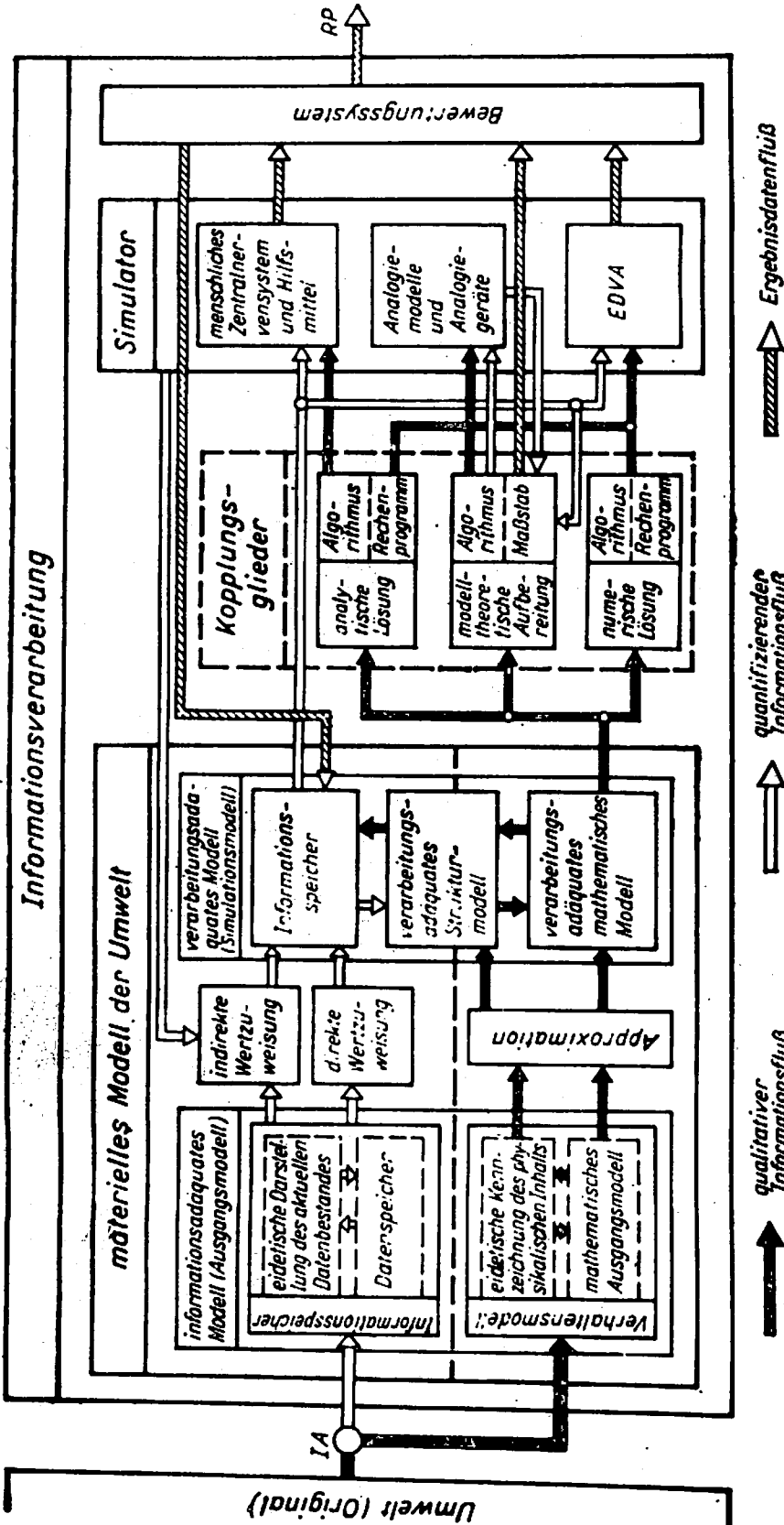


05.00. Grundwasserhydraulik
05.01. Übersicht der Lösungsverfahren

05.01.

Tabelle 05.01./1: Strukturschema der Informationsverarbeitung (LUCKNER/SCHESTAKOW, 1975)



05.01.

05.00. Grundwasserhydraulik

05.01. Übersicht der Lösungsverfahren

Tabelle 05.01./2: Simulationsverfahren (HÄFNER/VOIGT, 1982)

Auswahlkriterien	
<p>analytische Simulationsverfahren (Geohydrodynamische Erkundung -6¹⁾ Tab. 6, 7; Geohydrodynamische Erkundung -7²⁾ Tab. 1, 2, 3; WAPRO-Standard 1.42 u. ä.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> --- homogenes Strömungsfeld mit geometrisch einfacher Berandung bzw. unendlich ausgedehnt -- geringer Kenntnisstand über die flächenhafte Verteilung der Parameter und Randbedingungen
<p>elektroanaloge Simulationsverfahren (elektrische Papiermodelle, Widerstandsnetzwerke)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation stationärer Fließvorgänge ohne instationäre Anlauf- und Übergangsprozesse - inhomogene Strömungsfelder mit bekannter flächenhafter Verteilung der Parameter - Simulationsmodelle mit geometrisch komplizierten Rändern bzw. geohydrodynamisch komplizierten Randbedingungen
<p>numerische (digitale) Simulationsverfahren (s. Katalog strömungsmechanischer Modelle)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation stationärer, quasistationärer und instationärer Fließvorgänge - inhomogene, anisotrope Strömungsfelder mit bekannter flächenhafter/räumlicher Verteilung der Parameter - Simulationsmodelle mit geometrisch komplizierten Rändern bzw. geohydrodynamisch komplizierten Randbedingungen - Erfassung technischer und technologischer Grenzbedingungen - Objektbearbeitung mit automatischer Modellanpassung Parameteridentifikation
<p>R-C-Netzwerke</p>	<ul style="list-style-type: none"> -- mit Einschränkungen wie numerische Simulationsverfahren
<p>hybride Simulationsverfahren (LUCKNER & SCHESTAKOV 1975)</p>	<p>wie numerische Simulationsverfahren</p>

05.00. Grundwasserhydraulik
05.01. Übersicht der Lösungsverfahren

05.01.

Tabelle 05.01./3: In der Hydrologie und Hydrogeologie häufig verwendete Modelle (DYCK, 1979)

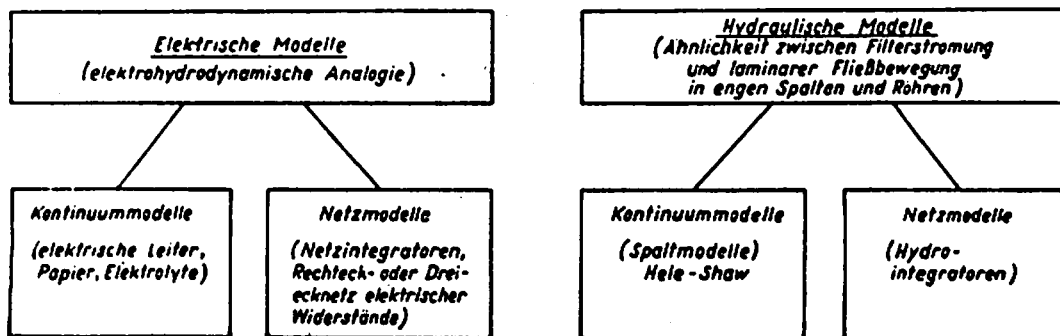


Tabelle 05.01./4: Systematik der Modelle der Geohydraulik (BUSCH/LUCKNER, 1972)

Modell		Ähnlichkeit zwischen den Systemen bezüglich der			Beispiele
Ähnlichkeitscharakter	Bezeichnung	Physik	Geometrie		
			äußere	innere	
physikalisch	vollkommen ähnlich	=	=	=	Sandmodelle $\lambda = \tau = 1$
	annähernd ähnlich	≈	≈	≈	Sandmodelle $\lambda > 1, \tau > 1$ Kugelmodelle
	halbähnlich	≈	≈		Spaltmodelle
	annähernd unähnlich	±		∅	Membranmodelle elektrische Modelle aus festen und flüssigen Körpern
	vollkommen unähnlich	±	±		hydraulische Netzwerke elektrische Netzwerke
mathematisch		∅	∅	∅	Analogrechner

Bedeutung der Zeichen: = Ähnlichkeit vollkommen vorhanden; ≈ Ähnlichkeit nur zum Teil vorhanden; ± Unähnlichkeit vollkommen vorhanden; ∅ Ähnlichkeit gegenstandslos

05.02.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

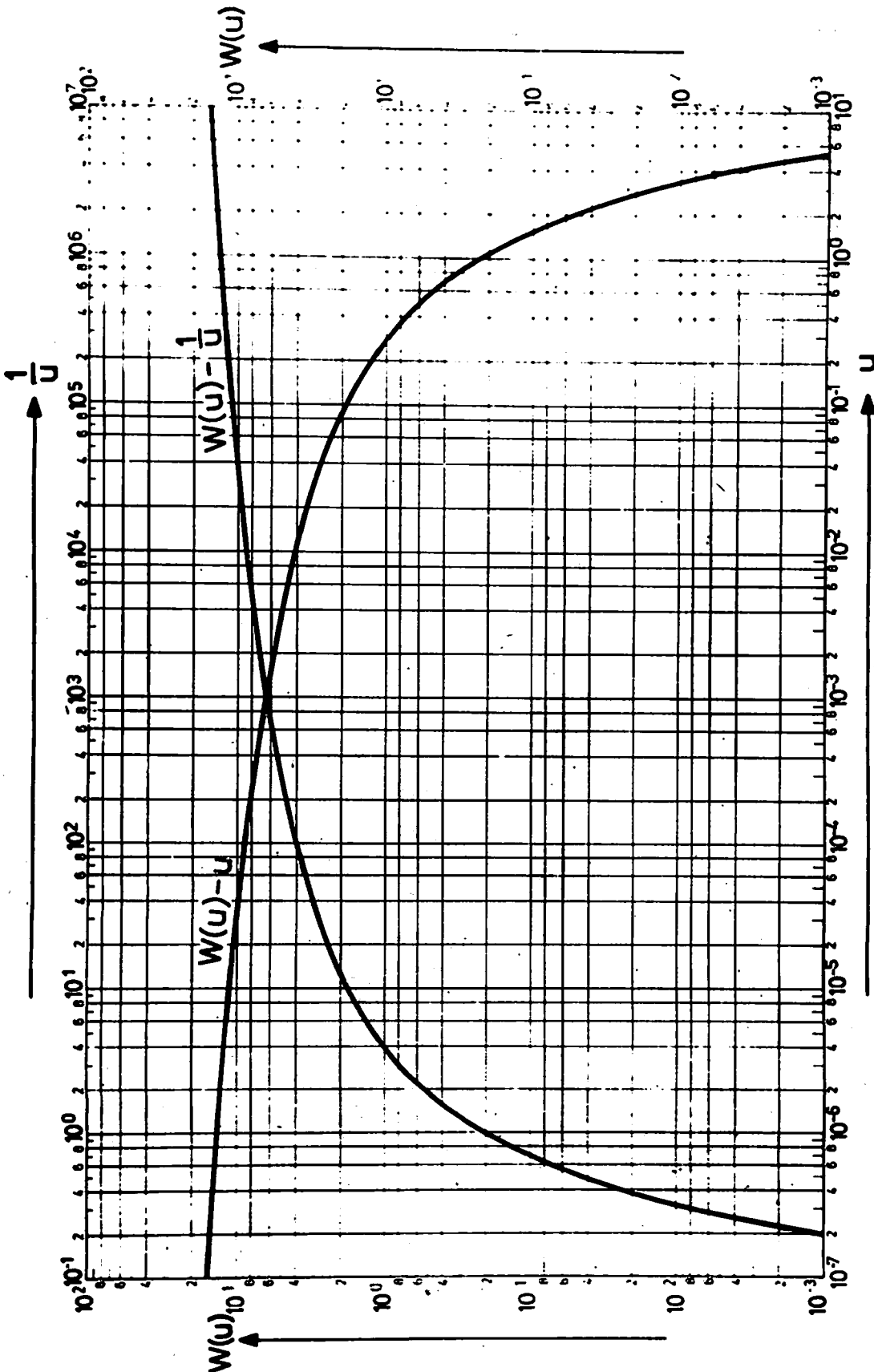


Bild 05.02./1: Brunnenfunktion $W(u)$ (LANGGUTH/VOIGT, 1980)

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

05.02.

$\frac{u}{B}$	0	0,00001	0,00002	0,00003	0,00004	0,00005	0,00006	0,00007	0,00008	0,00009	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
12,6611	14,0474	13,2383	12,5451	12,1397	11,8520	11,6289	11,4465	11,2924	11,1589	11,0411	10,9357	10,8301	10,7246	9,8371	9,5495	9,3263	9,1440	8,9899	8,8532	8,7358	8,6308	8,5352	8,4417	11,8163	11,6716	11,5098	11,3597	11,2248	11,1040	10,9951	10,8962	10,8059	10,7228	10,6416	10,5642	10,4922	10,4259	10,3640	10,3062	10,2524	10,2028	10,1563	10,1127	10,0715	10,0322	10,0952	10,0592	9,9992	9,9452	9,8881	9,8373	9,7883	9,7411	9,6957	9,6520	9,6099	9,5691	9,5294	9,4911	9,4543	9,4190	9,3851	9,3525	9,3212	9,2911	9,2621	9,2341	9,2071	9,1811	9,1560	9,1318	9,1084	9,0858	9,0640	9,0429	9,0225	9,0028	8,9837	8,9651	8,9470	8,9294	8,9122	8,8954	8,8790	8,8631	8,8477	8,8327	8,8181	8,8038	8,7898	8,7761	8,7628	8,7498	8,7371	8,7248	8,7128	8,7011	8,6897	8,6786	8,6678	8,6572	8,6468	8,6366	8,6266	8,6168	8,6072	8,5978	8,5886	8,5795	8,5706	8,5619	8,5533	8,5449	8,5366	8,5285	8,5205	8,5127	8,5050	8,4975	8,4901	8,4828	8,4756	8,4685	8,4615	8,4546	8,4477	8,4409	8,4342	8,4276	8,4211	8,4146	8,4082	8,4018	8,3955	8,3892	8,3830	8,3768	8,3706	8,3644	8,3582	8,3521	8,3460	8,3398	8,3336	8,3274	8,3212	8,3150	8,3088	8,3026	8,2964	8,2902	8,2840	8,2778	8,2716	8,2654	8,2592	8,2530	8,2468	8,2406	8,2344	8,2282	8,2220	8,2158	8,2096	8,2034	8,1972	8,1910	8,1848	8,1786	8,1724	8,1662	8,1600	8,1538	8,1476	8,1414	8,1352	8,1290	8,1228	8,1166	8,1104	8,1042	8,0980	8,0918	8,0856	8,0794	8,0732	8,0670	8,0608	8,0546	8,0484	8,0422	8,0360	8,0298	8,0236	8,0174	8,0112	8,0050	7,9988	7,9926	7,9864	7,9802	7,9740	7,9678	7,9616	7,9554	7,9492	7,9430	7,9368	7,9306	7,9244	7,9182	7,9120	7,9058	7,8996	7,8934	7,8872	7,8810	7,8748	7,8686	7,8624	7,8562	7,8500	7,8438	7,8376	7,8314	7,8252	7,8190	7,8128	7,8066	7,8004	7,7942	7,7880	7,7818	7,7756	7,7694	7,7632	7,7570	7,7508	7,7446	7,7384	7,7322	7,7260	7,7198	7,7136	7,7074	7,7012	7,6950	7,6888	7,6826	7,6764	7,6702	7,6640	7,6578	7,6516	7,6454	7,6392	7,6330	7,6268	7,6206	7,6144	7,6082	7,6020	7,5958	7,5896	7,5834	7,5772	7,5710	7,5648	7,5586	7,5524	7,5462	7,5400	7,5338	7,5276	7,5214	7,5152	7,5090	7,5028	7,4966	7,4904	7,4842	7,4780	7,4718	7,4656	7,4594	7,4532	7,4470	7,4408	7,4346	7,4284	7,4222	7,4160	7,4098	7,4036	7,3974	7,3912	7,3850	7,3788	7,3726	7,3664	7,3602	7,3540	7,3478	7,3416	7,3354	7,3292	7,3230	7,3168	7,3106	7,3044	7,2982	7,2920	7,2858	7,2796	7,2734	7,2672	7,2610	7,2548	7,2486	7,2424	7,2362	7,2300	7,2238	7,2176	7,2114	7,2052	7,1990	7,1928	7,1866	7,1804	7,1742	7,1680	7,1618	7,1556	7,1494	7,1432	7,1370	7,1308	7,1246	7,1184	7,1122	7,1060	7,1000	7,0940	7,0880	7,0820	7,0760	7,0700	7,0640	7,0580	7,0520	7,0460	7,0400	7,0340	7,0280	7,0220	7,0160	7,0100	7,0040	6,9980	6,9920	6,9860	6,9800	6,9740	6,9680	6,9620	6,9560	6,9500	6,9440	6,9380	6,9320	6,9260	6,9200	6,9140	6,9080	6,9020	6,8960	6,8900	6,8840	6,8780	6,8720	6,8660	6,8600	6,8540	6,8480	6,8420	6,8360	6,8300	6,8240	6,8180	6,8120	6,8060	6,8000	6,7940	6,7880	6,7820	6,7760	6,7700	6,7640	6,7580	6,7520	6,7460	6,7400	6,7340	6,7280	6,7220	6,7160	6,7100	6,7040	6,6980	6,6920	6,6860	6,6800	6,6740	6,6680	6,6620	6,6560	6,6500	6,6440	6,6380	6,6320	6,6260	6,6200	6,6140	6,6080	6,6020	6,5960	6,5900	6,5840	6,5780	6,5720	6,5660	6,5600	6,5540	6,5480	6,5420	6,5360	6,5300	6,5240	6,5180	6,5120	6,5060	6,5000	6,4940	6,4880	6,4820	6,4760	6,4700	6,4640	6,4580	6,4520	6,4460	6,4400	6,4340	6,4280	6,4220	6,4160	6,4100	6,4040	6,3980	6,3920	6,3860	6,3800	6,3740	6,3680	6,3620	6,3560	6,3500	6,3440	6,3380	6,3320	6,3260	6,3200	6,3140	6,3080	6,3020	6,2960	6,2900	6,2840	6,2780	6,2720	6,2660	6,2600	6,2540	6,2480	6,2420	6,2360	6,2300	6,2240	6,2180	6,2120	6,2060	6,2000	6,1940	6,1880	6,1820	6,1760	6,1700	6,1640	6,1580	6,1520	6,1460	6,1400	6,1340	6,1280	6,1220	6,1160	6,1100	6,1040	6,0980	6,0920	6,0860	6,0800	6,0740	6,0680	6,0620	6,0560	6,0500	6,0440	6,0380	6,0320	6,0260	6,0200	6,0140	6,0080	6,0020	6,0000

Tabelle 05.01./1: Werte der Funktion $W(u, \frac{r}{B})$ nach HANTUSCH 1956 (DABROWSKI/PRZYBYLEK, 1980)

2. Fortsetzung Tabelle 05.02./1

u	$\frac{F}{B}$											u
	0,015	0,020	0,25	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	
0	8,6319	8,0569	7,6111	7,2472	6,9394	6,6731	6,4383	6,2285	6,0388	5,8658	5,7067	0
0,000001												0,000001
0,000002												0,000002
0,000003												0,000003
0,000004												0,000004
0,000005												0,000005
0,000006												0,000006
0,000007	8,6319											0,000007
0,000008	8,6318											0,000008
0,000009	8,6316											0,000009
0,00001	8,6313	8,0569										0,00001
0,00002	8,6152	8,0558	7,6111	7,2471								0,00002
0,00003	8,5737	8,0483	7,6101	7,2470								0,00003
0,00004	8,5168	8,0320	7,6069	7,2465	6,9394	6,6731						0,00004
0,00005	8,4533	8,0080	7,6000	7,2450	6,9391	6,6730						0,00005
0,00006	8,3880	7,9786	7,5894	7,2419	6,9384	6,6729	6,4383					0,00006
0,00007	8,3233	7,9456	7,5754	7,2371	6,9370	6,6726	6,4382	6,2285				0,00007
0,00008	8,2603	7,9105	7,5589	7,2305	6,9347	6,6719	6,4381	6,2284				0,00008
0,00009	8,1996	7,8743	7,5402	7,2222	6,9316	6,6709	6,4378	6,2283				0,00009
0,0001	8,1414	7,8375	7,5199	7,2122	6,9273	6,6693	6,4372	6,2282	6,0388	5,8658	5,7067	0,0001
0,0002	7,6780	7,4972	7,2898	7,0685	6,8439	6,6242	6,4143	6,2173	6,0338	5,8637	5,7059	0,0002
0,0003	7,3562	7,2281	7,0759	6,9068	6,7276	6,5444	6,3623	6,1848	6,0145	5,8527	5,6999	0,0003
0,0004	7,1119	7,0128	6,8929	6,7567	6,6088	6,4538	6,2955	6,1373	5,9818	5,8309	5,6860	0,0004
0,0005	6,9152	6,8346	6,7357	6,6219	6,4964	6,3626	6,2236	6,0821	5,9406	5,8011	5,6648	0,0005
0,0006	6,7508	6,6828	6,5988	6,5011	6,3923	6,2748	6,1512	6,0239	5,8948	5,7658	5,6383	0,0006
0,0007	6,6096	6,5508	6,4777	6,3923	6,2962	6,1917	6,0807	5,9652	5,8468	5,7274	5,6081	0,0007
0,0008	6,4858	6,4340	6,3695	6,2935	6,2076	6,1136	6,0129	5,9073	5,7982	5,6873	5,5755	0,0008
0,0009	6,3757	6,3294	6,2716	6,2032	6,1256	6,0401	5,9481	5,8509	5,7500	5,6465	5,5416	0,0009

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

05.02.

3. Fortsetzung Tabelle 05.02./1

0,001	6,2765	6,2347	6,1823	6,1202	6,0494	5,9711	5,8864	5,7965	5,7026	5,6058	5,5071	0,001
0,002	5,6118	5,5907	5,5636	5,5314	5,4939	5,4516	5,4027	5,3538	5,2991	5,2411	5,1803	0,002
0,003	5,2166	5,2025	5,1845	5,1627	5,1373	5,1084	5,0762	5,0408	5,0025	4,9615	4,9180	0,003
0,004	4,9345	4,9240	4,9105	4,8941	4,8749	4,8530	4,8286	4,8016	4,7722	4,7406	4,7068	0,004
0,005	4,7152	4,7058	4,6960	4,6829	4,6675	4,6499	4,6302	4,6084	4,5846	4,5590	4,5314	0,005
0,006	4,5357	4,5287	4,5197	4,5088	4,4960	4,4814	4,4649	4,4467	4,4267	4,4051	4,3819	0,006
0,007	4,3839	4,3779	4,3702	4,3609	4,3500	4,3374	4,3233	4,3077	4,2905	4,2719	4,2518	0,007
0,008	4,2524	4,2471	4,2404	4,2323	4,2228	4,2118	4,1994	4,1857	4,1707	4,1544	4,1368	0,008
0,009	4,1363	4,1317	4,1258	4,1186	4,1101	4,1004	4,0894	4,0772	4,0638	4,0493	4,0336	0,009
0,01	4,0326	4,0285	4,0231	4,0167	4,0091	4,0003	3,9905	3,9795	3,9675	3,9544	3,9403	0,01
0,02	3,3521	3,3502	3,3476	3,3444	3,3408	3,3365	3,3317	3,3264	3,3205	3,3141	3,3071	0,02
0,03	2,9575	2,9562	2,9545	2,9523	2,9501	2,9474	2,9444	2,9409	2,9370	2,9329	2,9284	0,03
0,04	2,6800	2,6791	2,6779	2,6765	2,6747	2,6727	2,6705	2,6680	2,6652	2,6622	2,6589	0,04
0,05	2,4670	2,4662	2,4653	2,4642	2,4628	2,4613	2,4595	2,4576	2,4554	2,4531	2,4505	0,05
0,06	2,2945	2,2940	2,2932	2,2923	2,2912	2,2900	2,2885	2,2870	2,2852	2,2833	2,2812	0,06
0,07	2,1502	2,1497	2,1491	2,1483	2,1474	2,1464	2,1452	2,1439	2,1424	2,1408	2,1391	0,07
0,08	2,0264	2,0260	2,0255	2,0248	2,0240	2,0231	2,0221	2,0210	2,0198	2,0184	2,0169	0,08
0,09	1,9183	1,9179	1,9174	1,9169	1,9162	1,9154	1,9146	1,9136	1,9125	1,9114	1,9101	0,09
0,1	1,8225	1,8222	1,8218	1,8213	1,8207	1,8200	1,8193	1,8184	1,8175	1,8164	1,8153	0,1
0,2	1,2225	1,2224	1,2222	1,2220	1,2218	1,2215	1,2212	1,2209	1,2205	1,2201	1,2196	0,2
0,3	0,9056	0,9055	0,9054	0,9053	0,9052	0,9050	0,9049	0,9047	0,9045	0,9043	0,9040	0,3
0,4	0,7023	0,7023	0,7022	0,7022	0,7021	0,7020	0,7019	0,7018	0,7016	0,7015	0,7014	0,4
0,5	0,5597	0,5597	0,5597	0,5596	0,5596	0,5595	0,5594	0,5594	0,5593	0,5592	0,5591	0,5
0,6	0,4544	0,4543	0,4543	0,4543	0,4542	0,4542	0,4542	0,4541	0,4540	0,4540	0,4539	0,6
0,7	0,3738	0,3737	0,3737	0,3737	0,3737	0,3736	0,3736	0,3735	0,3735	0,3734	0,3734	0,7
0,8	0,3106	0,3106	0,3106	0,3106	0,3105	0,3105	0,3105	0,3104	0,3104	0,3104	0,3103	0,8
0,9	0,2602	0,2602	0,2602	0,2601	0,2601	0,2601	0,2601	0,2601	0,2600	0,2600	0,2600	0,9
1,0	0,2194	0,2194	0,2194	0,2193	0,2193	0,2193	0,2193	0,2193	0,2193	0,2192	0,2192	1,0
2,0	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	2,0
3,0	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	3,0
4,0	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	4,0
5,0	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	5,0
6,0	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	6,0
7,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	7,0
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,0

05.02.
05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

5. Fortsetzung Tabelle 05.02./1

0,001	5,4075	5,3078	5,2087	5,1109	5,0133	4,9208	4,8292	4,0595	3,5054			0,001
0,002	5,1170	5,0517	4,9848	4,9166	4,8475	4,7778	4,7079	4,0435	3,5043	3,0830	2,7449	0,002
0,003	4,8722	4,8243	4,7746	4,7234	4,6707	4,6169	4,5622	4,0092	3,4969	3,0821	2,7448	0,003
0,004	4,6710	4,6335	4,5942	4,5533	4,5111	4,4676	4,4230	3,9551	3,4806	3,0788	2,7444	0,004
0,005	4,5022	4,4713	4,4389	4,4050	4,3699	4,3335	4,2960	3,8821	3,4567	3,0719	2,7428	0,005
0,006	4,3573	4,3311	4,3036	4,2747	4,2446	4,2134	4,1812	3,8384	3,4274	3,0614	2,7398	0,006
0,007	4,2305	4,2078	4,1839	4,1588	4,1326	4,1053	4,0771	3,7529	3,3947	3,0476	2,7350	0,007
0,008	4,1180	4,0980	4,0769	4,0547	4,0315	4,0073	3,9822	3,6903	3,3598	3,0311	2,7284	0,008
0,009	4,0169	3,9991	3,9802	3,9603	3,9395	3,9178	3,8952	3,6302	3,3239	3,0126	2,7202	0,009
0,01	3,9252	3,9091	3,8920	3,8741	3,8552	3,8356	3,8150	3,5725	3,2875	3,9925	2,7104	0,01
0,02	3,2997	3,2917	3,2832	3,2742	3,2647	3,2547	3,2442	3,1158	2,9521	2,7658	2,5688	0,02
0,03	2,9235	2,9183	2,9127	2,9069	2,9007	2,8941	2,8873	2,8017	2,6896	2,5571	2,4110	0,03
0,04	2,6553	2,6515	2,6475	2,6432	2,6386	2,6338	2,6288	2,5655	2,4816	2,3802	2,2661	0,04
0,05	2,4478	2,4448	2,4416	2,4383	2,4347	2,4310	2,4271	2,3776	2,3110	2,2299	2,1371	0,05
0,06	2,2790	2,2766	2,2740	2,2713	2,2684	2,2654	2,2622	2,2218	2,1673	2,1002	2,0227	0,06
0,07	2,1372	2,1352	2,1331	2,1308	2,1284	2,1258	2,1232	2,0994	2,0435	1,9867	1,9206	0,07
0,08	2,0153	2,0136	2,0118	2,0099	2,0078	2,0056	2,0034	1,9745	1,9351	1,8861	1,8290	0,08
0,09	1,9087	1,9072	1,9056	1,9040	1,9022	1,9003	1,8983	1,8732	1,8389	1,7961	1,7460	0,09
0,1	1,8141	1,8128	1,8114	1,8099	1,8084	1,8067	1,8050	1,7829	1,7527	1,7149	1,6704	0,1
0,2	1,2192	1,2186	1,2181	1,2175	1,2168	1,2162	1,2155	1,2066	1,1944	1,1789	1,1602	0,2
0,3	0,9038	0,9035	0,9032	0,9029	0,9025	0,9022	0,9018	0,8969	0,8902	0,8817	0,8713	0,3
0,4	0,7012	0,7010	0,7008	0,7006	0,7004	0,7002	0,7000	0,6969	0,6927	0,6874	0,6807	0,4
0,5	0,5590	0,5588	0,5587	0,5586	0,5584	0,5583	0,5581	0,5561	0,5532	0,5496	0,5453	0,5
0,6	0,4538	0,4537	0,4536	0,4535	0,4534	0,4533	0,4532	0,4518	0,4498	0,4472	0,4441	0,6
0,7	0,3733	0,3733	0,3732	0,3732	0,3731	0,3730	0,3729	0,3719	0,3704	0,3685	0,3663	0,7
0,8	0,3103	0,3102	0,3102	0,3101	0,3101	0,3100	0,3100	0,3092	0,3081	0,3067	0,3050	0,8
0,9	0,2599	0,2599	0,2599	0,2598	0,2598	0,2597	0,2597	0,2591	0,2583	0,2572	0,2559	0,9
1,0	0,2192	0,2191	0,2191	0,2191	0,2191	0,2190	0,2190	0,2186	0,2179	0,2171	0,2161	1,0
2,0	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0488	0,0488	0,0488	0,0487	0,0486	0,0485	2,0
3,0	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	3,0
4,0	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	4,0
5,0	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	5,0
6,0	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	6,0
7,0	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	7,0
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,0

05.02.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

05.02.

Tabelle 05.02./2: Werte der Funktion e^x , e^{-x} , $K_0(x)$ und $e^x K_0(x)$
(DABROWSKI/PRZYBYLEK, 1980)

x	e^x	e^{-x}	$K_0(x)$	$e^x K_0(x)$	x	e^x	e^{-x}	$K_0(x)$	$e^x K_0(x)$	x	e^x	e^{-x}	$K_0(x)$	$e^x K_0(x)$
0,010	1,010	0,990	4,769	2,981	0,40	1,492	0,670	1,114	1,663	1,0	2,718	0,368	0,421	1,144
0,011	1,011	0,989	4,777	2,969	41	1,507	0,657	1,093	1,647	1,1	2,734	0,353	0,366	1,098
0,012	1,012	0,988	4,784	2,957	42	1,522	0,645	1,072	1,631	1,2	2,750	0,339	0,318	1,057
0,013	1,013	0,987	4,791	2,945	43	1,537	0,634	1,052	1,617	1,3	2,766	0,327	0,278	1,021
0,014	1,014	0,986	4,798	2,934	44	1,552	0,624	1,032	1,603	1,4	2,782	0,316	0,244	0,988
0,015	1,015	0,985	4,805	2,923	45	1,568	0,614	1,013	1,589	1,5	2,798	0,306	0,214	0,958
0,016	1,016	0,984	4,812	2,912	46	1,584	0,605	0,994	1,575	1,6	2,814	0,297	0,188	0,931
0,017	1,017	0,983	4,819	2,901	47	1,600	0,596	0,976	1,562	1,7	2,830	0,289	0,165	0,906
0,018	1,018	0,982	4,826	2,890	48	1,616	0,588	0,958	1,549	1,8	2,846	0,282	0,146	0,883
0,019	1,019	0,981	4,833	2,880	49	1,632	0,581	0,941	1,536	1,9	2,862	0,276	0,129	0,861
0,020	1,020	0,980	4,840	2,870	50	1,649	0,575	0,924	1,524	2,0	2,878	0,270	0,114	0,842
0,021	1,021	0,979	4,847	2,860	51	1,665	0,569	0,908	1,512	2,1	2,894	0,265	0,101	0,823
0,022	1,022	0,978	4,854	2,850	52	1,682	0,564	0,892	1,501	2,2	2,910	0,260	0,089	0,806
0,023	1,023	0,977	4,861	2,840	53	1,699	0,559	0,877	1,490	2,3	2,926	0,256	0,078	0,790
0,024	1,024	0,976	4,868	2,830	54	1,716	0,554	0,861	1,479	2,4	2,942	0,252	0,068	0,774
0,025	1,025	0,975	4,875	2,820	55	1,733	0,550	0,847	1,467	2,5	2,958	0,248	0,059	0,760
0,026	1,026	0,974	4,882	2,810	56	1,751	0,546	0,832	1,456	2,6	2,974	0,244	0,051	0,746
0,027	1,027	0,973	4,889	2,800	57	1,768	0,542	0,818	1,446	2,7	2,990	0,240	0,044	0,733
0,028	1,028	0,972	4,896	2,790	58	1,786	0,538	0,804	1,436	2,8	3,006	0,236	0,038	0,721
0,029	1,029	0,971	4,903	2,780	59	1,804	0,534	0,791	1,426	2,9	3,022	0,232	0,033	0,709
0,030	1,030	0,970	4,910	2,770	60	1,822	0,530	0,777	1,417	3,0	3,038	0,228	0,029	0,698
0,031	1,031	0,969	4,917	2,760	61	1,840	0,526	0,765	1,407	3,1	3,054	0,224	0,026	0,687
0,032	1,032	0,968	4,924	2,750	62	1,859	0,522	0,752	1,398	3,2	3,070	0,220	0,023	0,677
0,033	1,033	0,967	4,931	2,740	63	1,878	0,518	0,740	1,389	3,3	3,086	0,216	0,021	0,667
0,034	1,034	0,966	4,938	2,730	64	1,896	0,514	0,728	1,380	3,4	3,102	0,212	0,019	0,657
0,035	1,035	0,965	4,945	2,720	65	1,915	0,510	0,716	1,371	3,5	3,118	0,208	0,017	0,648
0,036	1,036	0,964	4,952	2,710	66	1,935	0,506	0,704	1,363	3,6	3,134	0,204	0,016	0,640
0,037	1,037	0,963	4,959	2,700	67	1,954	0,502	0,693	1,354	3,7	3,150	0,200	0,015	0,632
0,038	1,038	0,962	4,966	2,690	68	1,974	0,498	0,682	1,346	3,8	3,166	0,196	0,014	0,624
0,039	1,039	0,961	4,973	2,680	69	1,994	0,494	0,671	1,338	3,9	3,182	0,192	0,013	0,617
0,040	1,040	0,960	4,980	2,670	70	2,014	0,490	0,660	1,330	4,0	3,198	0,188	0,012	0,610
0,041	1,041	0,959	4,987	2,660	71	2,034	0,486	0,650	1,322	4,1	3,214	0,184	0,011	0,602
0,042	1,042	0,958	4,994	2,650	72	2,054	0,482	0,640	1,315	4,2	3,230	0,180	0,010	0,595
0,043	1,043	0,957	4,999	2,640	73	2,075	0,478	0,630	1,307	4,3	3,246	0,176	0,009	0,589
0,044	1,044	0,956	5,006	2,630	74	2,096	0,474	0,620	1,300	4,4	3,262	0,172	0,008	0,583
0,045	1,045	0,955	5,012	2,620	75	2,117	0,470	0,611	1,293	4,5	3,278	0,168	0,007	0,576
0,046	1,046	0,954	5,019	2,610	76	2,138	0,466	0,601	1,285	4,6	3,294	0,164	0,006	0,570
0,047	1,047	0,953	5,026	2,600	77	2,160	0,462	0,592	1,278	4,7	3,310	0,160	0,005	0,564
0,048	1,048	0,952	5,033	2,590	78	2,181	0,458	0,583	1,271	4,8	3,326	0,156	0,004	0,558
0,049	1,049	0,951	5,040	2,580	79	2,203	0,454	0,574	1,265	4,9	3,342	0,152	0,003	0,553
0,050	1,050	0,950	5,047	2,570	80	2,225	0,449	0,565	1,258	5,0	3,358	0,148	0,002	0,548
0,051	1,051	0,949	5,054	2,560	81	2,248	0,445	0,557	1,252					
0,052	1,052	0,948	5,061	2,550	82	2,270	0,440	0,549	1,245					
0,053	1,053	0,947	5,068	2,540	83	2,293	0,436	0,542	1,239					
0,054	1,054	0,946	5,075	2,530	84	2,316	0,432	0,534	1,232					
0,055	1,055	0,945	5,082	2,520	85	2,340	0,427	0,526	1,226					
0,056	1,056	0,944	5,089	2,510	86	2,363	0,423	0,518	1,220					
0,057	1,057	0,943	5,096	2,500	87	2,387	0,419	0,509	1,214					
0,058	1,058	0,942	5,103	2,490	88	2,411	0,415	0,501	1,208					
0,059	1,059	0,941	5,110	2,480	89	2,435	0,411	0,494	1,203					
0,060	1,060	0,940	5,117	2,470	90	2,460	0,407	0,487	1,197					
0,061	1,061	0,939	5,124	2,460	91	2,484	0,403	0,480	1,192					
0,062	1,062	0,938	5,131	2,450	92	2,509	0,399	0,473	1,186					
0,063	1,063	0,937	5,138	2,440	93	2,534	0,395	0,466	1,181					
0,064	1,064	0,936	5,145	2,430	94	2,560	0,391	0,459	1,175					
0,065	1,065	0,935	5,152	2,420	95	2,586	0,387	0,452	1,170					
0,066	1,066	0,934	5,159	2,410	96	2,612	0,383	0,446	1,165					
0,067	1,067	0,933	5,166	2,400	97	2,638	0,379	0,440	1,160					
0,068	1,068	0,932	5,173	2,390	98	2,664	0,375	0,434	1,155					
0,069	1,069	0,931	5,180	2,380	99	2,691	0,371	0,427	1,150					
0,070	1,070	0,930	5,187	2,370	100	2,718	0,367	0,421	1,145					

K_0 - modifizierte Bessel'sche Funktion

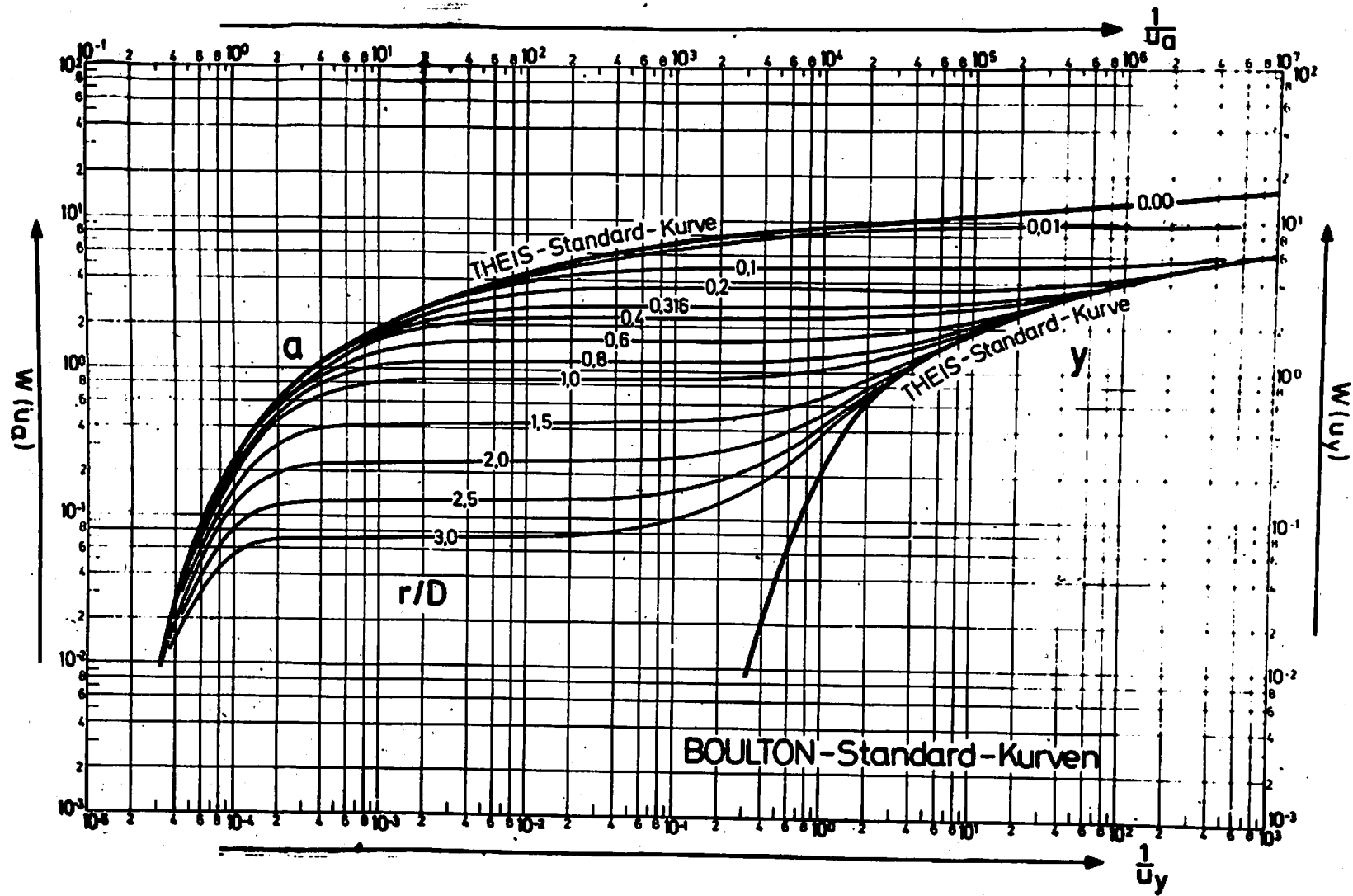


Bild 05.02./2: BOULTON-Standard-Kurven (LANGGUTH/VOIGT, 1980)

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

05.02.

Tabelle 05.02./3: Werte der Funktion $W(u_A, \frac{r}{B_1})$ und $W(u_y, \frac{r}{B_1})$
nach BOULTON 1963
(DABROWSKI/PRZYBYLEK, 1980)

$r/B_1 = 0,01$		$r/B_1 = 0,1$		$r/B_1 = 0,2$		$r/B_1 = 0,316$		$r/B_1 = 0,4$		$r/B_1 = 0,6$	
$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$
1/1/	1,82	1/1/	1,80	5/0/	1,19	1/0/	2,16/-1/	1/0/	2,13/-1/	1/0/	2,06/-1/
1/2/	4,04	5/1/	3,24	1/1/	1,75	2/0/	5,44/-1/	2/0/	5,34/-1/	2/0/	5,04/-1/
1/3/	6,31	1/2/	3,81	5/1/	2,95	5/0/	1,15	5/0/	1,11	5/0/	9,96/-1/
5/3/	7,82	2/2/	4,30	1/2/	3,29	1/1/	1,65	1/1/	1,56	1/1/	1,31
1/4/	8,40	5/2/	4,71	5/2/	3,50	5/1/	2,50	5/1/	2,18	2/1/	1,49
1/5/	9,42	1/3/	4,83	1/3/	3,51	1/2/	2,62	1/2/	2,22	5/1/	1,55
1/6/	9,44	1/4/	4,85			1/3/	2,65				
$r/B_1 = 0,8$		$r/B_1 = 1,0$		$r/B_1 = 1,5$		$r/B_1 = 2,0$		$r/B_1 = 2,5$		$r/B_1 = 3,0$	
$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$	$1/u_A$	$W(u_A, r/B_1)$
5/-1/	4,60/-2/	5/-1/	4,44/-2/	5/-1/	3,94/-2/	3,33/-1/	1,00/-2/	5/-1/	2,71/-2/	5/-1/	2,10/-2/
1	1,97/-1/	1/0/	1,85/-1/	1/0/	1,51/-1/	5/-1/	3,35/-2/	1/0/	8,03/-2/	1/0/	5,34/-2/
2	1,66/-1/	2/0/	4,21/-1/	1,25/0/	1,99/-1/	1/0/	1,14/-1/	1,25/0/	9,61/-2/	1,25/0/	6,07/-2/
5	8,57/-1/	5/0/	7,15/-1/	2,0	3,01/-1/	1,25/0/	1,44/-1/	2/0/	1,17/-1/	2/0/	6,81/-2/
1/1/	1,05	1/1/	8,19/-1/	5,0	4,13/-1/	2/0/	1,94/-1/	5/0/	1,25/-1/	5/0/	6,95/-2/
2/1/	1,12	2/1/	8,41/-1/	1/1/	4,27/-1/	5/0/	2,27/-1/	1/1/	1,25/-1/	1/1/	6,99/-2/
2/1/				2/1/	4,19/-1/	1/1/	2,28/-1/				
$r/B_1 = 0,01$		$r/B_1 = 0,1$		$r/B_1 = 0,2$		$r/B_1 = 0,316$		$r/B_1 = 0,4$		$r/B_1 = 0,6$	
$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$
4/2/	9,45	4/0/	4,86	4/-1/	3,51	4/-1/	2,66	1/-1/	2,23	4,44/-1/	1,59
4/3/	9,54	4/1/	4,95	4/0/	3,54	4/0/	2,74	1/0/	2,26	2,22/0/	1,71
4/4/	1,02/1/	4/2/	5,04	2/1/	3,69	4/1/	3,38	5/0/	2,40	4,44/0/	1,84
4/5/	1,23/1/	4/3/	7,72	4/1/	3,85	4/2/	5,42	1/1/	2,55	1,67/1/	2,45
4/6/	1,46/1/	4/4/	1,00/1/	1,5/2/	4,55	4/3/	7,72	3,75/1/	3,20	4,44/1/	3,26
				4/2/	5,42			1/2/	4,05		
$r/B_1 = 0,8$		$r/B_1 = 1,0$		$r/B_1 = 1,5$		$r/B_1 = 2,0$		$r/B_1 = 2,5$		$r/B_1 = 3,0$	
$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$	$1/u_y$	$W(u_y, r/B_1)$
2,5/-2/	1,13	4/-2/	8,44/-1/	7,11/-2/	4,44/-1/	4/-2/	2,39/-1/	2,56/-2/	1,32/-1/	1,78/-2/	7,43/-2/
2,5/-1/	1,16	4/-1/	9,01/-1/	3,55/-1/	5,09/-1/	2/-1/	2,83/-1/	1,28/-1/	1,62/-1/	8,88/-2/	9,39/-2/
1,25/0/	1,26	4/0/	1,36	7,11/-1/	5,87/-1/	4/-1/	3,37/-1/	2,56/-1/	1,99/-1/	1,78/-1/	1,19/-1/
2,5/0/	1,39	4/1/	3,14	2,67/0/	9,63/-1/	1,5/0/	6,14/-1/	9,6/-1/	3,99/-1/	6,67/-1/	2,62/-1/
8,37/0/	1,94			7,11/0/	1,57	4/0/	1,11	2,56/0/	7,98/-1/	1,78/0/	5,77/-1/
2,5/1/	2,70										

05.02.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

Tabelle 05.02./4: Tabelle der Funktion $\Phi(\lambda) = \text{erf } \lambda$ und $\text{erfc } \lambda$
(BOTSCHWEVER u. a., 1969)

$$\Phi(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\lambda} e^{-t^2} dt; \text{erfc } \lambda = 1 - \Phi(\lambda)$$

λ	$\text{erf } (\lambda)$	$\text{erfc } (\lambda)$	λ	$\text{erf } (\lambda)$	$\text{erfc } (\lambda)$	λ	$\text{erf } (\lambda)$	$\text{erfc } (\lambda)$
0,00	0,00	1,000	0,41	0,438	0,562	0,81	0,748	0,252
0,01	0,011	0,989	0,42	0,448	0,552	0,82	0,754	0,246
0,02	0,023	0,977	0,43	0,457	0,543	0,83	0,760	0,240
0,03	0,034	0,966	0,44	0,466	0,534	0,84	0,765	0,235
0,04	0,045	0,955	0,45	0,476	0,524	0,85	0,771	0,229
0,05	0,056	0,944	0,46	0,485	0,515	0,86	0,776	0,224
0,06	0,067	0,933	0,47	0,494	0,506	0,87	0,781	0,219
0,07	0,079	0,921	0,48	0,503	0,497	0,88	0,787	0,213
0,08	0,090	0,910	0,49	0,512	0,488	0,89	0,792	0,208
0,09	0,101	0,899	0,50	0,520	0,480	0,90	0,797	0,203
0,10	0,113	0,887	0,51	0,520	0,471	0,91	0,802	0,198
0,11	0,124	0,876	0,52	0,538	0,462	0,92	0,807	0,193
0,12	0,135	0,865	0,53	0,547	0,453	0,93	0,812	0,188
0,13	0,146	0,854	0,54	0,555	0,445	0,94	0,816	0,184
0,14	0,157	0,843	0,55	0,563	0,437	0,95	0,821	0,179
0,15	0,168	0,832	0,56	0,572	0,428	0,96	0,825	0,175
0,16	0,171	0,829	0,57	0,580	0,420	0,97	0,830	0,170
0,17	0,180	0,810	0,58	0,588	0,412	0,98	0,834	0,166
0,18	0,201	0,799	0,59	0,596	0,404	0,99	0,839	0,161
0,19	0,211	0,789	0,60	0,604	0,396	1,00	0,843	0,157
0,20	0,223	0,777	0,61	0,612	0,388	1,05	0,862	0,138
0,21	0,234	0,766	0,62	0,619	0,381	1,10	0,880	0,120
0,22	0,244	0,756	0,63	0,627	0,373	1,15	0,897	0,104
0,23	0,255	0,745	0,64	0,635	0,365	1,20	0,910	0,090
0,24	0,266	0,734	0,65	0,642	0,358	1,25	0,923	0,077
0,25	0,276	0,724	0,66	0,649	0,351	1,30	0,934	0,066
0,26	0,287	0,713	0,67	0,657	0,343	1,35	0,944	0,056
0,27	0,297	0,703	0,68	0,664	0,336	1,40	0,952	0,048
0,28	0,308	0,692	0,69	0,671	0,329	1,45	0,960	0,040
0,29	0,318	0,682	0,70	0,678	0,322	1,50	0,966	0,034
0,30	0,329	0,671	0,71	0,685	0,315	1,60	0,976	0,024
0,31	0,339	0,661	0,72	0,691	0,309	1,70	0,984	0,016
0,32	0,349	0,651	0,73	0,698	0,302	1,80	0,989	0,011
0,33	0,359	0,641	0,74	0,705	0,295	1,90	0,9928	0,0072
0,34	0,369	0,631	0,75	0,711	0,289	2,00	0,99532	0,00468
0,35	0,379	0,621	0,76	0,718	0,282	2,10	0,99702	0,00298
0,36	0,389	0,611	0,77	0,724	0,276	2,20	0,99814	0,00186
0,37	0,399	0,601	0,78	0,730	0,270	2,30	0,99886	0,00114
0,38	0,409	0,591	0,79	0,736	0,264	2,40	0,99931	0,00069
0,39	0,419	0,581	0,80	0,742	0,258	2,50	0,99959	0,00041
0,40	0,428	0,572						

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

05.02.

Tabelle 05.02./5: Tabelle der Funktion $R(\lambda)$ (BOTSCHEWER u. a., 1969)

$$R(\lambda) = \lambda^2 \operatorname{erfc} \lambda = (1 + 2\lambda^2) \operatorname{erfc} \lambda - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \lambda e^{-\lambda^2}$$

λ	$R(\lambda)$	λ	$R(\lambda)$	λ	$R(\lambda)$
0	1,000	0,19	0,639	0,42	0,349
0,01	0,978	0,20	0,623	0,44	0,331
0,02	0,956	0,21	0,607	0,46	0,313
0,03	0,934	0,22	0,592	0,48	0,296
0,04	0,913	0,23	0,578	0,5	0,280
0,05	0,892	0,24	0,558	0,6	0,209
0,06	0,872	0,25	0,549	0,7	0,154
0,07	0,852	0,26	0,535	0,8	0,112
0,08	0,832	0,27	0,522	0,9	0,0803
0,09	0,813	0,28	0,509	1,0	0,0568
0,10	0,794	0,29	0,496	1,1	0,0396
0,11	0,775	0,30	0,483	1,2	0,0272
0,12	0,757	0,32	0,458	1,3	0,0184
0,13	0,739	0,34	0,434	1,4	0,0122
0,14	0,721	0,36	0,412	1,5	0,0080
0,15	0,704	0,38	0,391	2,0	0,00076
0,16	0,687	0,40	0,370	2,5	0,000043
0,17	0,670	0,41	0,359		
0,18	0,654				

05.02.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.02. Analytische Verfahren

Tabelle 05.02./6: Tabelle der Funktion $P(\lambda) = i \operatorname{erfc}(\lambda)$
BOTSCHWEVER u. a., 1969)

$$P(\lambda) = i \operatorname{erfc}(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\lambda^2} - \lambda \operatorname{erfc} \lambda$$

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,0	0,504	0,00	0,479	0,18	0,402
0,01	0,554	0,10	0,470	0,19	0,394
0,02	0,544	0,11	0,461	0,20	0,387
0,03	0,535	0,12	0,452	0,21	0,379
0,04	0,525	0,13	0,444	0,22	0,371
0,05	0,515	0,14	0,435	0,23	0,364
0,06	0,506	0,15	0,427	0,24	0,356
0,07	0,497	0,16	0,419	0,25	0,349
0,08	0,488	0,17	0,410	0,26	0,342
0,27	0,335	0,40	0,252	0,66	0,134
0,28	0,328	0,42	0,241	0,68	0,127
0,29	0,321	0,44	0,230	0,70	0,120
0,30	0,314	0,46	0,220	0,75	0,105
0,31	0,308	0,48	0,209	0,80	0,091
0,32	0,301	0,50	0,200	0,85	0,079
0,33	0,295	0,52	0,190	0,90	0,068
0,34	0,288	0,54	0,181	1,0	0,050
0,35	0,282	0,56	0,172	1,2	0,026
0,36	0,276	0,58	0,164	1,4	0,0127
0,37	0,272	0,60	0,156	1,6	0,0058
0,38	0,264	0,62	0,148	1,8	0,0025
0,39	0,258	0,64	0,141	2,0	0,001

05.00. Grundwasserhydraulik
05.03. Analoge Verfahren

05.03.

Tabelle 05.03./1: Analogiebeziehungen zwischen der Grundwasserbewegung und dem elektrischen Stromfluß in elektrischen Leitern mit reinem Wirkwiderstand (BUSCH/LUCKNER, 1973)

Zeile	Grundwasserbewegung (O)	elektrischer Stromfluß (E)
1.1.	$Q = -\frac{\Delta h}{R^0}$ in $m^3 s^{-1}$ Darcy-Gesetz	$I = -\frac{\Delta U}{R^E}$ in A Ohmsches Gesetz
1.2.	mit $R^0 = \frac{1}{k} \frac{\Delta s^0}{\Delta A^0}$ in $s m^{-2}$	mit $R^E = \frac{1}{\sigma} \frac{\Delta s^E}{\Delta A^E}$ in Ω
1.3.	$Q^0 R^0 m g$ in $kg m^2 s^{-2}$ $= \Delta h m g$ in $kg m^2 s^{-2}$	$I R^E Q^E$ in $A \Omega C = \int U Q^E$ in VC mit $1 VC = 1 A \Omega C = 1 VAs$ $= 1 kg m^2 s^{-2}$
1.4.	$v = -k \frac{\partial h}{\partial r^0}$ (räumliche Grundwasserströmung)	$j = -\sigma \frac{\partial U}{\partial r^E}$
1.5.	$q^b = -(kb) \frac{\partial h}{\partial r^0}$ (vertikal-ebene Grundwasserströmung)	$(j d^E) = -(\sigma d^E) \frac{\partial U}{\partial r^E}$ mit $(\sigma d^E) = \frac{1}{Rq}$
1.6.	$q^z = -k_r \frac{\partial \Phi}{\partial r^0}$	
1.7.	bzw. $q^z = -T \frac{\partial h}{\partial r^0}$ (horizontal-ebene Grundwasserströmung)	
2.1.	$\sum Q^0 = 0$ in $m^3 s^{-1}$	$\sum I = 0$ in A Kirchhoffsches Gesetz
2.2.	$\Delta (v_x \Delta A_{1x}^0) + \Delta (v_y \Delta A_{1y}^0) + \Delta (v_z \Delta A_{1z}^0) = -S_0 \Delta U \frac{\partial h}{\partial t^0}$	$\Delta (j_x \Delta A_{1x}^E) + \Delta (j_y \Delta A_{1y}^E) + \Delta (j_z \Delta A_{1z}^E) = 0$
2.3.	$\frac{\partial v_x}{\partial x^0} + \frac{\partial v_y}{\partial y^0} + \frac{\partial v_z}{\partial z^0} = -S_0 \frac{\partial h}{\partial t^0}$ (räumliche Grundwasserströmung)	$\frac{\partial j_x}{\partial x^E} + \frac{\partial j_y}{\partial y^E} + \frac{\partial j_z}{\partial z^E} = 0$
2.4.	$\frac{\partial q_y^b}{\partial y^0} + \frac{\partial q_z^b}{\partial z^0} = (S_0 b) \frac{\partial h}{\partial t^0}$ (vertikal-ebene Grundwasserströmung)	$\frac{\partial (j_y d^E)}{\partial y^E} + \frac{\partial (j_z d^E)}{\partial z^E} = 0$
2.5.a	$\frac{\partial q_x^z}{\partial x} + \frac{\partial q_y^z}{\partial y} = -S \frac{\partial h}{\partial t^0} + v_x$	$\frac{\partial (j_x d^E)}{\partial x^E} - \frac{\partial (j_y d^E)}{\partial y^E} = 0$
2.5.b		
2.6.	$v_x - v_x \frac{\partial z_R^0}{\partial x^0} - v_y \frac{\partial z_R^0}{\partial y} = n_0 \frac{\partial z_R}{\partial t^0} - v_x$ (räumliche Grundwasserströmung)	ohne Entsprechung
2.7.	$v_x - v_y \frac{\partial z_R^0}{\partial y^0} = n_0 \frac{\partial z_R}{\partial t^0} - v_x$ (vertikal-ebene Grundwasserströmung)	

Gesetze von der Erhaltung der Energie (Grundgleichung)

Gesetze von der Erhaltung der Materie (Feldgleichung) im Inneren des Feldes
an der freien Oberfläche

05.03.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.03. Analoge Verfahren

Tabelle 05.03./2: Maßstabsbeziehungen zwischen der Grundwasserbewegung und dem elektrischen Stromfluß (BUSCH/LUCKNER, 1973)

Maßstäbe	der Geometrie	der Potentiale	der Abflüsse	
① Räumliche GW-Strö- mung	$x'' = \lambda x^E$	$\frac{h - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}$	$v = \frac{k}{\sigma} \frac{h_{\max} - h_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} j$	
	$y'' = \lambda y^E$			
	$z'' = \lambda z^E$			
	$z''_R = \lambda z^E_R$			
② Vertikal- ebene und rotations- symmetri- sche ($d^0 = 2\pi r^0$) GW-Strö- mung	$x'' = \lambda x^E$	$\frac{h - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}$	$q^0 = \frac{(kd^0)}{(\sigma d^E)} \frac{h_{\max} - h_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} (jd^E)$	
	$y'' = \lambda y^E$			
	$z'' = \lambda z^E$			
	$z''_R = \lambda z^E_R$			
	x^0 ist unähn- lich x^E ; dies- bezügliche Maßstabsbe- trachtungen sind gegen- standslos			$Q = \frac{(kd^0)}{(\sigma d^E)} \frac{h_{\max} - h_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} I$
	mit $\frac{1}{(\sigma d^E)} = R_0$			
③ Horizontal- ebene GW- Strömung	$x^0 = \lambda x^E$	$\frac{\Phi - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}} = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}$ bzw. $\frac{h - h_{\min}}{h_{\max} - h_{\min}} = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}$	$q^z = \frac{k}{(\sigma d^E)} \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} (jd^E)$	
	$y^0 = \lambda y^E$			
	z^0 unähnlich z^E ; alle dies- bezüglichen Maßstabsbe- trachtungen sind gegenstands- los			$Q = \frac{k}{(\sigma d^E)} \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} I$
				$q^z = \frac{T}{(\sigma d^E)} \frac{h_{\max} - h_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} (jd^E)$ $Q = \frac{T}{(\sigma d^E)} \frac{h_{\max} - h_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} I$ mit $(\sigma d^E)^{-1} = Rq$

05.00. Grundwasserhydraulik
05.03. Analoge Verfahren

05.03.

Tabelle 05.03./3: Einander entsprechende Größen der Grundwasserbewegung und des elektrischen Stromflusses (BUSCH/LUCKNER, 1973)

Zeile	Grundwasserbewegung (C)	elektrischer Stromfluß (E)		
2.1 2.2 2.3	vertikal-eben gegenüber ① ändern sich Zeile 1.2, 1.3 und 1.5 Spezifische hydraulische Leitfähigkeit Spezifischer Volumenstrom ② z^0 entspricht nicht z^E (bzw. d^E)	in $m^2 s^{-1}$ $(kl^0) \triangleq (\sigma d^E)$ in Ω^{-1} in $m^2 s^{-1}$ $q^b \triangleq (j d^E)$ in $A m^{-1}$ x^0 entspricht nicht x^E (bzw. d^E)	Quadratleitfähigkeit Spezifischer elektrischer Stromfluß	
			3.1	gegenüber ① ändern sich 1.1, 1.2, 1.3 und 1.7 Differenz des Girinskij-Potentiales in m^2 $d\Phi \triangleq dU$ in V Differenz der Spannung gegen Erde
			3.2	horizontal-eben Mittlerer Durchlässigkeitskoeffizient bzw. unter Zugrundelegung der Dupuit-Annahmen in $m s^{-1}$ $\bar{k} \triangleq (\sigma d^E)$ in Ω^{-1} Quadratleitfähigkeit
3.4	Profildurchlässigkeit in $m^2 s^{-1}$ $T \triangleq (\sigma d^E)$ in Ω^{-1} Quadratleitfähigkeit			
3.5	Spezifischer Volumenstrom (in beiden Fällen) in $m^2 s^{-1}$ $q^z \triangleq (j d^E)$ in $A m^{-1}$ Spezifischer elektrischer Stromfluß			
3.6	z^0 entspricht nicht z^E (bzw. d^E)			

05.03.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.03. Analoge Verfahren

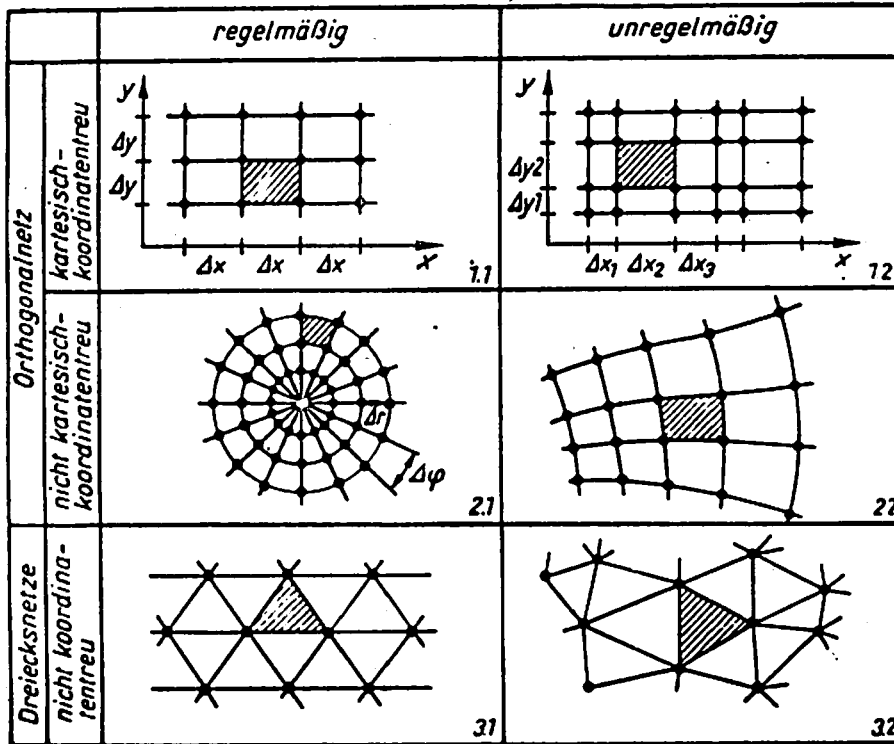


Bild 05.03./1: Rechteck- und Dreiecknetzformen
(LUCKNER/SCHESTAKOW, 1975)

05.00. Grundwasserhydraulik
05.04. Digitale Verfahren

05.04.

Tabelle 05.04./1: Rechenprogramme der Strömungsmechanik

Programm-name	Aufgabenstellung	Programmbetreuung
AQUA 78	Dreidimensionale Flüssigkeitsströmung in porösen Medien	IfE, BA
AQUARIUM	dto.	dto.
AUTOTEST	Automatische Auswertung (Identifikation) instationärer Bohrlochteste	FIEE, BLZ
BOTEMP-74	Stationäre Temperaturverteilung in Bohrlöchern. (Gasströmung)	BA
BRUBEM	Komplexprogramm zur analytischen Brunnenbemessung <ul style="list-style-type: none"> • Berechnung stationärer und nichtstationärer Absenkungen für beliebige Ortspunkte und Randbedingungen gemäß Werkstandard Wapro 1.42 (Programm WAPRO) • dto. für heberbewirtschaftete GW-Fassungsanlagen 	TU, HGN, PROWA
DIANA	Digital-analytische Lösung von Brunnenbemessungsaufgaben	TU
EFG	Zweidimensionale stationäre und Flüssigkeitsströmung in inhomogenen porösen Medien. Verwendung auch für Wärmeleitung und Diffusion	BA, BI
GEOFIM	Programmsystem zur Geofiltration und Migration (in Arbeit)	TU, IfW, BA, HGN u. a.
GRABEN	Simulation des nichtstationären Strömungsregimes in Grabennetzen (Grundlage für Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser)	
HISTY	Parameteridentifikation bei zweidimensionaler Realgasströmung (History-Match-Modell)	IfE, BI, BA
HOREG	Komplexprogramm der horizontalebene Geofiltration mit Dreiecksdiskretisierung (besonders für Tagebauentwässerung)	TU

05.04.

05.00. Grundwasserhydraulik

05.04. Digitale Verfahren

Fortsetzung Tabelle 05.04./1

Programm-name	Aufgabenstellung	Programm-betreuung
HOREGO	Komplexprogramm der horizontalebene Grundwasserbewegung (zweidimensionale Strömung in gespanntem und ungespanntem Grundwasser) auf Grundlage von Orthogonalnetzdiskretisierung	TU, HGN
IMPOL	Implizites Umkehrproblem mit Polynomansatz für Rechtecknetze (74 I) und Vielecknetze (75 VIE) zur Ermittlung von Durchlässigkeits-, Porositäts-Druckverteilungen	BI BA
ISOLINE ISO-KRS	Berechnung von Isolinienplänen in zweidimensionalen Strömungsmodellen	IfW TU u. a.
KOSU	Indirekte Bestimmung der Kolmationsparameter w auf der Grundlage gemessener Potential- und Strömungswerte an bestehenden Uferfiltratfassungen	TU
MOFED	Modell der dreidimensionalen Flüssigkeits- (W) bzw. Gasströmung (73 G) in porösen Medien mit nichtlinearem Strömungsgesetz	IfE, BA FIEE
MOSES	Modell zur Simulation von Erdgaslagerstätten und Speichern (dreidimensionale Strömung von Gas und Gas/Wasser)	IfE
PARIS	Automatische Auswertung instationärer Bohrlochtaste (Parameteridentifikation für Lösung radialsymmetrischer Strömungsprobleme nach analytischen, instationären Verfahren)	FIEE BLZ
PSUMI	Auswertung von Gütepumpversuchen (Dispersivität, effektive Porosität) mittels Suchverfahren	TU
PSUX	Pumpversuchsauswertung mittels Suchverfahren auf der Grundlage von Gütefunktionen	TU
SIMKA	Horizontal- oder vertikalebene Simulation von Stofftransportprozessen unterschiedlicher Problemstellungen	TU IfW

05.00. Grundwasserhydraulik
05.04. Digitale Verfahren

05.04.

Fortsetzung Tabelle 05.04./1

Programm name	Aufgabenstellung	Programm- betreuung
STREAM	Programmsystem zur Ermittlung und Darstellung von Stromlinien, Isochronen und Geschwindigkeitsvektoren	TU IfW
TAFEGA	Komplexprogramm zur Berechnung der Entwässerungswirkung von Tagebaufeld- und -randgalerien	IfW BUS
UMGWV	Parameteridentifikation bei zweidimensionaler Gas-Wasser-Strömung in porösen Medien	IfE BI
USKI	Dreidimensionale Gasströmung und Gasvermischung in klüftig-porösen Speichern	BI

Erläuterung der Abkürzungen:

- BA - Bergakademie Freiberg
- BI - Brennstoffinstitut Freiberg
- BLZ - VEB Bohrlochzementierung Gommern
- FIEE - Forschungsinstitut f. d. Erkundung und Förderung von Erdöl und Erdgas
- HGN - VEB Hydrogeologie Nordhausen
- IfE - Institut für Energetik, Leipzig
- IfW - Institut für Wasserwirtschaft, Berlin
- PROWA - VEB Projektierung Wasserwirtschaft
- TU - Technische Universität Dresden

05.05.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.05. Randbedingungen

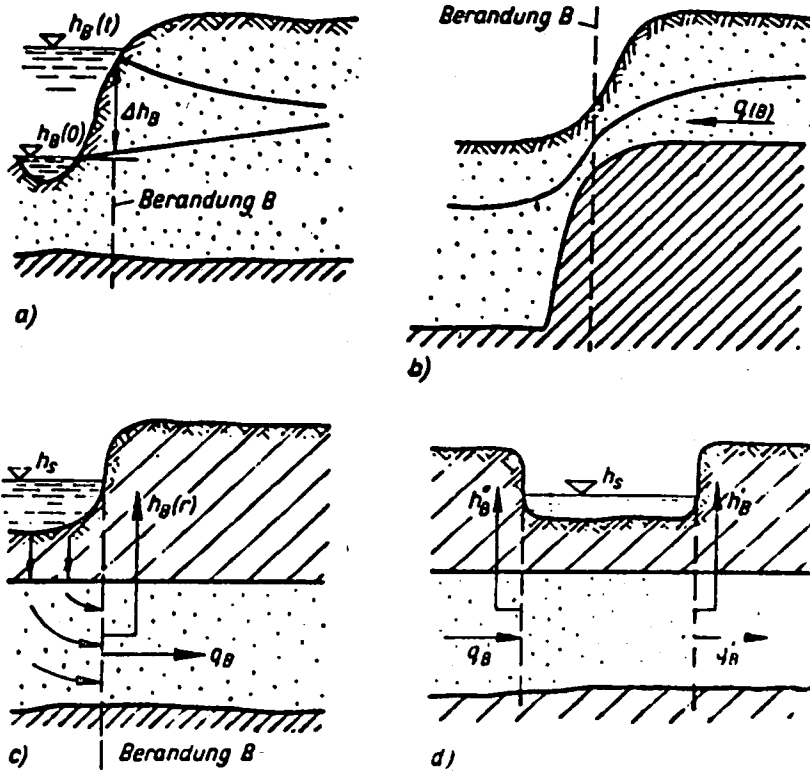


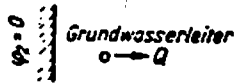
Bild 2.4. Typen der Randbedingungen und Berandungen
a) Randbedingung 1. Art c) Randbedingung 3. Art
b) Randbedingung 2. Art d) innere Randbedingung 3. Art

Bild 05.05./1: Typen von Randbedingungen und Berandungen (LUCKNER/SCHESTAKOW, 1975)

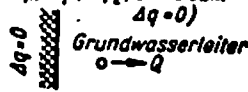
05.00. Grundwasserhydraulik
05.05. Randbedingungen

05.05.

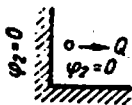
RB 4.3 A (a/b)
Langs der Berandung gilt:
 $\phi = \phi_n = \text{const. } (\psi_2 = 0)$



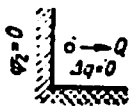
RB 4.3 B (a/b)
Langs der Berandung gilt:
 $q_n = q (\delta \psi_2 / \delta n = 0 \text{ bzw. } \Delta q = 0)$



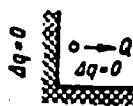
RB 4.4 A (a/b)



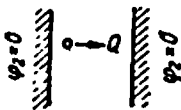
RB 4.4 B (a/b)



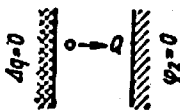
RB 4.4 C (a/b)



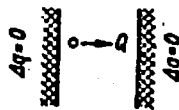
RB 4.5 A



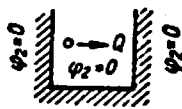
RB 4.5 B



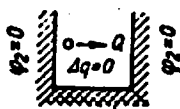
RB 4.5 C



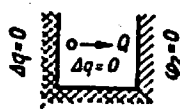
RB 4.5 D



RB 4.5 E



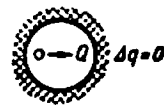
RB 4.5 F



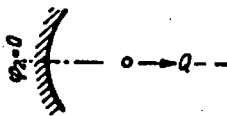
RB 4.6 A



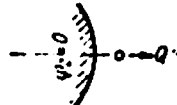
RB 4.6 B



RB 4.7 A



RB 4.7 B



- RB 4.1 unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter (ohne Darstellung)
 - a) keine Speisung des GW-Leiters aus liegenden oder hangenden Schichten
 - b) Speisung des GW-Leiters aus liegenden und/oder hangenden Schichten (ohne Darstellung)
- RB 4.3 einseitig begrenzter unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter
- RB 4.4 zweiseitig rechteckig begrenzter unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter ohne Speisung (A bis C) und dreiseitig begrenzter Grundwasserleiter ohne Speisung (D bis F)
- RB 4.5 parallel begrenzter Grundwasserleiter ohne Speisung (A bis C) und dreiseitig begrenzter Grundwasserleiter ohne Speisung (D bis F)
- RB 4.6 kreisförmig begrenzter Grundwasserleiter ohne Speisung
- RB 4.7 durch Flußkrümmen begrenzter Grundwasserleiter ohne Speisung mit hyperbolischer Berandung (A) oder parabolischer Berandung (B)

Bild 05.05./2: Äußere Randbedingungen für geohydraulische Berechnungen (LUCKNER/SCHESTAKOW, 1975)

05.05.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.05. Randbedingungen

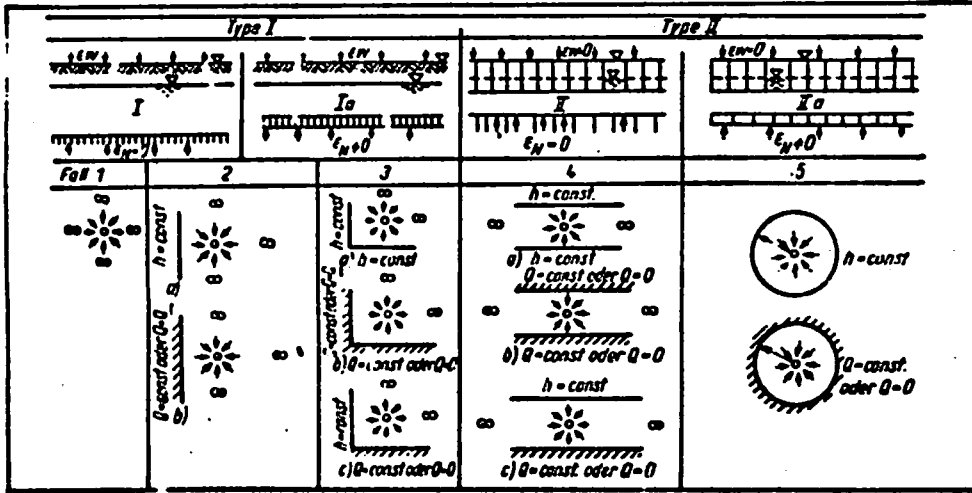


Bild 05.05./3: Die wichtigsten Berechnungsfälle nach dem Verfahren des hydraulischen Widerstandes nach BOCEVER und VERIGIN (KITTNER u. a., 1977).

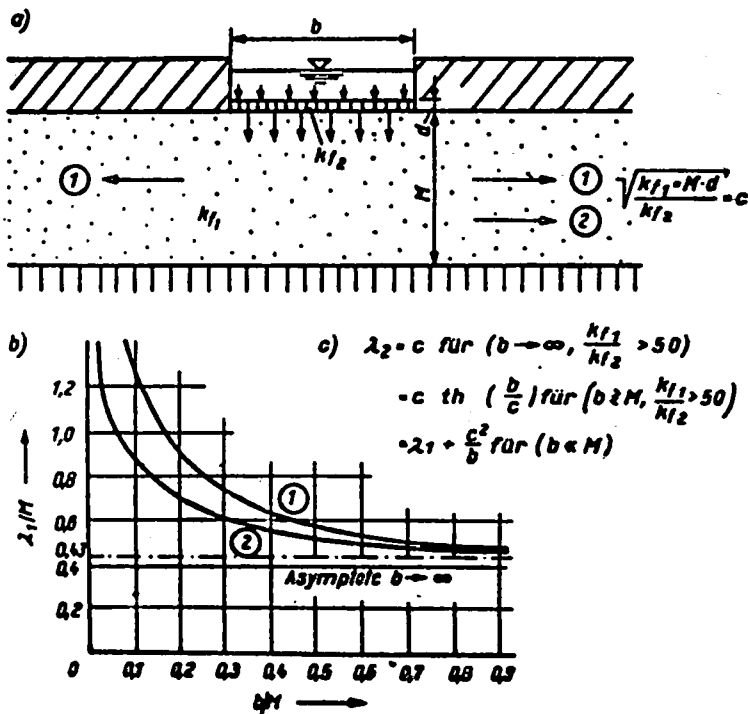


Bild 05.05./4: Zusatzlängen λ_1 und λ_2 für unvollkommene äußere Berandungen im Fall $h = \text{const}$. (KITTNER u. a., 1977)

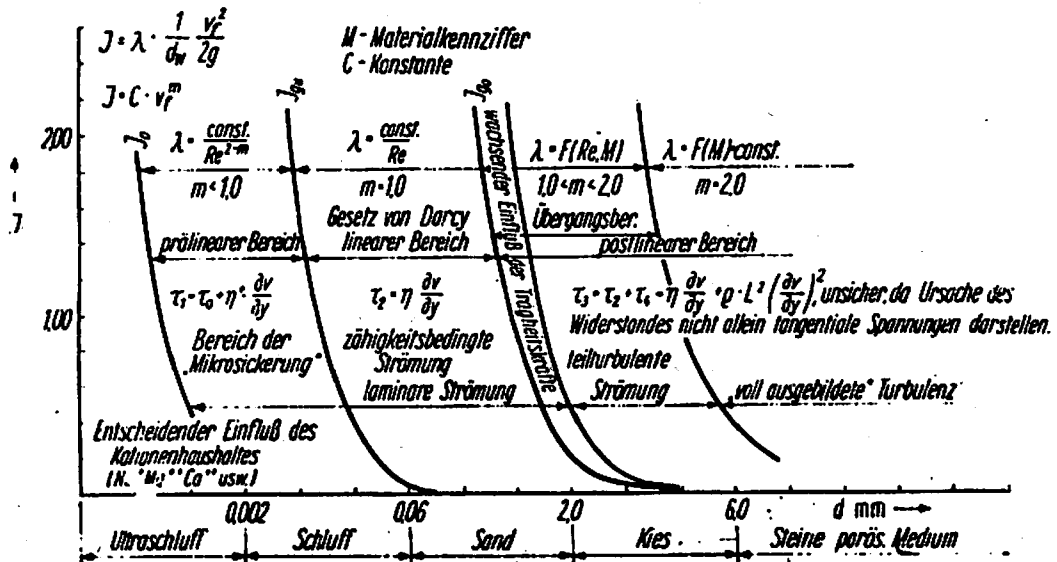


Bild 05.05./5: Schematische Darstellung der Strömungsbereiche des Widerstandsgesetzes (KITTNER u. a., 1977)

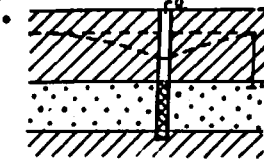
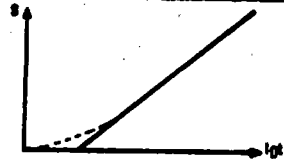
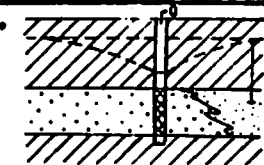
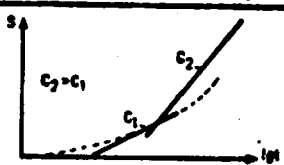
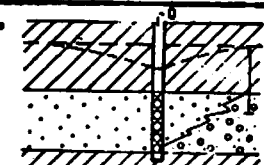
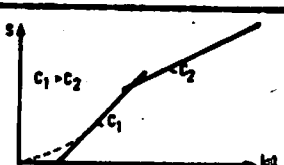
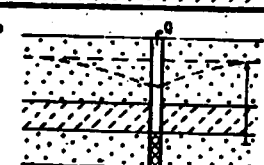
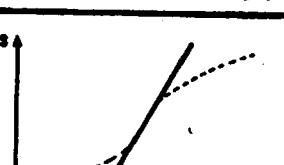
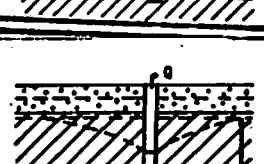
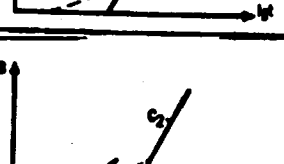
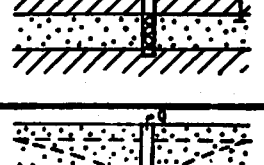
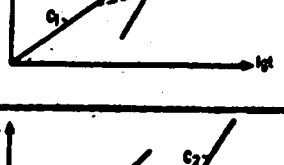
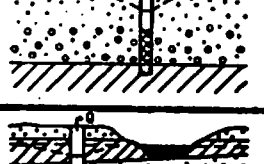
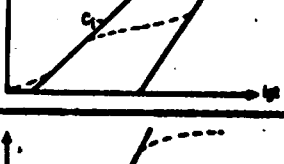
Tabelle 05.05./1: Reichweitenformeln (KITTNER u. a., 1977)

Name	Formel	Erläuterungen und Hinweise
Sichardt	$R = 3000 s \sqrt{k_f}$	s [m], k_f [m/s]
Kussnkin	$R = 588 s \sqrt{k_f \cdot H}$	s [m], k_f [m/s]
Schulze und Weber	$R = c \sqrt{\frac{k_f \cdot H \cdot t}{n_e}}$	$c = f(t)$ 2,5...3,5 im Mittel 3,0, t Pumpzeit [s], spannungsfreier Porenraum
Maeckelburg	$R = 3,05 \sqrt{\frac{k_f \cdot H \cdot t}{n_0}} \lg \frac{Q}{Q_1}$	Q Entnahme Q_1 Randzufluß

05.06.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

Tabelle 05.06./1: Diagnostizierung von Pumpversuchen (DABROWSKI/PRZYBYLEK, 1980)

lfd. Nr. Hydrogeologisches Schema	Diagramm $s = f(\lg t)$	Hydrogeologische Interpretationen
<p>1.</p> 		<p>Diagramm $s = f(\lg t)$ wird nach Ablauf einer gewissen Zeit geradlinig und während der ganzen Förderzeit bleibt gleiche Neigung gegenüber der Achse $\lg t$ wasserführende Schicht mit dichten Wasserstauern im Hangenden und Liegenden sowie entfernten Beschickungsgrenzen (ω ausgedehnt).</p>
<p>2.</p> 		<p>Diagramm $s = f(\lg t)$ weist zwei geradlinige Abschnitte auf, von denen der zweite eine etwas größere Neigung hat: Verschlechterung der Leitfähigkeit des durch Förderung beeinflussteten Gebietes in Verhältnis zum Erfassungsbereich.</p>
<p>3.</p> 		<p>Diagramm $s = f(\lg t)$ besteht aus zwei geradlinigen Abschnitten, von denen der zweite eine geringere Neigung als der erste aufweist: Widerspiegelung des Anstieges der Leitfähigkeit in weiteren Gebiet, das durch die Zone des Förderereinflusses gegenüber dem PV-Standort erfasst ist.</p>
<p>4.</p> 		<p>Diagramm $s = f(\lg t)$ hat die Form wie auf der Abbildung angegeben. Förderung wird in Schicht mit gespanntem Wasserspiegel durchgeführt und Wasser sickert aus darüberliegender Speisungsschicht durch, wobei in der Speisungsschicht keine Senkung des Niveaus eintritt ($H = \text{const.}$). Vor Beginn der Berechnungen ist zu prüfen, ob keine Beschickungswurrisse in der Nähe vorhanden sind.</p>
<p>5.</p> 		<p>Das Diagramm spiegelt ein kompliziertes wasserführendes System der wasserführenden und untersuchten Schicht sowie der schwach durchlässigen Schicht mit beträchtlichem Wasservolumen wider. In der ersten Etappe verlangsamt sich die Senkung des Wasseranteils aus der der schwach durchlässigen Schicht, und dies kann zu einer Pseudostabilisierung führen (Neigung C_1). In der Endphase der Förderarbeiten verhält sich das System wie eine Einheit, und die Entfaltung des Trichters erfolgt wie in der freien und unbegrenzten Schicht.</p>
<p>6.</p> 		<p>Das Diagramm spiegelt das typische Verhalten der freien und unbegrenzten sowie heterogenen Schicht wider. Die Interpretation der Parameter ist nach dem Berechnungsschema von BOULTON vorzunehmen. Orientierungswerte sind aus der logarithmischen Annäherung zu erhalten.</p>
<p>7.</p> 		<p>Dieses Diagramm ist dem in Schema 6 dargestellten ähnlich. Die Filterparameter kann man nach den Formeln für die nichtstationäre oder stationäre Filterströmung berechnen.</p>

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

05.06.

Fortsetzung Tabelle 05.06./1

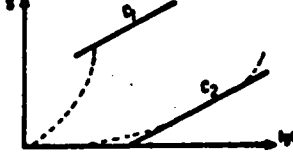
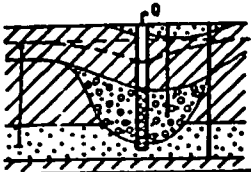
lfd. Nr.	Hydrogeologisches Schema	Diagramm $s = f(\lg t)$	Hydrogeologische Interpretationen
8.			Wenn der Versuchsbrunnen in der Nähe des Flusses angeordnet ist, so verflacht das Diagramm nach einer gewissen Förderzeit und verläuft parallel zur Achse $\lg t$. Allgemein kommt diese Erscheinung eher vor, wenn eine hydraulische Stützung des Niveaus unter Druck stattfindet. Die Berechnung der Parameter ist nach den allgemeinen Filterformeln für die nichtstationäre Filterung unter Berücksichtigung des Einflusses der Grenze bzw. nach den Formeln für stationäre Filterung vorzunehmen.
9.			Das Diagramm $s = f(\lg t)$ hat die dargestellte Form dann, wenn die Förderung in einer Schicht mit gespanntem Wasserspiegel vorgenommen wird, in die das Wasser aus der darüberliegenden Schicht (Beschickungsschicht) durchsickert und infolge dieser Erscheinung die Senkung des Niveaus dieser Schicht ($H = f(t)$) eintritt. Interpretation nach der Methode von Boulton; Orientierungswerte nach Theiss/Jacob
10.			Die erste Steigung spiegelt die Entwicklung des Trichters in der regionalen wasserführenden Filterzone wider. Die Steigung G_1 kennzeichnet die hydraulische Stützung in der Zone des ausgedehnten hydrogeologischen Fensters.
11.			Wenn das Diagramm $s = f(\lg t)$ zwei Abschnitte (geradlinige Abschnitte) hat und der zweite Abschnitt eine etwas steilere Steigung als der erste Abschnitt aufweist, so ist dies ein Signal für das Auftreten der seitlichen unzureichenden Grenze in der nächsten Koordination. Es ist hierbei darauf zu achten, daß, sofern der Verlauf der Schichten nicht geradlinig ist, sich das Verhältnis der Steigungen von G_2 zu G_1 beträchtlich unterscheiden kann, so daß dann eingehend zu untersuchen ist, ob man es mit dem Schema 2 oder 11 zu tun hat.
12.			Das Diagramm spiegelt die Senkung des Wasserspiegels in der schmalen hydrogeologischen Streifenstruktur wider. Die Steigung G_1 spiegelt die Entwicklung des Trichters innerhalb der wasserführenden Schicht bis zu den Grenzen wider. Folgende Steigung G_2 bis G_3 - Einfluß der seitlichen Grenzen. Die letzte Steigung enthält die Mithlung des Einflusses der unzureichenden und die Struktur spezieller Grenzen.
13.			Wenn das Diagramm $s = f(\lg t)$ die der Parabel angenäherte Form aufweist, so ist dies ein Signal dafür, daß die untersuchte Schicht durch Konturen unzureichenden Gesteins bzw. ganz schwach durchlässigen Gesteins umgeben ist. Danach erfolgt das Erschöpfen der statischen Vorräte in der untersuchten Schicht. Man kann keine Berechnungen anstellen. Das Volumen des Brunnens ist zu verringern, und man kann auf experimentellem Wege Bedingungen des stabilen Durchflusses erreichen.

05.06.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

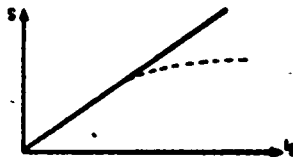
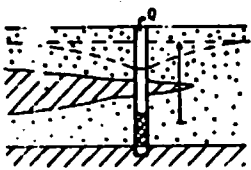
Fortsetzung Tabelle 05.06./1

14.



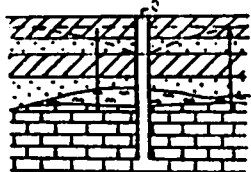
Wenn das Diagramm $s = f(\lg t)$ anfänglich die der Parabel angenäherte Form aufweist und nach gewisser Zeit im Verlaufe der Förderarbeiten die Form einer Geraden mit bestimmter Steigung annimmt, so ist dies für Ablagerungen mit erhöhter Durchlässigkeit in schmalen Erosionseinschnitten im Umkreis bedeutend weniger durchlässiger älterer Ablagerungen kennzeichnend.

15.



Die untersuchte Druckschicht wird in der weiteren Umgebung frei. In Anbetracht der Veränderlichkeit der Filtration erfolgt ein unvollständiger Zufluss des Wassers, der zur Stabilisierung führt, ähnlich wie bei der Grenze $H = \text{const.}$

16.

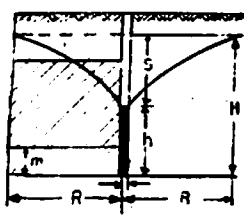
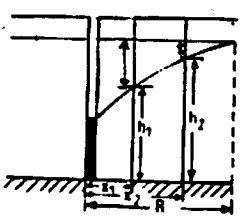
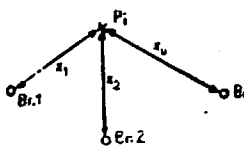
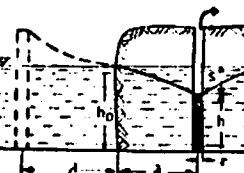


Das Diagramm spiegelt die doppelte Porosität kluftigen Festgesteins wider: des Systems von feinen Erklüftungen in der anfänglichen Phase und des Systems von Fugen oder großen Fugen in der zweiten Phase. Die Diagramme ähneln den Diagrammen nach Boulton.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

05.06.

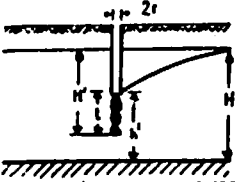
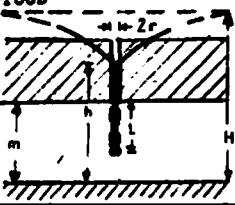
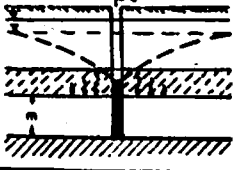
Tabelle 05.06./2: Pumpversuchsauswertung für den stationären Strömungszustand (BAMBERG, 1977)

Autor	Absenkungsgleichung	Bemerkungen
<p>DUPUIT (1863)</p> 	<p>ungespanntes Grundwasser (1)</p> $s = \frac{Q}{2\pi k h_m} \ln(R/r)$ <p style="text-align: center;">mit $h_m = \frac{H+h}{2}$</p> <p>gespanntes Grundwasser (2)</p> $s = \frac{Q}{2\pi k m} \ln(R/r)$	<p>DUPUIT-Annahmen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Strömungssystem im Gleichgewicht (Beharrung) 2. horizontale Geschwindigkeit an vertikal übereinanderliegenden Punkten gleich 3. vertikaler Anteil der Geschwindigkeit vernachlässigbar 4. GÜLTIGKEIT DARCY-Gesetz
<p>THIEM (1903)</p> 	<p>ungespanntes Grundwasser (3)</p> $s_1 - s_2 = \frac{Q}{2\pi k h_m'} \ln(x_2/x_1)$ <p style="text-align: center;">mit $h_m' = \frac{h_1 + h_2}{2}$</p> <p>gespanntes Grundwasser (4)</p> $s_1 - s_2 = \frac{Q}{2\pi k m} \ln(x_2/x_1)$	<ol style="list-style-type: none"> 5. Grundwasser und Grundwasserleiter inkompressibel 6. Grundwasserleiter ist homogen und isotrop 7. konstante Speisung im Abstand R_1; horizontale undurchlässige Sohle
<p>Autor</p> <p>PORCHHEIMER (1930)</p> 	<p>(5)</p> $H^2 - h_1^2 = \frac{\sum Q_n}{\pi k} \left(\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 x_2 \dots x_n \right)$ <p>h_1 - Standrohrspiegelhöhe im betrachteten Punkt P_1</p> <p>Q_n - Förderstrom der n Brunnen</p> <p>x_n - Abstand des Punktes P_1 von den n Brunnen</p>	<p>Mehrbrunnengleichung in verschiedenen Darstellungsformen bekannt (s. B. PAAVEL, 1947)</p>
<p>PORCHHEIMER</p> 	<p>ungespanntes Grundwasser (6)</p> $s = \frac{Q}{\pi k h_m} (\ln 2\lambda - \ln r)$ <p>gespanntes Grundwasser (7)</p> $s = \frac{Q}{\pi k m} (\ln 2\lambda - \ln r)$	<p>Absenkung neben Gewässern (Superposition durch Annahme eines fiktiven Schluckbrunnens)</p>

05.06.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

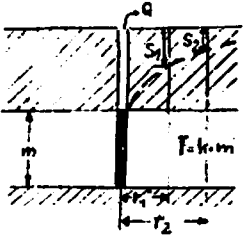
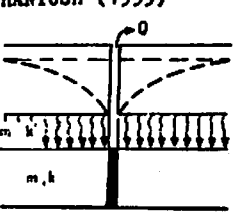
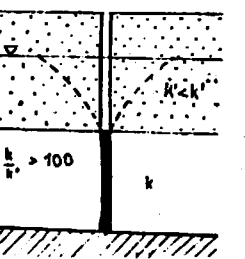
Fortsetzung Tabelle 05.06./2

Autor	Absenkungsgleichung	Bemerkungen
<p>RAEUSCHKIN/GIRINSKI</p> 	<p>(8)</p> $s = \frac{Q}{2\pi k l} \ln(0,66 l/r)$	<p>Auswertung unvollkommener Brunnen (erste Abhängigkeiten wurden von PORCHHEIMER formuliert)</p>
<p>FOOD</p> 	<p>(9)</p> $s = \frac{Q}{2\pi k} \left(\frac{1}{l} \ln \frac{\pi l}{2r} + \frac{Q_0 l}{m} - \frac{1}{m} \ln \frac{R}{2e} \right)$	
<p>DE GLEE (1930)</p> 	<p>(10)</p> $s = \frac{Q}{2\pi k m} K_0(r/B)$	<p>Wasserdurchsickerung durch schwach durchlässige Deckschicht K₀(r/B) - modifizierte Besselfunktion Analoge Ableitungen durch HANTUSH und JACOB (1955)</p>

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

05.06.

Tabelle 05.06./3: Pumpversuchsauswertung für den instationären Strömungszustand (BAMBERG, 1977)

Autor	Absenkungsgleichung	Bemerkungen
<p>THEIS (1935)</p> 	<p>(11)</p> $s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u)$ <p>mit $u = \frac{r^2 S}{4 T t}$</p> <p>$W(u)$ - Brunnenfunktion (tabelliert) T - Transmissibilität S - Speicherkoeffizient</p>	<p>Gleichung abgeleitet für vollkommenen Brunnen in gespanntem Grundwasserleiter mit unbegrenzter Ausdehnung; Übertragung auf ungespanntes Grundwasser durch Reduzierung der Absenkung nach JACOB (1940)</p> $s_r = s - \frac{s^2}{2 H}$ für $S \leq \frac{r}{H} < 25 S$
<p>COOPER und JACOB (1948)</p>	<p>(12)</p> $s = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2,25 t T}{S r^2}$ <p>Umformung für zeitliche Auswertung (12a)</p> $s_r = 0,183 \frac{Q}{T} \left(\lg \frac{2,25 t T}{S r^2} + \lg t \right)$ <p>räumliche Auswertung (12b)</p> $s_r = 0,183 \frac{Q}{T} \left(\lg \frac{2,25 t T}{S} - \lg r^2 \right)$	<p>Vereinfachte Form der THEIS-Gleichung; gültig für $u = \frac{r^2 S}{4 T t} < 0,1$</p> <p>(ausreichend große Pumpdauer und geringe Größe r)</p>
Autor	Absenkungsgleichung	Bemerkungen
<p>HANTUSH (1955)</p> 	<p>(13)</p> $s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u, r/B)$ <p>mit $u = \frac{r^2 S}{4 T t}$ $B = \sqrt{\frac{T m'}{k'}}$</p> <p>$W(u, r/B)$ - "HANTUSH-Funktion" (tabelliert) B - Speisungsfaktor</p>	<p>Speisung durch schwach durchlässige Schicht unter der Annahme, daß Grundwasserstand in den Schichten, aus denen Speisung erfolgt, durch Absenkungsvorgang unbeeinflusst bleibt</p>
<p>BOULTON (1963)</p> 	<p>(14)</p> $s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u_A; u_y; r/B)$ <p>mit $u_A = \frac{r^2 S}{4 T t}$ $u_y = \frac{r^2 S_2}{4 T t}$ $B = \sqrt{\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{T}{S_2}}$</p> <p>B - Speisungsfaktor α - Verzögerungskoeffizient (empirisch) S_2 - Speicherkoeffizient für verzögerte Entwässerung</p>	<p>Bedingung der "unbestimmten Filtration" (ungleichmäßige bzw. verzögerte Entwässerung); Reaktion des abgepumpten Grundwasserleiters in drei Phasen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entspannung des gespannten Grundwasserleiters (elastisches Regime); - Durchsickern des Wassers aus hangender Schicht mit zeitweiligem Gleichgewichtszustand (Beharrung durch Speisung); - Reaktion des gesamten wasserführenden Komplexes (Gravitationsfiltration)

05.06.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

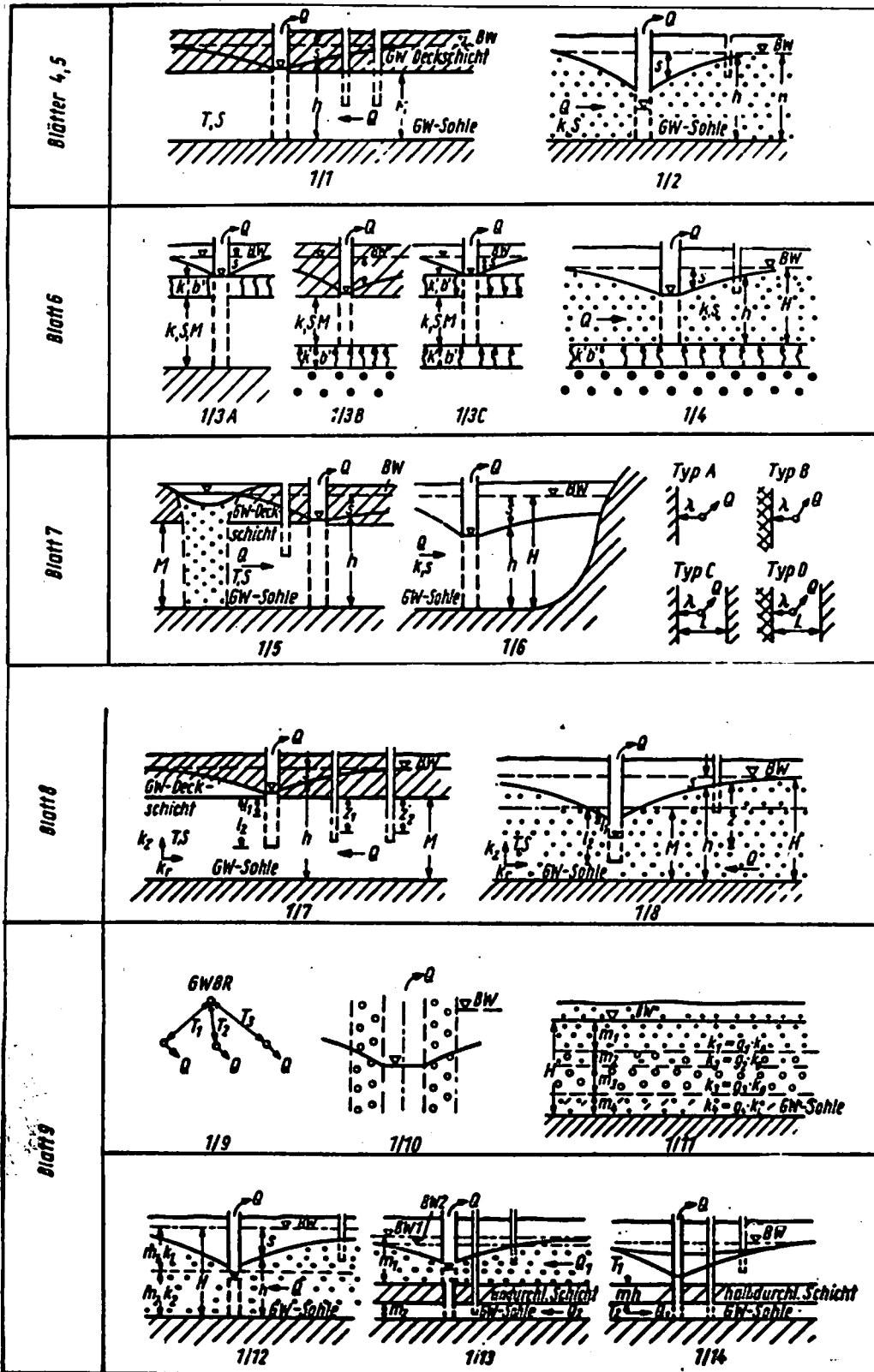


Bild 05.06./1: Pumpversuchsschemata TGL 23 864
(BAMBERG/ESCHNER, 1979)

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

05.06.

Tabelle 05.06./4: Gliederung der Auswertungsverfahren
(TGL 23 864/03)

Grundwasserleiter			Grundwasserströmung				Zusatz-Speisung		Randbedingung		Brunnen Ausbau			Förderleistung			Auswertungsverfahren		Auswertemethode		Bezugsnahme	
ungetropft	getropft	gestrichelt	gleichmäßig	ungleichmäßig	schichtweise	stufenweise	ohne	mit	ohne	erweitert	zusätzlich	vollkommen	teilweise	großes	klein	variabel	graphisch	typisch	Blatt	Abdruck	Blatt	Abdruck
0			0	0			0		0			0			0		0		4	11		
0			0	0			0		0			0			0		0		121			
0			0	0		0		0				0			0		0		122			
0				0	0		0		0			0			0		0		21	4	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		22	4	12	
0				0	0		0		0			0			0		0		23	4	21	
0				0	0		0		0			0			0		0		5	11		
0			0	0			0		0			0			0		0		121			
0			0	0			0		0			0			0		0		122	4	11	
0			0	0			0		0			0			0		0		13	4	11	
0			0	0			0		0			0			0		0		14	4	22	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	5	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	5	121	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	5	122	
0				0	0		0		0			0			0		0		21	7	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		22	5	14	
0			0	0			0		0			0			0		0		6	11	4	11
0			0	0			0		0			0			0		0		1121			
0			0	0			0		0			0			0		0		1122	4	12	
0			0	0			0		0			0			0		0		2	4	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	6	111	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	6	112	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	6	1121	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	6	1122	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	6	12	
0			0	0			0		0			0			0		0		7	11	4	11
0				0	0		0		0			0			0		0		112	5	13	
0				0	0		0		0			0			0		0		121	4	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		122	5	13	
0				0	0		0		0			0			0		0		131	4	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		132	5	13	
0			0	0			0		0			0			0		0		141	7	121	
0				0	0		0		0			0			0		0		142	7	122	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	111	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	112	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	1121	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	1122	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	113	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	121	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	122	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	123	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	131	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	132	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	141	
0				0	0		0		0			0			0		0		2	7	142	
0			0	0			0		0			0			0		0		8	111	8	111
0				0	0		0		0			0			0		0		112			
0				0	0		0		0			0			0		0		121	8	121	
0				0	0		0		0			0			0		0		122			
0				0	0		0		0			0			0		0		211	7	11	
0				0	0		0		0			0			0		0		212			
0				0	0		0		0			0			0		0		221	8	121	
0				0	0		0		0			0			0		0		222	8	122	
0			0	0			0		0			0			0		0		9	111		
0				0	0		0		0			0			0		0		112			
0				0	0		0		0			0			0		0		113			
0				0	0		0		0			0			0		0		2	9	1	
0				0	0		0		0			0			0		0		211	5	2	
0				0	0		0		0			0			0		0		222			
0			0	0			0		0			0			0		0		3	2	3	

05.06.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

Tabelle 05.06./5: Einschätzung der Pumpdauer (TGL 23 864/02)

Art des Grundwasserleiters	Dauer einer Pumpstufe in h im ungespannten Grundwasser (ohne Wiederanstieg)		
	Abstand der Meßstelle vom Versuchsbrunnen		
	2 bis 10 m	10 bis 20 m	20 bis 50 m
Grobsand bis Feinkies	5 bis 10	10 bis 20	20 bis 30
Mittelsand	8 bis 15	15 bis 40	40 bis 80
Feinsand und schluffige Sande	15 bis 50	50 bis 150	150 bis 400
poröses Festgestein	20 bis 40	-	-

05.06.

05.00. Grundwasserhydraulik
05.06. Pumpversuchsauswertung

Tabelle 05.06./6: Ausgewählte Standards

Lfd. Nr.	Standard Nr.	Titel	Ausgabe
1	23 864/02	Hydrogeologie; Pumpversuche; Vorbereitung und Durchführung	2/77
2	/03	-; -; geohydraulische Auswertung - Auswahl des Berechnungsschemas	1/77
3	/04	-; -; -; konstante Förderleistung	9/72
4	/05	-; -; -; variable Förderleistung	9/72
5	/06	-; -; -; zusätzliche Speisung	9/72
6	/07	-; -; -; äußere Randbedingungen	4/73
7	/08	-; -; -; unvollkommener Brunnen	4/73
8	/09	-; -; -; Sonderfälle	1/74
9	/10	-; -; Demonstrativpumpversuch quantitativ	2/78