

Friedrich-Karl Ewert

# Rock Grouting

with Emphasis on Dam Sites

With 225 Figures

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York Tokyo



## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Remarks on the Methodology of Preparation .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Analysis of Completed Grouting Programmes .....</b>	<b>13</b>
3.1	Preliminary Remarks .....	13
3.1.1	Selection of the Programmes; Data .....	13
3.1.2	Representation of Grouting Data .....	14
3.2	Description and Evaluation of the Programmes .....	18
3.2.1	Grouting Programmes in Folded Siltstone-Sandstone Alternations of the Westphalian Upper Carboniferous .....	18
3.2.1.1	The Grouting Programme at the Möhne Dam .....	18
3.2.1.2	The Aabach Dam Grouting Programme .....	30
3.2.2	Grouting Programmes in Buntsandstein .....	48
3.2.2.1	The Grouting Programme at the Haune Dam .....	48
3.2.2.2	The Antrift Dam Grouting Programme .....	54
3.2.2.3	The Twiste Dam Grouting Programme .....	68
3.2.2.4	Conclusions and Recommendations for Grouting Programmes in Buntsandstein and in Similar Rock Types .....	90
3.2.3	Grouting Programmes in Turonian Limestone of Southeastern Westphalia .....	92
3.2.3.1	Location, Geology, Hydraulic Routing .....	92
3.2.3.2	The Grouting Programme in Downtown Paderborn .....	94
3.2.3.3	The Grouting Programme for the Haxter Valley Bridge .....	97
3.2.4	The Tavera Dam Grouting Programme in Oligocene Conglomerate .....	106
3.3	Microscopical Studies .....	119
3.3.1	Purpose and Origin of Samples .....	119
3.3.2	Size of the Injectable Voids .....	120
3.3.3	The Process of Sedimentation, Separation and Drainage of the Excess Water .....	120
3.3.4	The Influence of the Grouting Pressure (Rock Fracturing) .....	129
3.4	Generally Valid Conclusions from the Analysis of the Grouting Programmes .....	131

<b>4</b>	<b>Discussion of the Conventional Investigation Methods for Determining Rock Permeability</b>	141
4.1	Introduction	141
4.2	On the Execution, Evaluation and Interpretation of Water Pressure Tests	143
4.2.1	The Layout of the Tests	144
4.2.2	Testing Scheme	145
4.2.3	Several Aspects of the Practical Execution and Evaluation of Water Pressure Tests	147
4.2.3.1	The Pump	147
4.2.3.2	The Packer	148
4.2.3.3	Recording of Test Data	150
4.2.3.4	Evaluation of the Measured Data	151
4.3	Assessment of Current Investigation Methods for Rock Permeability	157
4.3.1	Water Pressure Tests and $k_f$ -Coefficient	158
4.3.2	On the Applicability of the Lugeon Criterion; Appropriate Impermeabilization Criteria	162
4.3.3	WPT Rates and the Appraisal of the Specific Rock Permeability	169
4.4	Conclusions	173
<b>5</b>	<b>On Hydraulic Routing in Rock</b>	174
5.1	Introduction	174
5.2	Methods of Researching the Hydraulic Routing in Rock	176
5.3	Influential Factors in the Development of Water Paths in Rock	177
5.4	Discontinuities as Prescribed Water Paths and Their Behaviour During Grouting	182
5.4.1	Preliminary Remarks	182
5.4.2	Bedding Planes	182
5.4.3	Joint Planes	184
5.4.4	Cleavage Planes	186
5.4.5	Faults	187
5.4.6	Dissolution Cavities	187
5.5	The Results of Field Investigations of the Hydraulic Routing	188
5.5.1	Hattelberg Tunnel	188
5.5.2	Oker-Grane Tunnel	194
5.5.3	Outcrops at the Aabach Dam Project	200
5.5.3.1	Preliminary Remarks	200
5.5.3.2	Excavations at the Main Dam	200
5.5.3.3	Karbach Tunnel	206
5.5.3.4	Summary	210
5.5.4	Hydraulic Routing in the Buntsandstein	211

5.5.5	Hydraulic Routing of the Upper Turonian Limestone of Southeast Westphalia	213
5.5.6	Exploratory Addits for a Pump Storage Scheme in Taiwan	216
5.5.7	Outcrops at the Tavera Project	219
5.5.8	Other Indications Concerning Hydraulic Routing	222
5.6	Synopsis of the Percolation Behaviour in Rock	224
5.7	Remarks on Percolation Models and Calculation Methods in Rock Mechanics	230
<b>6</b>	<b>Studies of the Relationship Between the Type of Hydraulic Routing, the Course of the Water Pressure Tests and Grouting Behaviour</b>	234
6.1	Introduction	234
6.2	Tests Using Geologically Defined Models for the Hydraulic Routes Around the Boreholes	235
6.2.1	Prerequisites	235
6.2.2	Description of the Models, Arrangements of the Tests	239
6.2.3	Results of Simulated Water Pressure Tests	243
6.2.4	Results of Simulated Grouting Tests	253
6.3	Interpretation of Simulated Water Pressure Tests and Conclusions	258
6.3.1	Conclusions Concerning the Type of Hydraulic Routing: Direct or Indirect Communication	258
6.3.2	Conclusions Concerning the Size of the Routes in Relation to the Lugeon Criterion	259
6.3.3	Conclusions Concerning the Type of Water Paths Drawn from the Absorption Rates	261
6.3.4	Possibilities for Misinterpreting Water Pressure Tests	261
6.4	Interpretation of Simulated Grouting Tests and Conclusions	263
6.4.1	Required Pressures for Grouting Very Fine Routes, Rock-Type-Specific Groutability	263
6.4.2	The Parallel Grouting of Dissimilar Water Paths	266
6.4.3	Interplay Between Extension and Velocity of Grout Travel, Causes for Buildup of Pressure, Groutability and Grout Takes Dependent upon the Type of the Conductivity, Remaining Permeability	268
<b>7</b>	<b>Practical Field Investigations on Permeability by Means of Water Pressure Tests</b>	276
7.1	Introduction	276
7.2	Rock Fracturing Contingent upon Injection Pressure	276

X	Contents	Contents	XI		
7.3	Appropriate Maximum Pressures for Water Pressure Tests .....	281	8.4	Penetration or Displacement Grouting? .....	325
7.4	The Factor "Time" in Conducting the Water Pressure Tests .....	282	8.5	Comments on Setting W/C Ratios .....	327
7.5	Characteristic Water Pressure Tests for Determining the Permeability Behaviour of Different Rock Types .....	285	8.6	Spacing of Grout Holes, Grouting in Series .....	328
7.5.1	Classification of the Water Pressure Tests, "Basic Types" .....	285	8.7	Downstage or Upstage Grouting, Schematic or Adapted Execution, Accompanying Water Pressure Tests .....	329
7.5.2	Geological Conditions for the Basic Types of Water Pressure Tests .....	287	8.8	Relationship Between the Type of Hydraulic Routing and the Remaining Permeability .....	337
7.5.3	Discussion of Actual Test Diagrams .....	290	8.9	Test Grouting .....	339
7.5.3.1	Water Pressure Tests in Impermeable Rock (Group 1) .....	290	<b>9</b>	<b>Practical Criteria for Determining the Tolerable Permeability .....</b>	341
7.5.3.2	Water Pressure Tests in Rock of Unchangeable Permeability (Group 2) .....	290	9.1	Introduction, Hydraulic Fundamentals, Depth of the Curtain, "Tolerable Permeability" .....	341
7.5.3.3	Water Pressure Tests in Rock of Changeable Permeability (Group 3) .....	290	9.2	Estimating the Mean Permeability of the Rock for Determining Seepage Losses .....	351
7.5.3.4	Water Pressure Tests in Rock of Very Changeable Permeability (Group 4) .....	292	9.2.1	Problem and Possible Solutions .....	351
7.5.3.5	Time-Dependent Fracturing Processes (P-Q-t-Diagrams) .....	294	9.2.2	Determining $k_f$ by a "Modified Well Method" .....	353
7.5.3.6	Conclusions: Catalogue of the Possible Rock Permeabilities Based on the Water Pressure Tests ..	294	9.2.3	Determining $k_f$ on the Basis of a Coefficient of Infiltration .....	362
7.6	Comparison of Rock Permeabilities Under the Conditions of Injection and Operation .....	297	9.2.4	Estimating $k_f$ on the Basis of the Inclination of the Groundwater Table .....	368
7.7	Water Pressure Tests in Grouted Rocks for Controlling its Success .....	297	9.3	Erodibility .....	369
7.8	On the Definition of "Reference" Pressure .....	297	9.4	Examples of the Possible Differences Between Groutable and Tolerable Permeabilities .....	374
<b>8</b>	<b>Practical Criteria for Determining Grouting Methods Considering Rock-Type-Specific Groutability .....</b>	300	9.5	Changes in Permeability and Groutability Due to Comparatively High Storage Levels .....	376
8.1	Introduction .....	300	9.6	The Expenditures for Grouting Programmes Compared with the Degree of Impermeabilization .....	377
8.2	Selection of Grouting Pressures in View of the Fracturing Behaviour .....	301	9.7	Summarizing Assessment of the Tolerable Permeability .....	378
8.3	Assessing the Rock-Type-Specific Groutability ..	305	9.8	The Expediency of a Control Gallery Considering Geological Setting and Rock-Type-Specific Groutability .....	379
8.3.1	Orientation and Types of Separation Planes Related to the Specific Conditions for Grouting ..	305	9.9	Lateral Extension of the Grout Curtain, Systematic Groundwater Measurements Prior to the Construction of the Dam .....	380
8.3.2	Relationships Between WPT Rates and Grout Takes .....	314	9.10	Influence of the Type of the Project on the Tolerable Permeability .....	381
8.3.3	The "Specific Absorption Rate" as an Indicator for Groutability .....	315	<b>10</b>	<b>The Influence of the Local Geological Setting and the Grouting Measures on the Reduction of Uplift .....</b>	383
8.3.4	Mapping Separation Planes from Drill Cores and Their Representation .....	318	10.1	Introduction .....	383
8.3.5	Conclusions Concerning Groutable Permeability and Grouting Pressure .....	320	10.2	Example: Aabach Dam .....	383
			10.3	Example: Antrift Dam .....	388
			10.4	Example: Tavera Dam .....	390

10.5	Example: Twiste Dam .....	391
10.6	Conclusions Concerning the Reduction of the Uplift .....	398
<b>11</b>	<b>Final Remarks: an Attempt at Guide-Lines .....</b>	<b>404</b>
11.1	Hydrogeological Scope .....	404
11.2	Site Investigations by Geological Mapping, Core Drilling, Testing of Both Permeability and Groutability .....	406
11.3	Control Measures During Impoundment .....	408
	<b>Bibliography .....</b>	<b>410</b>
	<b>Subject Index .....</b>	<b>415</b>

*Advise.* All the terms related to the field of grouting including allied disciplines (geology, hydrogeology, geohydraulics) are listed as Group A of the Subject index. It is recommended to first read these key-words because in addition to the list of contents one gets a good insight into alle items to be dealt with.

## Bibliography

- Albritton JA (1982) Cement grouting practices US Army Corps of Engineers. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans. ASCE, New York, pp 264–278
- Arhipainen E (1970) Some notes on the design of grouted curtains on the basis of water pressure tests. 10th Int Congr, large dams, Montreal, pp 137–145
- Bell FG (1975) Methods of treatment of unstable rock. Butterworth, London
- Bentz A (1961) Lehrbuch der angewandten Geologie, vol I. Allgemeine Methoden (468 Fig, 75 Tab, 3 Taf). Enke, Stuttgart, 1071 pp
- Bentz A, Martini H-J (1969) Lehrbuch der angewandten Geologie. Enke Verlag, Stuttgart
- Bräutigam F (1979) Geotechnische Probleme und deren Lösung beim Bau des Wasserkraftwerkes Wahnhausen (16 Fig). Ber 2. Natl Tag Ing Geol Fellbach. DGEG Essen, pp 213–228
- Breth H (1965) Feldversuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit. Vorl TH Darmstadt, Bodenmech Grundb (13 Fig). Darmstadt, pp 2–6
- Bruce DA (1982) Aspects of rock grouting practice on British dams. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans (7 Fig). ASCE, New York, pp 301–316
- Bureau of Reclamation (1973) Design of small dams. USD Inter, 2nd edn. Washington
- Caldwell JA (1972) The theoretical determination of the permeability tensor for jointed rocks. Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart (1 Fig). DGEG Essen, TI-C, pp 1–6
- Cambefort H (1968) Bodeninjektionstechnik (391 Fig, 28 Tab). Bauverlag, Wiesbaden, Berlin, 543 pp
- Caron C (1982) Background talk the state of grouting in the 1980's. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans (3 Fig). ASCE, New York, pp 346–358
- Castillo E (1972) Mathematical model for two-dimensional percolation through fissured rock. Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart (6 Fig). DGEG Essen, TI-D, pp 1–7
- Chernyshev SN (1972) Estimation of the permeability of the jointy rocks in massiv. Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart. (3 Fig). DGEG Essen, TI-G, pp 1–11
- Cloos H (1963) Einführung in die Geologie. (357 Fig, 3 Taf). Bornträger, Berlin, 503 pp
- Correns CW (1968) Einführung in die Mineralogie, 2nd edn (391 Fig, 1 Taf). Springer, Berlin Heidelberg New York, 359 pp
- Czernin W (1977) Zementchemie für Bauingenieure, 3rd edn. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin
- Deere DU (1982) Cement-bentonite grouting for dams. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans (8 Fig). ASCE, New York, pp 279–300
- Demmer W (1973) Geologische Prognose für den Hattelberg- und Burgstallstollen. (Unveröffentl Ber)
- Deutsch R, Klopp R (1977) Untergrundabdichtungsarbeiten an der Sperrmauer der Möhnetalsperre unter besonderer Berücksichtigung geologischer Randbedingungen (5 Fig). Ber 1. Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 369–379
- Dittrich E, Lüthke J (1966) Möglichkeiten zur besseren Auswertung von Wasserdurchlässigkeitsprüfungen und Zementinjektionen in Bohrlöchern. Felsmech Ing Geol, vol IV (1) (16 Fig, 2 Tab). Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 103–118
- Eiselle K (1966) Über die Grundwasserbewegung in klüftigem Sandstein (Fig 12–13). Jahresh Geol Landesamt Baden-Württemberg 8:105–111
- Eiselle K (1967) Zur Hydrogeologie der Buntsandstein-Tiefenwässer am Schwarzwald-Ostrand (Fig 7, 2 Tab). Jahresh Geol Landesamt Baden-Württemberg 9:69–80
- Ewert FK (1972) Untersuchungen zur Durchlässigkeit tertiärer Gesteine am Tavera-Damm (Dominikanische Republik). Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart (9 Fig). DGEG Essen T4-C, 20 pp
- Ewert FK (1974) The increase of the rock permeability at the Tavera Dam, Dominican Republic, and engineering-geological conclusions. 2nd Int Congr Int Assoc Eng Geol, São Paulo VI (8) (10 Fig). São Paulo, 13 pp
- Ewert FK (1976) Durchlässigkeit des Baugrundes. Felduntersuchungen zur Bestimmung der Gebirdsdurchlässigkeit als Voraussetzung für die Entscheidung zur Durchführung von Injektionen (7 Fig). Ber Tech Akad Wuppertal 12: 21–35
- Ewert FK (1977) Zur Ermittlung eines  $k_f$ -Wertes für Fels und Kriterien zur Abdichtung des Untergrundes von Talsperren. Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn (7 Fig). DGEG Essen, pp 393–408
- Ewert FK (1979a) Die Untergrundabdichtung am Tavera-Damm und die Entwicklung des Durchlässigkeitsverhaltens nach dem Einstau (30 Fig, 2 Tab). Münster Forsch Geol Paläontol 49: 1–79
- Ewert FK (1979b) Zur Vergleichbarkeit von Wasseraufnahmen in WD-Versuchen mit der späteren Gebirdsdurchlässigkeit unter Einstaubedingungen bei Talsperren (12 Fig). Münster Forsch Geol Paläontol 49: 81–106
- Ewert FK (1979c) Zur ingenieurgeologischen Problematik von Injektionswannen im Fels (erläutert am Beispiel einer flächenhaften Abdichtung im Turonpläner) (16 Fig, 3 Tab). Münster Forsch Geol Paläontol 49: 107–147
- Ewert FK (1979d) Zur Untersuchungsmethodik der Gebirdsdurchlässigkeit bei Talsperren (66 Fig, 6 Tab). Münster Forsch Geol Paläontol 49: 149–292
- Ewert FK (1981) Untersuchungen zu Felsinjektionen, part 2 (149 Fig, 13 Tab). Münster Forsch Geol Paläontol 53: 1–326
- Ewert FK (1982a) Sohlwasserdruckabbau unter einer Talsperre ohne Dichtungsschleier (6 Fig, 1 Tab). Wasser Boden 9: 395–400
- Ewert FK (1982b) Die Einflüsse örtlicher geologischer Verhältnisse und der Injektionsmaßnahmen auf den Abbau des Sohlwasserdruckes (9 Fig). Wasser Boden 10: 453–459
- Gilg B, Gavard G (1957) Calcul de la perméabilité par des essais d'eau dans les sondages en alluvions. Bull Tech Suisse Rom
- Heitfeld KH (1965) Hydro- und baugeologische Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Baugrundes an Talsperren des Sauerlandes (71 Fig, 18 Tab, 4 Taf). Geol Mitt 5 (1–2): 1–210
- Heitfeld KH (1972) Diskussionsbeitrag Symp Durchströmung von klüftigem Fels. Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart. DGEG Essen, D1–3
- Heitfeld KH (1979) Durchlässigkeitstestsungen im Festgestein mittels WD-Testen (20 Fig, 1 Tab). Mitt Ing Geol Hydrogeol 9: 175–218 Aachen
- Heitfeld KH, Riemer W (1977) Ingenieurgeologische Untersuchungen bei Talsperrenprojekten in der Dominikanischen Republik (5 Fig, 1 Taf). Wasserwirtschaft 67 (9): 263–270
- Henning O, Knöfel D (1973) Baustoffchemie, 1st edn. Kohl's Technischer Verlag, Frankfurt/Main, Basel
- Hermann E, Schenk V (1977) Versuchsschlitzwand und Versuchs injektion im Buntsandstein als Großtest zur Wahl der endgültigen Untergrundabdichtung des Hochwasserrückhaltebeckens Marbach/Haune bei Fulda (6 Fig). Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 445–464
- Ho CS (1965) Geology and coal deposits of the Chichita-shan Area, Nantou, Taiwan (2 Fig, 1 Tab). Bull Geol Surv Taiwan 9:1–51
- Holtz S (1982) Grundlagen der ingenieurgeologischen Untersuchungsmethodik zur Felsdurchlässigkeit bei Talsperrenbauten (7 Fig). Wasser Boden 10: 438–444
- Holtz S, Ewert FK (1977) Abdichtungsarbeiten an der Talsperre Antrifttal, Vogelsbergkreis, Hessen (7 Fig). Ber 1. Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 429–443
- Holzlöhner U (1970) Der Injektionsvorgang in klüftigem Fels (3 Fig). Felsmech Ing Geol 2: 41–60
- Houlsby AC (1976) Routine interpretation of the Lugeon Water Test. Q J Eng Geol 9: 303–313
- Houlsby AC (1982a) Background talk: cement grouting for dams. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans (13 Fig). ASCE, New York, pp 1–34
- Houlsby AC (1982b) Optimum water : cement ratios for rock grouting. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans (6 Fig, 1 Tab). ASCE, New York, pp 317–331
- Jäger JC (1969) Rock mechanics and Engineering. Univ Press Cambridge
- Jawanski W (1970) Contribution to correlation of cement absorption and loss of water in pressure tests for flysch rocks (4 Fig). Proc Symp Percolation through fissured rock, Belgrad. Belgrad, T6–16, 6 pp
- Jefferis SA (1982) Effects of mixing on bentonite slurries and grouts (5 Fig). Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans. ASCE, New York, pp 62–76

- Keller G (1969) Angewandte Hydrogeologie (240 Fig, 38 Taf). Verlag Wasser Boden, Hamburg, 411 pp
- Klopp R (1975) Ergebnisse und Schlüsse an langjähriger ingenieurgeologischer Beobachtung des Felsuntergrundes einiger Talsperren im Sauerland (4 Fig, 5 Taf). Wasserwirtschaft 65 (1): 15–21
- Klopp R (1976) Anwendungsbeispiele von Injektionen im Wasserbau, part 2 (7 Fig). Ber Techn Akad Wuppertal 12: 72–80
- Klopp R, Schimmer R (1977) Ergebnisse differenzierter Auswertung von WD-Testen bei Abdichtungsarbeiten an der Möhnetalsperre (7 Fig). Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 381–392
- Konjarowa PP (1964) Zusammenfassende Betrachtung von Wasserdurchlässigkeitswerten klüftiger Gesteine (3 Fig). Z Angew Geol 10 (6): 301–302
- Kühn-Velten H, Michel G (1975) Hydrogeologische Probleme bei einer großflächigen Gründung im klüftigen Kalkstein (4 Fig). Z Dtsch Geol Ges 126 (2): 245–252
- Kunert N (1976) Injektionsmittel und Technologie bei Verpressungen im Festgestein. Ber Techn Akad Wuppertal 12: 36–44
- Kutzner C (1982a) The value of inspection galleries. Water Power Dam Constr May 1982: 78–84
- Kutzner C (1982b) Seepage, grouting and galleries. ICOLD, 14th Congr, Rio de Janeiro
- Kutzner C (1982c) Injektionsmittel (10 Fig). Wasser Boden 10: 444–449
- Lancaster-Jones PFF (1975) The interpretation of the Lugeon water test (1 Fig). Q J Eng Geol 8: 151–154
- Littlejohn GS (1982) Design of cement based grouts. Proc Conf Grouting Geotech Eng, New Orleans (18 Fig, 6 Tab). ASCE, New York, pp 35–48
- Londe P, Sabarly F (1966) La distribution des perméabilités dans la fondation des barrages routes en fonction du champ de contrainte. Proc Symp Percolation through fissured rock, Lissabon 2: 517–521
- Lorenz W, Seethaler L (1970) Trinkwassertalsperre Mauthaus (15 Fig). Wasserwirtschaft 60 (6): 199–207
- Louis C (1967) Strömungsvorgänge in klüftigen Medien und ihre Wirkung auf die Standsicherheit von Bauwerken und Böschungen im Fels. Diss, Univ Karlsruhe
- Louis C, Maini YNT (1970) Determination of in situ hydraulic parameters in jointed rock (9 Fig). Proc Symp Percolation through fissured rock, Belgrad. Belgrad, T1-32, pp 5–245
- Lugeon M (1933) Barrages et géologie. Dunod, Paris
- Maini YNT, Noorishad J, Sharp JC (1972) Theoretical and field considerations on the determination of in situ hydraulic parameters in fractured rock (15 Fig). Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart. DGEG Essen, T1-E, pp 1–8
- Müller L (1963) Der Felsbau, vol I. Theor Teil. Felsbau über Tage, 1st part (307 Fig, 22 Taf). Enke, Stuttgart, 624 pp
- Mutschmann J, Stimmelmayr F (1973) Taschenbuch der Wasserversorgung, 6th edn. Frank'sche Verlagshandlung, Stuttgart
- Neumann R (1964) Geologie für Bauingenieure (521 Fig, 43 Tab). Ernst, Berlin München, 785 pp
- Nonveiler E (1970) A rational approach to design of grout curtains. Proc Symp Percolation through fissured rock, Belgrad, vol III (7 Fig). Belgrad, pp 217–222
- Pearson R, Money MS (1977) Improvements in the Lugeon or packer permeability test. Q J Eng Geol 10: 221–239
- Ramdohr P, Strunz H (1967) Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, 15th edn (582 Fig). Enke, Stuttgart, 820 pp
- Reinhardt M (1970) Gründung von Talsperrenherdenmauern (15 Fig). Vortr Baugrundtagung, Düsseldorf. DGEG Essen, pp 547–568
- Reinhardt M (1976) Untergrundverpressungen an Talsperren in Nordrhein-Westfalen (7 Fig). Ber Techn Akad Wuppertal 12: 63–71
- Reinhardt M (1977) Ingenieurgeologische Standortbeurteilung von Stauanlagen in Nordrhein-Westfalen. Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 269–276
- Renner R (1976) Die Beziehungen zwischen Gesteinsart, Trennflächengefüge und Injektionen. Versuch einer Auswertung anhand von Kernbohrungen und Ausführungsprotokollen. Unveröff Dipl Arb, Univ Bochum
- Reuter F (1958) Die Wasserdurchlässigkeitsprüfungen und Baugrundvergütung als ingenieurgeologische Untersuchungsmethode bei Talsperrenbauten (13 Fig). Z Angew Geol 4 (4): 166–174

- Reuter F (1959) Geologische Betrachtungen über Abdichtungsarbeiten bei Talsperren (2 Fig). Z Angew Geol 5 (10): 469–473
- Richter K (1966) Aus Theorie und Praxis der Hochwasserbekämpfung durch Rückhaltebecken (9 Fig). Wasserwirtschaft 56 (3): 76–83
- Richter W, Lillich W (1975) Abriss der Hydrogeologie (96 Fig, 18 Tab). Schweizerbart, Stuttgart, 281 pp
- Rissler P (1977) Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von klüftigem Fels. Diss, Univ Aachen
- Rodatz W, Wittke W (1972) Wechselwirkung zwischen Deformation und Durchströmung im klüftigen anisotropen Gebirge. Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart (5 Fig). DGEG Essen, T2-1, pp 1–8
- Sabarly F (1974) Géologie de l'ingénieur et fondations de barrages. Proc 2nd Int Congr Int Assoc Eng Geol, São Paulo, vol II. São Paulo, VI-6R, p 1
- Schade D (1976) WD-Versuche in verschiedenen geologischen Formationen (15 Fig). Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 409–427
- Schaef H-J (1964) Probleme bei der Festlegung der erforderlichen Tiefe von Dichtungsschleieren im Festgestein (3 Fig). Freiberger Forschungsh C 176: 45–56
- Schetelig K (1977) Ingenieurgeologische Randbedingungen für den erfolgreichen Einsatz horizontaler oder vertikaler Dichtungselemente (4 Fig). Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 331–355
- Schetelig K (1982) Entwurf eines Injektionsschleiers (5 Fig). Wasser Boden 34: 10 Jahr, pp 449–453
- Schetelig K, Schenk V, Heyberger W (1978) Neues Meßverfahren für die Durchführung von Wasserabpressungen (5 Fig). Proc 3 Natl Tag Fels Mech Aachen: pp 28–43
- Schmidt M (1968a) Trinkwassererschließung im Westharz über die Granetalsperre part 1 (5 Fig). Wasserwirtschaft 58 (7): 198–203
- Schmidt M (1968b) Trinkwassererschließung im Westharz über die Granetalsperre part 2 (3 Fig). Wasserwirtschaft 58 (8): 239–243
- Schmidt M (1972) Der Oker-Grane-Stollen. Wasser Boden 24 (12): 369–372
- Schneider H (1961a) Die Grundwasserneubildung (Fig 1–8, Tab 1–4). Bohrtech Brunnenb Rohrleitungsb H 6: 285–292
- Schneider H (1961b) Die Grundwasserneubildung. Fortsetzung 1 (Fig 9–14, Tab 5–17). Bohrtech Brunnenb Rohrleitungsb H 7: 321–328
- Schneider H (1961c) Die Grundwasserneubildung. Fortsetzung 2 (Fig 18–22). Bohrtech Brunnenb Rohrleitungsb H 8: 358–368
- Schwerdtfeger K (1964) Zur Theorie der Injektion von klüftigem Gebirge bei der Abdichtung des Untergrundes von Talsperren (7 Fig). Diss, TU Berlin, 67 pp
- Sharp JC, Maini YNT (1972) Fundamental considerations on the hydraulic characteristics of joints in rock. Proc Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart (12 Fig). Essen, T1-F, pp 1–15
- Sherard JC, Woodward RJ, Cizinski SS, Clevenger WA (1976) Earth and earth-rock dams. John Wiley Sons, London New York
- Snow DT (1972) Concluding remarks on theme 1. Proc ISRM-Symp Percolation through fissured rock, Stuttgart. DGEG Essen D1-20+21
- Sowers GF (1962) Earth and rockfill dam engineering (120 Fig, 27 Tab). Asia, London, 283 pp
- Striegler W, Werner D (1969) Dammbau in Theorie und Praxis (253 Fig, 85 Tab). Springer, Berlin Heidelberg New York, 462 pp
- Thomas HH (1979) The engineering of large dams. John Wiley & Sons, London New York
- Verfel J (1963) Injektionsschleier in Felsgesteinen (14 Fig). Z Angew Geol 9 (5): 259–266
- Völtz H (1966) Der Injektionsraum von Fest- und Lockergestein. Ber Techn Akad Wuppertal 12: 4–20
- Wahlstrom EE (1974) Dams, dam foundations and reservoir sites. Dev Geotech Eng 6
- Wallner M, Wittke W (1972) Wassereinbrüche beim Vortrieb von Felshohlräumen. Proc Int Symp Durchströmung von klüftigem Fels, Stuttgart (7 Fig). DGEG Essen, T4-1, pp 1–9
- Walters RCS (1971) Dam geology, 2nd edn (302 Fig). Butterworths, London, 470 pp
- Weber P (1977) Ingenieurgeologie bei Planung und Bau von Hochwasser-Rückhaltebecken in Ostwestfalen. Ber 1 Natl Tag Ing Geol, Paderborn. DGEG Essen, pp 277–286
- Wiederhold W (1965a) Theorie und Praxis des hydrologischen Pumpversuchs (22 Fig). Gas Wasserfach 42: 933–938

- Wiederhold W (1965b) Theorie und Praxis des hydrologischen Pumpversuchs. *Ges Wasserfach* 34: 1170–1176
- Wiesner E (1975) Vorspann-Injektionen im Triebwasserstollen der Mehrzweckanlage Tavera, Dominikanische Republik (3 Fig). *Ber Techn Akad Wuppertal* 12: 88–93
- Wittke W (1967) Zur Reichweite von Injektionen im klüftigen Fels (7 Fig). *Felsmech Ing Geol Suppl IV*: 79–89
- Wittke W (1970) Rechnerische und elektroanaloge Lösung dreidimensionaler Aufgaben der Durchströmung von klüftigem Fels. *Proc Symp Percolation through fissured rock*, Belgrad (10 Fig). Belgrad, pp 253–264
- Wittke W, Jüngling H (1979) Sickerströmung in klüftigem Fels (20 Fig, 1 Tab). *Mitt Ing Geol Hydrogeol* 9: 219–263. Aachen
- Wittke W, Louis C (1968) Modellversuche zur Durchströmung klüftiger Medien (24 Fig). *Felsmech Ingenieurgeol Suppl IV*: 52–78
- Wittke W, Rissler P, Semprich S (1972) Räumliche, laminare und turbulente Strömung in klüftigem Fels nach zwei verschiedenen Rechenmodellen. *Proc Symp Percolation through fissured rock*, Stuttgart (11 Fig). DGEG Essen, TI–H, pp 1–18
- Wolters R (1969) Zur Ursache der Entstehung oberflächenparalleler Klüfte (9 Fig). *Felsmech Ing Geol* 1: 53–70
- Wolters R, Reinhardt M (1974) On grouting of dams in the "Rheinisches Schiefergebirge" (mountains in Western Germany) (2 Fig). *Bull Int Assoc Eng Geol* 9: 103–112
- Wolters R, Reinhardt M, Jäger B (1972) Beobachtungen über Art, Anordnung und Ausdehnung von Kluftfugen. *Proc Symp Percolation through fissured rock*, Stuttgart (5 Fig). DGEG Essen, 1 (I), 13 pp
- Wunderlich HG (1968) Einführung in die Geologie, part 1 (53 Fig). Bibliogr Inst, Mannheim Wien Zürich, 214 pp
- Zaruba Q (1962) Wasserdurchlässigkeitsprüfungen und Probeinjektionen für den Talsperrenbau (9 Fig). *Z Angew Geol* 8 (2): 78–84
- Zaruba Q, Mencl V (1961) Ingenieurgeologie (384 Fig, 14 Tab). Akademie-Verlag, Berlin, 606 pp
- Zieschang J (1965a) Die Berechnung des natürlichen Grundwasserdargebotes für die Grundwasserlägerstätten des Mittleren Buntsandsteins (2 Fig, 1 Tab). *Z Angew Geol* II (3): 131–135
- Zieschang J (1965b) Probleme der Schaffung einer Grundwassererkundungsmethodik. *Z Angew. Geol* II (6): 286–288
- Zmarzly HR (1972) Injektionen in Fels und Lockerboden. Monierbauer. Special issue of company's review
- Zmarzly HR (1974) Bohr- und Verpreßarbeiten beim Talsperrenbau (5 Fig). *Wasser Boden* 26 (9): 257–261

