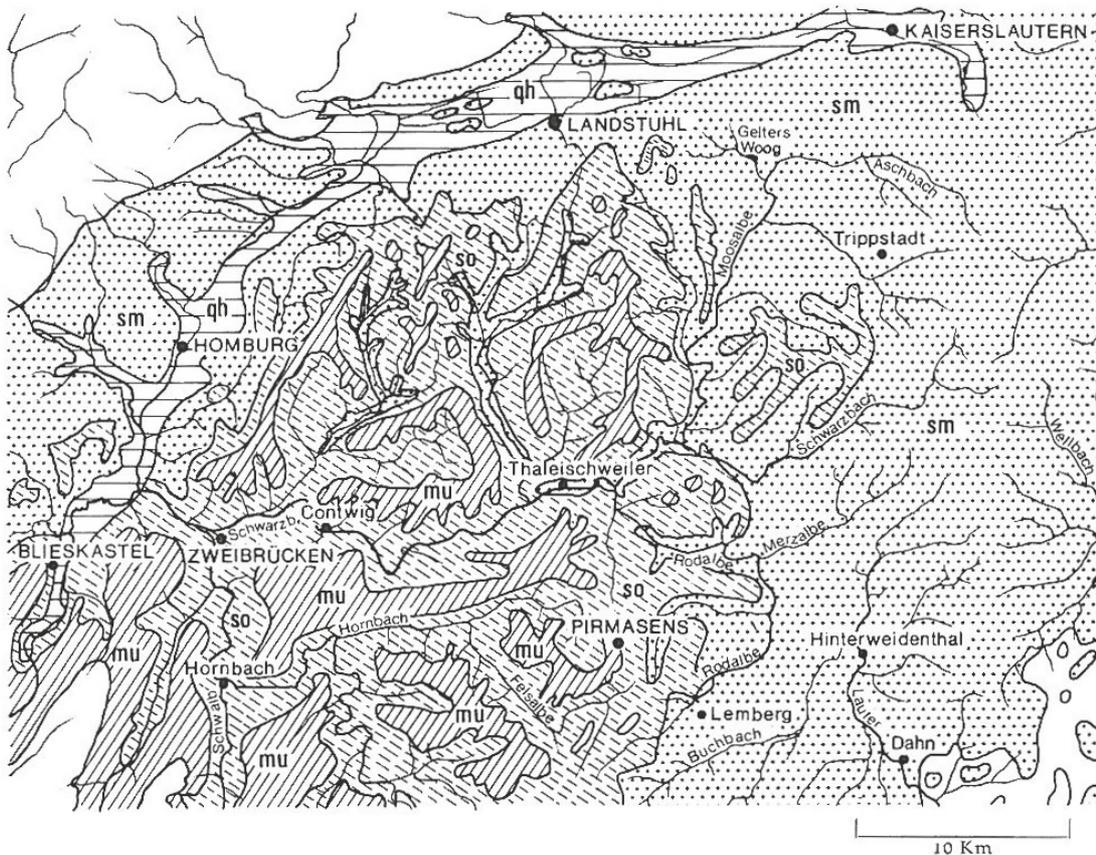


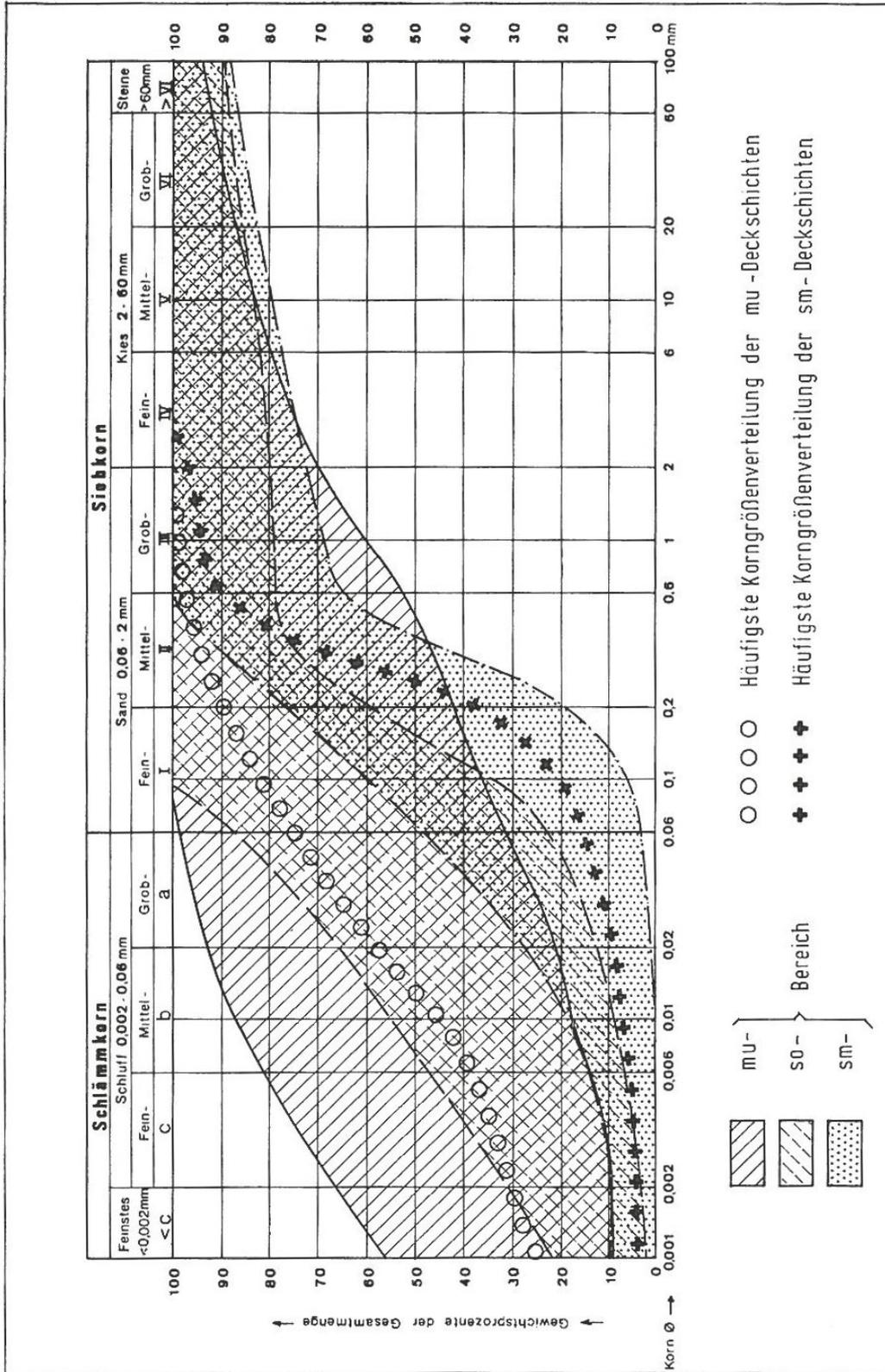
Abb. 1: Geol. Karte der Westpfalz nach einer Bearbeitung von O. ATZBACH (Pfalzatl 1970)

- sm = Mittlerer Buntsandstein (Hauptbuntsandstein)
- so = Oberer Buntsandstein
- mu = Unterer Muschelkalk (hauptsächlich Muschelsandstein)
- qh = Holozän (Moorniederungen, Talbildungen)

Die überwiegend kieselig gebundenen Sandsteine, die häufig auch Gerölle führen, streichen in der Regel als Felszonen zutage. Die tonig bis schwach tonig gebundenen Sandsteine sind oberflächennah meist stark aufgelockert und z. T. bis weit ins Gebirgsinnere hinein nicht als Fels ausgebildet (insbesondere die Unteren und Oberen Karlstal-Schichten); sie sind vielfach so locker, daß sie als Sand abgebaut werden. Zwischen diesen beiden Typen gibt es zahlreiche Übergänge, die allein schon der tektonischen Situation ihre besondere lokale Ausbildung verdanken können.

Im Bereich des Mittleren Buntsandsteins sind die Deckschichten auf den Höhen und an den Berghängen selten mächtiger als einen Meter; an den Talrändern, in den Tälern und Bruchniederungen erreichen sie jedoch mancherorts Mächtigkeiten von über 10 Meter.

Die geringmächtigen Deckschichten bestehen nahezu ausschließlich aus den Verwitterungsrelikten der anstehenden Sandsteine; es sind hauptsächlich locker gelagerte Sande mit meist geringen Gehalten an Ton, Schluff und Kies („Lockersande“; Kornsummenkurven s. Abb. 2). Die an den Talrändern und auf flachen Anhöhen erhaltenen pleistozänen Terrassen bestehen aus einer Wechselfolge von Sand und Kies, worin manchmal



Tonlagen eingeschaltet sind. Auf den Höhen ist Decklehm selten ausgebildet; Auenlehm dagegen ist in den Tälern und Niederungen weit verbreitet und überdeckt häufig Auen- sande und -kiese sowie Torflager.

## 2.2. Oberer Buntsandstein

Der Obere Buntsandstein der Pfalz, 70 bis 90 m mächtig, wird in Zwischenschichten und Voltzien-Sandstein gegliedert. Der Hauptteil der Schichtenfolge, die auf den Hauptbuntsandstein folgenden Zwischenschichten, besteht aus einer mehrmaligen Wiederholung der Abfolge von braunroten, Geröll-führenden und harten Sandsteinpaketen, violettroten bis dunkelroten, dünn-schichtigen und mürben Sandsteinschichten und violetten Tonlagen. Das oberste Drittel oder Viertel des Oberen Buntsandsteins, der Voltzien-Sandstein, besteht hauptsächlich aus dicken, braunroten Sandsteinbänken, die tonig gebunden und gleichmäßig feinkörnig sind (Werkstein). Zwischengeschaltet sind dünne Tonlagen, die nach oben hin mächtiger werden und schließlich die mehrere Meter mächtige Lettenzone (Grenzletten) bilden, über der der Muschelsandstein mit Fossil-führenden Bänken beginnt.

Der Obere Buntsandstein verwittert in der Hauptsache zu einem intensiv dunkelrot gefärbten Fein- bis Mittelsand mit hohem Schluff- und Tongehalten (meist über 20 %; Abb. 2). Während dieses Material im Bereich der Zwischenschichten häufig Grobschutt aus den Geröll-führenden Sandsteinlagen führt, ist es im Bereich des Voltzien-Sandsteins gleichmäßig feinkörnig und führt nur an der Basis der Deckschichten Sandsteinbrocken.

Diese Deckschicht ist meist kaum ein Meter mächtig. Mächtigere Deckschichten mit z. T. ähnlicher Ausbildung wie im Bereich des Hauptbuntsandsteins findet man in der Regel nur an Talflanken und in Tälern.

## 2.3. Unterer Muschelkalk

Der in der Westpfalz etwa 50 m mächtige Untere Muschelkalk wird hier meist in Muschelsandstein und Wellenkalk gegliedert. Aus seinem unteren Teil, dem Muschelsandstein, sind weithin die flachwelligen Höhen der Bergzüge aufgebaut. Der Wellenkalk ist nur selten erhalten und wird deshalb bei der weiteren Betrachtung vernachlässigt.

Der Muschelsandstein besteht aus einer Wechselfolge von braunen, grauen und grau-grünen Sandsteinbänken, Mergeln, Schiefertönen und vielen Übergängen dieser Gesteinsarten. Die Sandsteine sind sehr feinkörnig und haben toniges und karbonatisches Bindemittel.

Die Verwitterungsrelikte auf den Hochflächen mit Muschelsandstein bestehen aus grau- bis gelbgefärbtem, dicht gelagertem Lehm; sie können nahezu frei von Sand sein oder auch sehr viel Sand und Gesteinsschutt aus Sandstein- und Mergelbänken führen (Abb. 2 zeigt, daß die Kornzusammensetzung in weiten Bereichen schwankt).

Die Mächtigkeit dieses oft schichtig aufgebauten Decklehms übersteigt selten einen Meter.

---

Abb. 2: Kornverteilungen (Bereiche von Kornsummenkurven) der Deckschichten aus Verwitterungsrelikten des Mittleren und Oberen Buntsandsteins (sm und so) sowie des Unteren Muschelkalks (mu) aus etwa 100 Analysen (Analytiker: K. SCHMIDT).

### 3. Bestimmung der Durchlässigkeitswerte und Versickerungsgeschwindigkeiten

Die Versickerungsgeschwindigkeit bei maximalem Haftwassergehalt der Böden entspricht etwa dem Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert). In vielen Labor- und Feldversuchen wurden die  $k_f$ -Werte der verschiedenen Deckschichten und der verwitterten und unverwitterten Gesteine des Hauptbuntsandsteins bestimmt oder geschätzt. Die am häufigsten durchgeführten Versuche sollen kurz beschrieben werden.

#### 3.1. Laborversuche

Zur Messung der Filtergeschwindigkeit bei konstantem Druckgefälle wurde die von SCHULTZE & MUHS (1967) beschriebene Versuchsanordnung gewählt.

Die Probengröße war je nach Art der Probe verschieden. Proben aus Deckschichten und stark aufgelockertem Buntsandstein wurden im Gelände mit einem Stechzylinder (Durchmesser 9,6 cm, Höhe 12,0 cm) entnommen und in diesem Entnahmezylinder in das Meßgerät eingebaut. Proben aus festem Buntsandstein wurden in Würfel mit einer Kantenlänge von etwa 6 cm geschnitten. Zur Verfügung stehende Bohrkerne mit einem Durchmesser von etwa 9 cm wurden in 2 bis 5 cm hohe Scheiben zersägt.

Obwohl aus den sandigen Deckschichten und dem aufgelockerten Buntsandstein zahlreiche Kornanalysen angefertigt wurden oder zur Verfügung standen, wurden keine Durchlässigkeitsbeiwerte nach HAZEN bestimmt, da hierfür ein Ungleichförmigkeitsgrad von  $\leq 5$  gefordert wird, der nur ganz selten im Hauptbuntsandstein erreicht wird (der mittlere Ungleichförmigkeitsgrad der untersuchten Lockersande liegt etwa bei 10).

#### 3.2. Feldversuche

Als exakte Feldversuche wurden Versickerungsversuche mit Zylinder-Infiltrometern durchgeführt. Daneben wurden jedoch auch Beobachtungen über Versickerungsvorgänge an künstlichen oder natürlichen Wasseransammlungen und -zuflüssen, bei Auffüllversuchen an Erdlöchern (meist durch Erdbohrer hergestellt) und bei Begehungen während extrem starker Niederschläge gesammelt. Auch die Messungen an einigen im Arbeitsgebiet vorhandenen Lysimetern geben gewisse Aufschlüsse (Näheres bei BOZORGZAD-ARBAB 1970).

Mit Zylinder-Infiltrometern wurden zwei verschiedene Versuche durchgeführt: Einmal wurde ein 1 m langes Rohr ( $\Phi$  10 cm) bis zur Hälfte in den Boden eingeschlagen und dann randvoll mit Wasser gefüllt und der Versickerungsvorgang ungefähr eine Stunde lang am fallenden Wasserspiegel im Rohr verfolgt. Während dieser Zeit erreicht das Wasser normalerweise nicht die Rohrunterkante, so daß in der Regel ein vertikaler Versickerungsvorgang beobachtet wird; man mißt also die Versickerungsrate bei ergiebigen Niederschlägen.

Bei einem weiteren Versuch wird ein 20 cm hoher Doppelzylinder ( $\Phi$  24 und 32 cm) zur Hälfte in den Boden eingeschlagen. Der Versickerungsvorgang wird in gleicher Weise beobachtet wie beim ersten Versuch. Da bei diesem Versuch das einsickernde Wasser meistens die Zylinderunterkante erreicht und somit auch seitlich abfließen kann, wird hier die Versickerung von Oberflächenabfluß in Furchen, Gräben, Dellen und sonstigen kleinen Vertiefungen nachgeahmt.

#### 4. Versuchsergebnisse und Beobachtungen zu ober- und unterirdischem Abfluß

Im folgenden werden je nach Vergleich die  $k_f$ -Werte (Filtergeschwindigkeiten) in verschiedenen Maßeinheiten angegeben. Es seien deshalb an dieser Stelle die Verhältnisse genannt:

$$1 \text{ mm/min} = 1,66 \times 10^{-3} \text{ cm/s} = 1,44 \text{ m/d} \cong 1,71 \text{ Darcy für Wasser von } 20^\circ \text{ C.}$$

Die angegebenen Werte sind auf das Gefälle 1 bezogen; da dieses Gefälle in der Natur selten erreicht wird, sind es gewissermaßen auch maximale Versickerungsgeschwindigkeiten.

##### 4.1. Gesteinsdurchlässigkeit

Bei rund 100 Proben aus dem Hauptbuntsandstein wurde der  $k_f$ -Wert im Labor bestimmt. Fast alle Proben stammten aus Tagesaufschlüssen und somit aus einem Bereich, in dem der Hauptbuntsandstein häufig aufgelockert ist; lediglich bei Felszonen dürfte der an Tagesaufschlußproben ermittelte  $k_f$ -Wert repräsentativ sein für den Durchlässigkeitsbeiwert im Gebirgsinnern.

Im folgenden wird die Variationsbreite bei den ermittelten  $k_f$ -Werten im Bereich der einzelnen Schichtglieder in cm/s angegeben:

Obere Karlstal-Schichten	15 Versuche	$1,8 \times 10^{-3} - 2,8 \times 10^{-5}$
Karlstalfelsregion	4 Versuche	$1,9 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-7}$
Untere Karlstal-Schichten	13 Versuche	$3,0 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-5}$
Rehberg-Schichten	4 Versuche	$1,8 \times 10^{-3} - 2,9 \times 10^{-5}$
Trifels-Schichten	52 Versuche	$4,0 \times 10^{-2} - 1,0 \times 10^{-7}$

Lediglich bei den durch eine größere Anzahl von Proben untersuchten Trifels-Schichten läßt sich ein gut fundierter Mittelwert angeben: er liegt bei  $4,1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ . — Aus den Trifels-Schichten lagen auch 6 Proben aus einer Kernbohrung aus Teufen von 20 bis 75 m vor (Tiefbohrung Bexbach II, R 25 91 266 H 54 68 322); die ermittelten Werte schwanken hierbei von  $2,0 \times 10^{-5}$  bis  $1,0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  (Mittelwert  $4,7 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ).

Die angeführten Werte lassen erkennen, daß die Gesteine der Felszonen (z. B. innerhalb der Trifels-Schichten und Karlstalfelsregion)  $k_f$ -Werte von etwa  $2 \times 10^{-5}$  bis  $1,0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  haben (Mittelwert etwa bei  $5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ). Die im Tagesaufschluß als mehr oder weniger aufgelockerte Sandsteine anstehenden Partien des Hauptbuntsandsteins haben  $k_f$ -Werte von  $4,0 \times 10^{-2}$  bis  $2,0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ .

Bei den Untersuchungen zeigte es sich, daß auch die Schichtung des Gesteins eine gewisse Bedeutung hat; so wurde festgestellt, daß parallel zur Schichtung der  $k_f$ -Wert etwa um eine Zehnerpotenz höher ist als senkrecht dazu.

Es wurde auch versucht, bei einigen Proben aus Tonlagen den  $k_f$ -Wert zu ermitteln, was jedoch nicht gelang, da die Werte wesentlich kleiner sind als  $1,0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$  und dies mit der zur Verfügung stehenden Apparatur nicht mehr gemessen werden konnte.

Von den Gesteinen des Oberen Buntsandsteins und des Unteren Muschelkalks wurden keine  $k_f$ -Werte bestimmt. Es läßt sich jedoch durch Vergleich mit den vorher genannten und in der Literatur angeführten Werten sagen, daß sie innerhalb dieser Schichtenserien im Bereich der für die Felszonen genannten Werte liegen (z. B. bei den Geröll-führenden Sandsteinen der Zwischenschichten) oder kleiner sind als diese; in der Regel sind also die  $k_f$ -Werte im Hangenden des Hauptbuntsandsteins kleiner als  $2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ .

#### 4.2. Durchlässigkeit der Deckschichten

Schon die Kornverteilungen (Abb. 2) lassen erkennen, daß die Durchlässigkeiten der Deckschichten im Bereich des Hauptbuntsandsteins am größten und im Bereich des Muschelkalks am geringsten sein müssen; die Deckschichten des Oberen Buntsandsteins nehmen danach eine Mittelstellung ein.

Die mit den Zylinder-Infiltrometern durchgeführten Bestimmungen (etwa 80 Doppelversuche) erbrachten für die verschiedenen Deckschichten folgende Versickerungsgeschwindigkeiten (Variationsbreite in mm/min):

Deckschicht	Langzylinder- versuch (Gebiets- versickerung)	Doppelzylinder- versuch (Versickerung in Gräben etc.)
Verwitterungsrelikte des Hauptbuntsandsteins (Lockersande)	0,5 – 7,5	0,5 – 8,0
Verwitterungsrelikte des Oberen Buntsandsteins (Sand und Lehm, z. T. kiesig)	0 – 0,5	0 – 6,8
Verwitterungsrelikte des Muschelsandsteins (Lehm mit wechselnden Sand- und Kiesgehalten)	0 – 0,1	0,01 – 1,0
Auenlehm (unterschiedlich sandiger Lehm)	0 – 0,25	0,02 – 20
Torf (meist unter 50 <sup>0</sup> %, z. T. aber über 90 <sup>0</sup> % organische Substanz)	0,01 – 1,1	2,3 – 18

Die einzelnen Versuche wurden bei verschiedenen Wassergehalten der Deckschichten durchgeführt. Dabei zeigte es sich, daß mit steigendem Wassergehalt die Versickerungsgeschwindigkeiten beim Torf wesentlich und beim Sand geringfügig niedriger liegen. Bei den sehr viel weniger durchlässigen Lehmböden war eine ähnliche Beziehung nicht klar zu erkennen; es ergab sich aber, daß im Verlauf des Versuches hier die Versickerungsgeschwindigkeiten häufig kleiner oder auch Null werden (z. T. auch beim Torf), während sie bei Lockersanden konstant bleiben.

Sondierbohrungen in den Talauen und auf Bergzügen mit Oberem Buntsandstein und Muschelsandstein ließen erkennen, daß die lehmigen Deckschichten zur Basis hin oft grobkörniger werden und Gesteinsschutt bzw. Kies führen. Bei Auffüllversuchen in den Bohrlöchern wurden im unteren Teil solcher Deckschichten z. T. ähnlich hohe Durchlässigkeiten ermittelt wie bei Lockersanden.

Bei 26 Proben aus Lockersanden wurde durch Laborversuche der Durchlässigkeitsbeiwert bestimmt; es ergaben sich  $k_f$ -Werte von  $6,7 \times 10^{-2}$  bis  $3,8 \times 10^{-5}$  cm/s (Mittelwert etwa bei  $1,2 \times 10^{-2}$  cm/s = 7,2 mm/min).

Durch einen Färbversuch, der an einem Lysimeter im Hauptbuntsandstein zusammen mit einem Beregnungsversuch durchgeführt wurde, läßt sich die Bahngeschwindigkeit (wahre Geschwindigkeit eines Wasserteilchens) abschätzen. Die Lysimeteranlage steht in weniger gut durchlässigen sandigen Deckschichten (Sande mit über 20<sup>0</sup>% Schluff und Ton) am Rande des Werbeler Bachtals bei Ludweiler/Warndt (Saarland). Nach den ungefähren Angaben (BOZORGZAD-ARBAB 1970, S. 64) beträgt die Bahngeschwindigkeit hierbei etwa 1 bis 2 mm/min, was in diesem Fall einem  $k_f$ -Wert von etwa 0,2 bis 0,4 mm/min entspricht. Im Verlauf des Beregnungsversuches nahm die Versickerungs-

geschwindigkeit laufend ab (innerhalb mehrerer Stunden von über 2 bis praktisch 0 mm/min); die Werte sind daher nicht repräsentativ für die Lockersand-Deckschichten und deuten schon in manchem auf die Eigenschaften sandigen Auenlehms hin.

#### 4.3. Versickerung und Abflüsse

Bei Begehungen in der Westpfalz fällt auf, daß in den Talauen und auf den Höhen mit Oberem Buntsandstein und Muschelsandstein mancherorts kleine Seen und Tümpel zu finden sind. Meist handelt es sich um Fischweiher mit Quellwasserzuflüssen. Die Tümpel auf der Höhe ohne Zu- und Abfluß sind vielfach sogenannte Mardellen, eine Besonderheit dieser Landschaft; sie werden als Wassersammelstellen oder Lehmgruben früher Siedlungsepochen gedeutet (STÖHR 1970, S. 561).

Die geringe Durchlässigkeit der lehmigen Deckschichten wird außer durch das Vorhandensein stehender Gewässer hoch über dem Grundwasserspiegel im Gebirge auch noch durch Oberflächenabfluß und Staunässe nach ergiebigen Niederschlägen oder der Schneeschmelze erwiesen; auf dem Decklehm der Muschelsandstein-Flächen bildet sich besonders schnell Oberflächenabfluß.

Ganz anders ist das Erscheinungsbild bei den Hängen und Höhen des Hauptbuntsandsteins mit Lockersand-Deckschichten. In solchen Gebieten findet man keine natürlichen und selten künstliche Wasseransammlungen. Ebenso wie kleinere Wasserläufe versickern auch die Niederschläge — soweit sie nicht verdunsten — hier fast überall vollständig. Kleinere Staunässeflächen sind an Quellenaustritte gebunden und gehen vielfach mit Torfbildungen einher.

Aus diesen Beobachtungen und den oben angegebenen  $k_f$ -Werten und Versickerungsgeschwindigkeiten ergibt sich, daß die Deckschichten der Täler und der Gebiete im Oberen Buntsandstein oder Muschelsandstein im allgemeinen nur eine geringe Versickerung zulassen; dagegen ist die Durchlässigkeit der Lockersande so hoch, daß sogar die sehr selten auftretenden Niederschläge mit Intensitäten  $\geq 1$  mm/min (Starkniederschläge) noch größtenteils versickern können.

Nach Erreichen der Feldkapazität (max. Haftwassermenge der Böden bzw. Deckschichten; Beispiel für Lockersande in Abb. 3) kann das Sickerwasser bei entsprechender Durchlässigkeit in den Gebirgskörper eindringen; vorher versickern die Niederschläge nur stellenweise in den tieferen Untergrund (z. B. in Gebieten ständiger starker Durchfeuchtung, an zutage streichendem klüftigem Fels, im Wald als Stammabfluß, an Deckschichtenlücken jedweder Art).

Je nach Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit sind für das weitere Abfließen des Sickerwassers verschiedene Fälle denkbar: vollständiges Einsickern in das Gestein (evtl. nach Auffüllen einer fehlenden Haftwassermenge), teilweises Einsickern in das Gestein und Abfließen in den Gebirgskörper über partiell erweiterte Klüfte oder Spalten bzw. z. T. auch Abfließen an der Basis der Deckschichten (Deckschichtenabfluß), hauptsächlich Deckschichtenabfluß ohne nennenswertes Einsickern in das Gestein oder den Gebirgskörper. Nach den Geländeuntersuchungen und den ermittelten oder geschätzten Durchlässigkeitsbeiwerten ist je nach Schichtenfolge der eine oder andere Fall vorherrschend.

Für die mürben und nur undeutlich geklüfteten Sandsteinpartien des Hauptbuntsandsteins (eine Besonderheit des pfälzischen und saarländischen Buntsandsteins) kann man in grober Vereinfachung als Durchlässigkeitsbeiwert 1 mm/min angeben (Zahlen in 4.1.). Der mittlere  $k_f$ -Wert des Gesteins der Felszonen wurde mit  $5 \times 10^{-6}$  cm/s angegeben, was etwa 4 mm/d entspricht. Durch die Klüftung ist jedoch die Gebirgsdurchlässigkeit

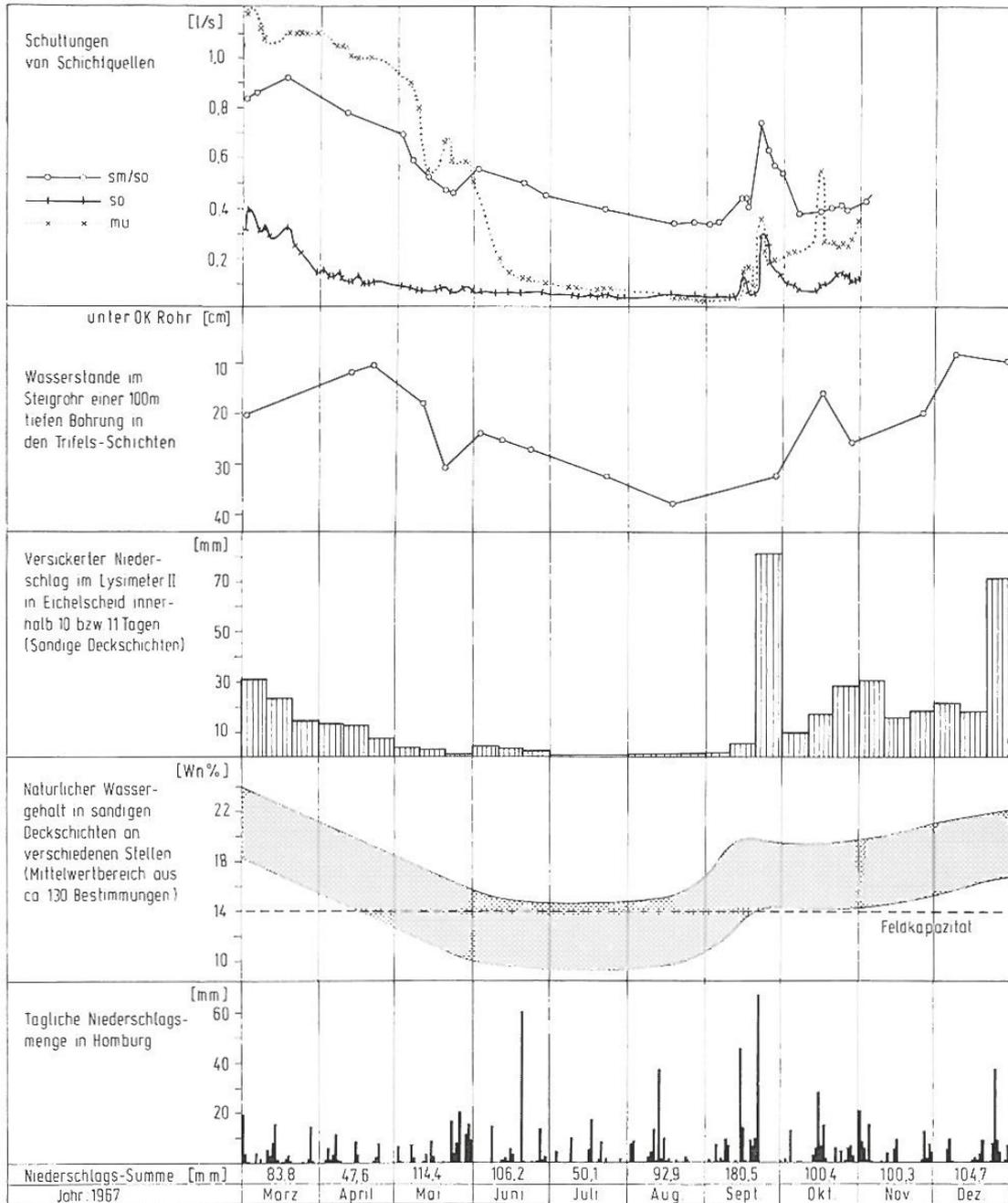


Abb. 3: Beispiele für Versickerung, Quellschüttungen (Kluftwasserabfluß) und Brunnencharakteristik aus Bl. 6610 Homburg

mu-Quelle (Quelle beim Friedhof in Rosenkopf; R 26 04 320 H 54 68 690)

so-Quelle (Possberg-Quelle bei Lambsborn; R 26 03 180 H 54 68 690)

sm/so-Quelle (Quelle[n] am Karlsbergweiher bei Homburg; Tiefbrunnen in den Trifels-Schichten, R 26 00 200 H 54 74 330)

Lysimeter II beim Eichelscheiderhof (R 26 00 000 H 54 72 200)

höher; nach der Auswertung zahlreicher Pumpversuche an Wasserbohrungen (EINSELE & SCHIEDT 1970) kann als mittlerer  $k_f$ -Wert des Gebirges  $5 \times 10^{-4}$  cm/s angenommen werden (entsprechend ungefähr 400 mm/d).

Diese Werte lassen erkennen, daß im Hauptbuntsandstein außerhalb der Täler im allgemeinen kein großflächiger Deckschichten-Abfluß zustande kommt. Das in den Gebirgskörper eingeflossene Wasser kann zu einem kleineren Teil am Hang als Kluftquelle bzw. Verwerfungsquelle (z. B. Hungerbrunnen bei Kaiserslautern; DILMANN 1953, S. 16) oder seltener als Schichtquelle wieder ausfließen; in der Hauptsache fließt es jedoch bis in Höhe des Hauptgrundwasserspiegels ab, der sich im Niveau der größeren Vorfluter oder etwas darüber befindet. Dies bezeugen die zahlreichen und meist sehr ergiebigen Talrand- und Talbodenquellen in den größeren Hauptbuntsandsteintälern. Auch die Bildung der in der Westpfalz weit verbreiteten Übergangsmoore kann man durch beständigen seitlichen und artesischen Grundwasserzufluß begründen. Die Beständigkeit des Zuflusses läßt sich durch Abtropfvorgänge aus schlecht durchlässigen und mächtigen sandigen Deckschichten, durch langsames Fließen im Porenraum der Gesteinskörper (Großluftkörper) sowie durch das sehr kleine Gefälle im Bereich des Hauptgrundwasserspiegels erklären (EINSELE 1970, S. 51, 52); es zeigt sich auch im ausgeglichenen Verlauf der Grundwasserganglinien von Tiefbrunnen im Hauptbuntsandstein (s. Abb. 3).

Im Oberen Buntsandstein ist die Gebirgsdurchlässigkeit im Bereich der Zwischenschichten ebenso hoch wie in den Felszonen des Hauptbuntsandsteins. In den höheren Teilen der Schichtenfolge treten jedoch immer häufiger Tonlagen und Sandsteine mit hohem Schluff- und Tongehalt auf, die nur undeutlich geklüftet sind; die Gebirgsdurchlässigkeit ist hier deshalb sehr niedrig und das Grundwasser zirkuliert in der Hauptsache nur noch im Bereich einiger gut durchlässiger Sandsteinbänke. Daraus ergibt sich, daß z. T. Deckschichtenabfluß und z. T. Abfluß in den Klufttraum überwiegt; Sickervorgänge im Porenraum der einzelnen Kluftkörper spielen nur eine untergeordnete Rolle, gewährleisten aber zusammen mit Abtropfwasser aus den sandig-lehmigen Deckschichten einen relativ beständigen Quellabfluß (s. Abb. 3). Der bei entsprechenden Bodenwassergehalten, besonders im höheren Teil der Schichtenfolge, rasch zustande kommende Oberflächenabfluß kann an günstigen Stellen direkt in den Klufttraum eintreten; dies wird dadurch bestätigt, daß viele Quellen der Zwischenschichten rasch auf Niederschläge ansprechen (s. so-Quellen in Abb. 3) und häufig schon während der Niederschläge stark getrübt sind (Rotfärbung durch erodierten Schluff und Ton).

Im Muschelsandstein sind die Gesteinsdurchlässigkeiten sehr gering; eine gute Gebirgsdurchlässigkeit ergibt sich also nur dort, wo genügend Kluftvolumen vorhanden ist. Dies ist nur im Bereich der meist dünnen und engständig geklüfteten Sandsteinbänke der Fall. Dort, wo die Basis der Deckschichten gut durchlässig ist, können demnach die geringen Sickerwassermengen (Abtropfwasser) aus den Deckschichten und das durch Lücken einströmende Oberflächenwasser Deckschichtenabfluß erzeugen und z. T. auch in den Klufttraum der Sandsteinbänke abfließen. Die Quellen im Muschelsandstein, die vornehmlich über dem Grenzletten austreten, werden ebenso leicht verunreinigt wie die so-Quellen und zeigen noch viel stärkere Schüttungsschwankungen (s. Abb. 3). Es überwiegt also der rasche Kluftwasserabfluß; Abtropfwässer aus Deckschichten oder Gesteinskörpern (Porenraum) spielen vergleichsweise eine geringe Rolle.

## 5. Zusammenfassung und Folgerungen

Der Buntsandstein der flachen, schwach nach SW abtauchenden Pfälzer Triasmulde wird etwa westlich der Linie Landstuhl–Pirmasens teilweise von Muschelkalk überdeckt. In

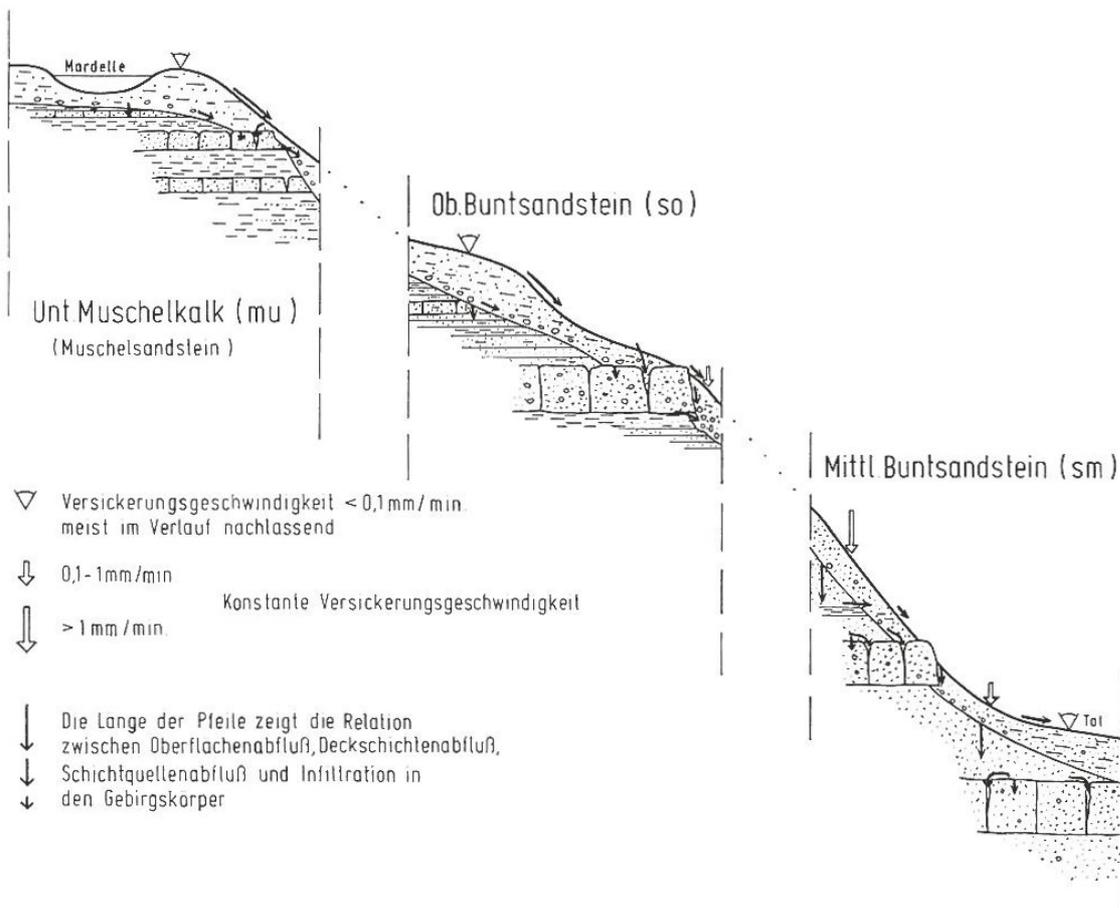


Abb. 4: Schematische Darstellung der Versickerungsgeschwindigkeiten innerhalb größerer Flächen und der Abflüsse von Oberflächen-, Sicker- und Grundwasser nach Erreichen der Feldkapazität der Böden.

dieser hauptsächlich aus Mittlerem und Oberem Buntsandstein sowie Muschelsandstein (Basis des Unteren Muschelkalks) aufgebauten Schichtstufenlandschaft wird die Versickerung von Niederschlägen durch Beobachtungen und verschiedene Untersuchungen näher erkundet. Die Ergebnisse sind schematisch in Abb. 4 dargestellt.

Aus dem Blickwinkel der vorgelegten Untersuchungen läßt sich zur Erneuerung der Grundwasservorräte im Hauptbuntsandstein folgendes sagen:

Innerhalb kleiner Hauptbuntsandsteingebiete (Flächen mit geschlossener Lockersandüberdeckung) erreicht die Grundwassererneuerung annähernd die Werte, die in entsprechenden Lysimetern gemessen werden. Innerhalb größerer Einzugsgebiete mit ausgedehnten Talauen und teilweiser Muschelkalk-Überdeckung ist die Grundwassererneuerung schon deutlich niedriger (zunehmende Besiedlung setzt sie ebenfalls weiter herab; vgl. EINSELE 1970, EINSELE u. a. 1969, HEITELE 1968). Oberflächen-, Deckschichten- und Kluftwasserabfluß aus Oberem Buntsandstein und Muschelkalk beeinflussen je nach Verunreinigung und Aufhärtung den Wasserchemismus im Hauptbuntsandstein erheblich; Abwasserzuflüsse wirken sich ebenfalls ungünstig aus.

## Schriften

- AGSTEN, K. & STÖHR, W. TH. (1968): Bodenkarte 1 : 50 000 des Kreises Pirmasens. Manuskriptkarte, Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz.
- AMMON, L. v. & REIS, O. M. (1903): Erläut. Bl. Zweibrücken (Nr. XIX) geognost. Kte. Königr. Bayern 1 : 100 000, München.
- ATZBACH, O. (1970): Geologische Übersichtskarte der Pfalz 1 : 300 000 [Pfalzatl., Vorlage Nr. 57] mit Textband. — Veröff. pfälz. Ges. Förd. Wiss., H. 15, S. 545–552, Speyer.
- BOZORGZAD-ARBAB, D. (1970): Versickerungsvorgänge in Lysimetern und auf „Inseln“ aus dem Oberen Buntsandstein im Saarland. Diss., 137 S., 27 Abb., 26 Tab., Tübingen.
- DILLMANN, W. (1953): Erläut. zur hydrogeologischen Karte 1 : 25 000 von Rheinland-Pfalz, Bl. 6512 Kaiserslautern. Manusk. Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz, 30 S., 1 Abb., 5 Taf., Mainz.
- EINSELE, G. (1970): Ober- und unterirdischer Abfluß im saarländischen Buntsandstein. — Z. deutsch. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., S. 43–67, 10 Abb., 1 Tab., Hannover.
- EINSELE, G., BOZORGZAD-ARBAB, D., HEITELE, H., KLOCK, M. & SEILER, K.-P. (1969): Hydrogeologische Untersuchungen in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. Allgemeiner Teil: Neubildung und Speicherung von Grundwasser. — Geol. Mitt., 9, S. 1 bis 74, 24 Abb., 15 Tab., Aachen.
- EINSELE, G. & SCHIEDT, H.-R. (1971): Brunnencharakteristik, Dauerleistung, Wasserchemismus und Einzugsgebiet der 30 Tiefbohrungen im Bliestal, Saarland. — Geol. Mitt., 11, S. 185–248, 25 Abb., 8 Tab., 1 Taf., Aachen.
- HEITELE, H. (1968): Versickerungsvorgänge in der Buntsandsteinzone des südlichen Saarlandes. Diss., 100 S., 32 Abb., 4 Tab., Tübingen.
- MATTHESS, G. (1970): Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. — Abh. hess. Landesamt Bodenforsch., 58, 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf., Wiesbaden.
- SCHULTZE, E. & MUHS, H. (1967): Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. — 2. Aufl., 722 S., 782 Abb., Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- SEILER, K.-P. (1968): Grundwasserfließvorgänge im klüftigen und porösen Medium des Mittleren Buntsandsteins im Saarland. Diss., 114 S., 23 Abb., 14 Tab., Tübingen.
- SPUHLER, L. (1957): Einführung in die Geologie der Pfalz. — Veröff. pfälz. Ges. Förd. Wiss., 34, 432 S., 67 Abb., 106 Fig. auf Taf., Speyer.
- STÖHR, W. TH. (1965/66): Bodenkarte 1 : 50 000 des Kreises Kaiserslautern. — Manuskriptkarte, Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz.
- (1970): Bodenübersichtskarte der Pfalz 1 : 300 000 [Pfalzatl. Vorl. Nr. 58] mit Beitr. von HAUN, D. und RUPPRECHT, A. — Veröff. pfälz. Ges. Förd. Wiss., 15, S. 553–588, Speyer.
- STÖHR, W. TH. & AGSTEN, K. (1968): Bodenkarte 1 : 50 000 des Kreises Zweibrücken. Manuskriptkarte, Geol. Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Geologe Dr. HUBERT HEITELE, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, D-6500 Mainz, Flachmarktstraße 9

Manuskript eingegangen am 28. August 1972