

WASSERVERSORGUNGSPLAN STEIERMARK

Ein Leitfaden für die öffentliche Wasserversorgung

Berichtsband der wasserwirtschaftlichen Planung

Nr. 83/2002

Präambel

Die nachstehende Arbeit wurde auf Basis der vorliegenden Originaltexte in:

BENISCHKE, R., A. DALLA-VIA, H. DOBESCH, E. FABIANI, J. FANK, K. FUCHS, T. HARUM, H.P. LEDITZKY, S. REINSDORFF, P. SACCON, Ch. SCHMID, J. SCHÖN, B. YEHDEGHO & H. ZOJER (2001): Wasserversorgungsplan Steiermark.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, im Druck; Graz,

als Kurzfassung erstellt.

Die Originaltexte wurden verfasst von:

1	Hydrogeologische Grundzüge der Steiermark	R. BENISCHKE, H.P. LEDITZKY, H. ZOJER
2	Niederschlag und Verdunstung	H. DOBESCH, E. FABIANI, J. FANK, K. FUCHS, P. SACCON
3	Ober- und unterirdischer Abfluss	T. HARUM, S. REINSDORFF, P. SACCON, B. YEHDEGHO
4	Erfassung und Bewertung der Wasservorkommen	R. BENISCHKE, A. DALLA-VIA, H. FANK, T. HARUM, H. ZOJER

Da in diesen Originaltexten die verwendete Literatur umfassend zitiert ist, werden in dieser Arbeit nur mehr gelegentlich Autoren angeführt.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Hydrogeologische Grundzüge der Steiermark	7
1.1	Nördliche Kalkalpen	7
1.2	Altkristalline und paläozoische Gebirge	7
1.2.1	Einzugsgebiet der Enns	7
1.2.2	Einzugsgebiet der Mur	8
1.2.3	Einzugsgebiet der Raab	9
1.3	Tertiäre Ablagerungen	9
1.3.1	Weststeirisches Neogenbecken	9
1.3.2	Oststeirisches Neogenbecken	9
1.3.3	Inneralpine Neogenbecken	10
1.4	Holozäne und jungpleistozäne Ablagerungen Mur, Mürz, Enns	10
1.4.1	Oberes Murtal	10
1.4.2	Aichfeld (Judenburg – Preg)	10
1.4.3	Grundwasserfeld St. Stefan ob Leoben – Kraubath	11
1.4.4	Murtal südlich Peggau, Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteres Murtal	11
1.4.5	Ennstal	11
1.4.6	Mürztal	11
1.4.7	Ältere Terrassen	12
1.4.7.1	Helfbrunner- und Kaiserwaldterrasse im Murtal unterhalb von Graz	12
1.4.7.2	Ältere Terrassenreste im Enns-, Mur- und Mürztal	12
1.4.8	Täler mit Einzugsgebieten in überwiegend tertiären Ablagerungen	12
1.4.8.1	Täler in Tertiärbecken	12
1.4.8.1.1	Raabtal östlich Gleisdorf	12
1.4.8.1.2	Kainachtal/Gradenerbach	13
2	Niederschlag und Verdunstung	14
2.1	Niederschlagsverhältnisse	14
2.1.1	Typisierung der Niederschläge der Steiermark	14
2.2	Ermittlung der Verdunstung in Teilgebieten	22
2.2.1	Messung der potentiellen Verdunstung mittels Verdunstungswannen	24
2.2.2	Ermittlung der realen Verdunstung	24
2.2.2.1	Die Ermittlung der realen Verdunstung aus Lysimetermessungen	24
2.2.2.2	Ermittlung der realen Verdunstung aus der Bodenwasserhaushaltsmodellierung	26
2.2.2.3	Ermittlung der realen Gebietsverdunstung aus der Wasserbilanz	26
2.2.2.4	Abschätzung der realen Verdunstung für Jahressummen	27
2.3	Ermittlung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN für das Bundesland Steiermark	28
2.3.1	Datenmaterial	28
2.3.2	Berechnungsergebnisse mit dem PENMAN-Ansatz	32
2.3.3	Karte der potentiellen Evapotranspiration	32
3	Ober- und unterirdischer Abfluss	37
3.1	Typisierung der Abflussregime	37
3.1.1	Einfache Abflussregime	37
3.1.1.1	Gemäßigt nivales Regime (GEN)	37
3.1.2	Komplexe Abflussregime	37

3.1.2.1	Sommerpluviales Regime (SOP)	37
3.1.2.2	Winternivales Regime (WIN)	37
3.1.2.3	Nivo-pluviales Regime (NIP)	38
3.1.2.4	Pluvio-nivales Regime (PLN)	38
3.1.3	Zusammenstellung der Ergebnisse.....	38
3.2	Regionalisierung der Abflüsse.....	42
3.2.1	Die Beziehung Abflussspende/Seehöhe in der Steiermark	42
3.2.1.1	Karten der Abflusshöhen der Steiermark	44
3.2.1.1.1	Abflusshöhen der Steiermark bei Mittelwasser	44
3.2.1.1.2	Grundwasserneubildung	45
3.2.1.2	Regionalisierung der Speicherfähigkeit.....	45
3.2.2	Abschätzung der Wasserbilanz.....	56
4	Erfassung und Bewertung der Wasservorkommen.....	58
4.1	Karst- und Kluftwasservorkommen	58
4.1.1	Allgemeines.....	58
4.1.2	Karstwasservorkommen der Nördlichen Kalkalpen	58
4.1.2.1	Dachstein	58
4.1.2.2	Totes Gebirge und Warscheneckgebiet.....	59
4.1.2.3	Grimming.....	59
4.1.2.4	Bosruck, Haller Mauern und Buchsteingruppe.....	60
4.1.2.5	Ennstaler Alpen und Gesäuse	60
4.1.2.6	Voralpe und Göstlinger Alpen	60
4.1.2.7	Hochschwab.....	61
4.1.3	Karstwasservorkommen des Zentralalpinen Mesozoikums	61
4.1.3.1	Schladminger Tauern.....	61
4.1.3.2	Semmering.....	61
4.1.3.3	Wechselgebiet.....	61
4.1.3.4	Oberes Mürztal.....	62
4.1.4	Karstwasservorkommen in paläozoischen Karbonatgesteinen.....	62
4.1.4.1	Rottenmanner Tauern	62
4.1.4.2	Ennstaler und Eisenerzer Alpen.....	62
4.1.4.3	Mürztaler Alpen	63
4.1.4.4	Murauer und Gurktaler Paläozoikum	63
4.1.4.5	Grazer Paläozoikum.....	63
4.1.5	Karstwasservorkommen karbonatischer Einschaltungen im Kristallin	64
4.1.6	Karstwasservorkommen in tertiären Karbonatgesteinen	64
4.1.7	Kluftwasservorkommen.....	65
4.1.7.1	Niedere Tauern	65
4.1.7.2	Steirisches Randgebirge	65
4.1.7.3	Gurktaler Alpen – Seetaler Alpen.....	65
4.1.8	Bemerkungen zur Qualität	66
4.2	Seichtliegende Porengrundwasservorkommen	71
4.2.1	Murtal	71
4.2.1.1	Oberes Murtal	71
4.2.1.2	Aichfeld-Murboden	72
4.2.1.3	Mittleres Murtal.....	74
4.2.1.3.1	Knittelfeld bis Feistritz bei Knittelfeld.....	74
4.2.1.3.2	Kraubath – St. Michael.....	74
4.2.1.3.3	Leoben bis Bruck a.d. Mur	75
4.2.1.4	Murdurchbruchstal	76
4.2.1.4.1	Bruck an der Mur bis Frohnleiten-Nord	76

4.2.1.4.2	Frohnleiten bis Murhof	76
4.2.1.4.3	Peggau bis Eggenfeld	76
4.2.1.4.4	Gratkorner Becken	77
4.2.1.5	Grazer Feld	77
4.2.1.6	Leibnitzer Feld	81
4.2.1.7	Unteres Murtal	83
4.2.2	Mürztal	85
4.2.2.1	Oberes Mürztal (bis Mürzzuschlag)	85
4.2.2.2	Mittleres Mürztal (Mürzzuschlag – Wartberg)	85
4.2.2.3	Unteres Mürztal (Wartberg – Einmündung in die Mur)	85
4.2.3	Ennstal	87
4.2.3.1	Oberes Ennstal (Mandling – Stainach)	87
4.2.3.2	Mittleres Ennstal (Stainach – Gesäuseeingang)	87
4.2.3.3	Unteres Ennstal (Hieflau – Altenmarkt)	89
4.2.4	Weitere bedeutende Täler in der Obersteiermark	89
4.2.4.1	Pölstal	89
4.2.4.2	Liesingtal	90
4.2.4.3	Paltental	90
4.2.4.4	Täler des südlichen Hochschwabmassives	90
4.2.5	Haupttäler der Oststeiermark	92
4.2.5.1	Unteres Feistritztal (St. Johann b. Herberstein – Landesgrenze)	92
4.2.6	Haupttäler der Weststeiermark	95
4.2.6.1	Kainachtal	95
4.2.6.2	Laßnitz- und Stainzbachtal	95
4.2.6.3	Sulm- und Saggaubachtal	95
4.2.7	Die numerische Modellierung von Porengrundwassersystemen als Prognoseinstrument	96
4.2.7.1	Anwendungsbeispiele von numerischen Modellen in Porengrundwassergebieten der Steiermark	98
4.2.8	Qualitätssituation der Porengrundwässer	100
4.3	Tiefengrundwasser	111
4.3.1	Überblick	111
4.3.2	Versuchsbohrungen	112
4.3.3	Wasserwirtschaftliche Bedeutung von Tiefengrundwässern	116
4.4	Zusammenfassung und Bewertung der Wasservorkommen	117
	Literatur	124

VERZEICHNIS DER FIGUREN

Fig. 1:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren Jahresniederschlagssumme der Steiermark (1971 bis 1995).....	16
Fig. 2:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren Wintersumme (1. Oktober bis 31. März) des Niederschlags der Steiermark (1971 bis 1995).....	17
Fig. 3:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren Sommersumme (1. April bis 30. September) des Niederschlags der Steiermark (1971 bis 1995).	19
Fig. 4:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren aktuellen Evapotranspiration (1971 bis 1995) in der Steiermark für die Seehöhenbereiche unter 600 m.....	29
Fig. 5:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Mittlere Jahressumme der potentiellen Evapotranspiration (1971 bis 1995) in der Steiermark basierend auf den Auswertungen der Stationsdaten nach PENMAN und der Übertragung auf das Höhenmodell nach der statistisch ermittelten Regressionsbeziehung zwischen ET_p und Seehöhe (Fig. 6).	34
Fig. 6:	Beziehung zwischen der an den Messstationen in Tab. 4 berechneten Jahresmittelwerten der potentiellen Evapotranspiration ($ET = ET_p$) aus der Periode 1971 bis 1995 und der Seehöhe als Grundlage für die Regionalisierung der Verdunstungswerte der Steiermark.	36
Fig. 7:	Beispiel für ein gemäßigt nivales Abflussregime (GEN5), Enns bei Schladming. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.	38
Fig. 8:	Beispiel für ein sommerpluviales Regime (SOP), Kainach bei Lieboch. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.	39
Fig. 9:	Beispiel für ein winternivales Regime (WIN), Erzbach bei Hieflau. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.....	39
Fig. 10:	Beispiel für ein sommerstarkes nivo-pluviales Regime (NIP), Salza bei Gußwerk. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.	40
Fig. 11:	Beispiel für ein ausgeglichenes pluvio-nivales Regime (PLN), Raab bei Takern. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.	40
Fig. 12:	Beziehung mittlere Seehöhe H_m zu Jahresmittel der Abflussspende ($l/s km^2$) für M_q (oben) und $MoMNq$ (unten) bzw. Abflusshöhe (mm) für M_h und $MoMnh_A$ für die 6 Teilgebiete der Steiermark. Durchgezogene Linien begrenzt durch Δ : durch Messwerte abgesicherte Bereiche; strichlierte Linien: Extrapolation. $MoMNq$ bzw. $MoMnh_A$ entspricht nach W. WUNDT (1958) dem langjährigen Mittel der Grundwasserneubildung und somit bei ausgeglichener Wasserbilanz dem Grundwasserabfluss.....	43
Fig. 13:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Karte der Abflusshöhen der Steiermark Jahresmittel M_{h_A} für den Zeitraum 1971 bis 1995.....	47
Fig. 14:	Wasserversorgungsplan Steiermark: Karte der Abflusshöhen der Steiermark Jahresmittel 1971 bis 1995 für $MoMnh_A$ (= Mittelwert aller Monats-NQ, entspricht der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung nach W. WUNDT, 1958).	48
Fig. 15:	Typusrezessionskurven ausgewählter Einzugsgebiete der Steiermark.	50
Fig. 16:	Zusammenhang zwischen der Grundwasserneubildung der Auslaufzeit (K_c = charakteristische Ausfließzeit, $K_{50\%}$ = Ausfließzeit zum Zeitpunkt, an dem 50 % des Reservoirvolumens ausgeflossen sind).	50
Fig. 17:	Charakteristische Ausfließzeiten in Tagen ab $MoMNQ$	53
Fig. 18:	Frei ausfließbare Grundwasserreservoirvolumina in mm.	55
Fig. 19:	Landnutzung und Höhenbereiche der 8 Groseinheiten der Steiermark.	57

Fig. 20:	Mittlere Jahressummen der Niederschläge mit örtlicher Variationsbreite und mittlere Wasserbilanz 1971 bis 1995 (in mm/Jahr) der 8 Großeinheiten der Steiermark.....	57
Fig. 21:	Mittelwerte der Karbonathärte (°dH) und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.....	67
Fig. 22:	Mittelwerte der Nitratkonzentration (in mg/l) und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.....	67
Fig. 23:	Überschreitungshäufigkeit der Richtzahl für Nitrat und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.....	68
Fig. 24:	Mittelwerte der Sulfatkonzentration (in mg/l) und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.....	68
Fig. 25:	Überschreitungshäufigkeit der Richtzahl für Sulfat und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.....	69
Fig. 26:	Tagesmittel der Schüttung und elektrischen Leitfähigkeit der Karstquelle Wassermannsloch (Kalte Mauer – Hochschwab).....	70
Fig. 27:	Tagesmittel der Schüttung und elektrischen Leitfähigkeit der Dolomitkarstquelle Pfannbauernquelle (Zeller Staritzen).....	70
Fig. 28:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Oberen Murtal anhand der Bohrungen BL2211 in Niederwölz und 2220 in St. Georgen von 1989 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an beiden Messstellen im Vergleich.....	72
Fig. 29:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Aichfeld-Murboden anhand der Brunnen BBR2424 in Weisskirchen, BR2505 in Lind und BR2535 in Knittelfeld von 1968 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	73
Fig. 30:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Mittleres Murtal anhand der Brunnen BR2695 in St. Michael und BR2651 in Liesingtal von 1974 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	75
Fig. 31:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Grazer Feld (Stadtgebiet) anhand der Brunnen BR3479 in der Marburgerstraße und BR3450 am Griesplatz von 1967 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	79
Fig. 32:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Grazer Feld (südliches Grazer Feld) anhand der Brunnen BR3496 in Seiersberg, BR3552 in Zettling und BR3670 in Wildon von 1967 bis 1993 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	80
Fig. 33:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Leibnitzer Feld anhand der Brunnen BR3769 in St. Georgen a.d. Stiefing, BR3778 in Lebring und BL3810 in Untergralla von 1967 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	82
Fig. 34:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Unteres Murtal anhand der Brunnen BR38415 in Strass, BR3883 in Gosdorf und BR39133 in Altneudörfel von 1967 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	84
Fig. 35:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Unteres Mürztal anhand der Bohrungen BL3090 in Hafendorf und BL2996 in Scheibgrabern von 1974 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	86
Fig. 36:	Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Ennstal anhand der Bohrungen BL1100 in Haus und BL1200 in Niederöblarn von 1987 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.....	88

Fig. 37:	<i>Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Raabtal anhand der Brunnen BR5232 in Mühldorf und BR5280 in Fehring von 1980 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.</i>	93
Fig. 38:	<i>Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Feistritztal anhand der Brunnen BR5663 in Obgrün und BR5693 in Großwilfersdorf von 1980 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.</i>	94
Fig. 39:	<i>Wasserversorgungsplan Steiermark – Grundwasserqualität: Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von Nitrat (50 mg/l) an den WGEV-Messstellen im Porengrundwasser (1992 bis 2000).</i>	104
Fig. 40:	<i>Wasserversorgungsplan Steiermark – Grundwasserqualität: Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von Atrazin (0,1 µg/l) an den WGEV-Messstellen im Porengrundwasser (1992 bis 2000).</i>	106
Fig. 41:	<i>Entwicklung der Nitratkonzentration im Wasser der Wasserversorgungsanlagen Kalsdorf (Grazer Feld), Kaindorf a.d. Sulm (Leibnitzer Feld) und Mureck (Unteres Murtales) von 1987 bis 2000.</i>	108
Fig. 42:	<i>Entwicklung der Atrazinkonzentration im Grundwasser des Grazer Feldes (60608082_Feldkirchen), des Leibnitzer Feldes (61012202_Gralla) und des Unteren Murtales (61512022_Oberschwarza) von 1992 bis 2000.</i>	108
Fig. 43:	<i>Entwicklung der Desethylatrazinkonzentration im Grundwasser des Grazer Feldes (60608082_Feldkirchen), des Leibnitzer Feldes (61012202_Gralla) und des Unteren Murtales (61512022_Oberschwarza) von 1992 bis 2000.</i>	109
Fig. 44:	<i>Wasserversorgungsplan Steiermark – Tiefenwässer im Oststeirischen Becken.</i>	115
Fig. 45:	<i>Wasserversorgungsplan Steiermark – Porengrundwasser: Grundwasserressourcen der bedeutendsten Porengrundwasserfelder der Steiermark.</i>	120
Fig. 46:	<i>Wasserversorgungsplan Steiermark – Porengrundwasser: Untersuchungsgrad der bedeutendsten Porengrundwasserfelder der Steiermark.</i>	122

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. 1:	<i>GGI Verdunstung in mm/Monat in Zeltweg.</i>	25
Tab. 2:	<i>GGI Verdunstung in mm/Monat in Graz-Messendorfberg.</i>	25
Tab. 3:	<i>Werte der Konstanten nach M. RENGER & G. WESSOLEK (1990).</i>	27
Tab. 4:	<i>Der mittlere Jahresgang der potentiellen Verdunstung (mm) berechnet nach PENMAN für den Zeitraum 1971 bis 1995.</i>	33
Tab. 5:	<i>Typisierung steirischer Fließgewässer modifiziert nach M. PARDÉ (1947) und T. STEIDL (1991).</i>	41
Tab. 6:	<i>Anzahl der Messungen der Parameter Nitrat, Atrazin und Desethylatrazin und der jeweilige prozentuelle Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK: Nitrat 50 mg/l, Atrazin 0,1 µg/l und Desethylatrazin 0,1 µg/l) an WGEV-Messstellen von 1992 bis 2000, zusammengefasst nach Porengrundwassergebieten.</i>	101
Tab. 7:	<i>Anzahl der Messungen der Parameter Eisen und Mangan und der jeweilige prozentuelle Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK: Eisen 0,2 mg/l und Mangan 0,05 mg/l) an WGEV-Messstellen von 1992 bis 2000, zusammengefasst nach Porengrundwassergebieten.</i>	110

1 Hydrogeologische Grundzüge der Steiermark

In Bezug auf die wasserwirtschaftlichen Belange ist eine exakte Kenntnis über die hydrogeologischen Grundzüge des Landes von äußerster Wichtigkeit.

Aus diesem Grunde wird ein kurz gefasster Überblick über den geologischen Bau und die hydrogeologischen Grundzüge gegeben, wobei folgende Gliederung vorgenommen wird.

- Nördliche Kalkalpen
- Altkristalline und paläozoische Gesteine
- Tertiäre Ablagerungen
- Holozäne und jungpleistozäne Ablagerungen Mur, Mürz, Enns

1.1 Nördliche Kalkalpen

Der Gesteinsbestand der zu den Nördlichen Kalkalpen im engeren Sinne zählenden Einheiten umfasst eine Schichtfolge, welche mit Gesteinen des jüngsten Paläozoikums beginnt und bis in die oberste Kreide reicht. Unterschiedliche Entstehungsprozesse, die zum Teil im gleichen Zeitraum abliefen, in verschiedenen räumlich getrennten Ablagerungsgebieten, trugen zur heute sichtbaren Vielfalt der Gesteine dieses Bereiches bei. Diese unterschiedliche Entstehungsweise der Gesteine, ihre Zusammensetzung und ihr Verhalten gegenüber den gebirgsbildenden und -formenden Kräften drückt sich u.a. auch in der erreichten hydrogeologischen Wertigkeit aus (z.B. als Wasserstauer oder Wasserleiter).

In diesem Bereich sind großflächig unterirdisch entwässernde Karstareale und dementsprechende Karstaquifere ausgebildet, aus denen bedeutende versorgungswasserwirtschaftliche Einrichtungen (als bekanntestes Beispiel die II. Wiener Hochquellenleitung aus dem nördlichen Hochschwabgebiet) ihr Wasser beziehen.

1.2 Altkristalline und paläozoische Gebirge

Aufgrund der weiten Verbreitung der altkristallinen und paläozoischen Gebirge werden diese im Folgenden entsprechend ihren hydrographischen Einzugsgebieten untergliedert.

1.2.1 Einzugsgebiet der Enns

Der größte Teil des rechtsufrigen Einzugsgebietes der Enns liegt im Altkristallin der Niederen Tauern, die vorwiegend aus Glimmerschiefern und Gneisen aufgebaut werden. Die unterirdi-

sche Entwässerung zeigt sich hier ziemlich einförmig, obwohl ein reger Wechsel lithologischer Einheiten von Phylliten, Glimmerschiefern und Gneisen vorherrscht. Diese Festgesteine sind generell minder wasserdurchlässig, eine tiefreichende Wasserzirkulation ist selten und an geologische Störungen gebunden.

1.2.2 Einzugsgebiet der Mur

Der geologische Aufbau des Einzugsgebietes der Mur ist infolge der großen Ausdehnung des Flussgebietes sehr unterschiedlich. So ist generell eine Untergliederung in Areale mit vorwiegend Glimmerschiefern und Gneisen, mit überwiegend Quarzitschiefern und schließlich mit Karbonaten zu treffen. In den kristallinen Arealen, wie den Niederen Tauern, den Seckauer Tauern, den Seetaler Alpen, der Stub- und Gleinalpe wird der oberirdische Abfluss bevorzugt, ein nennenswerter Rückhalt ist dem unterirdischen Wasser lediglich in den überlagernden Lockersedimenten gegeben.

Die Vielfalt von kleinen Gerinnen täuscht einen Wasserreichtum vor, der jedoch bei längeren Trockenzeiten schnell erschöpft ist.

Eine Sonderstellung nehmen die glazialen Blockschuttmassen ein, aus denen Quellen mit einer längeren unterirdischen Speicherung austreten. Eine Ausnahme bildet in den Seckauer Tauern eine mächtige permotriadische Quarzitschieferserie, die das Liesingtal begleitet und örtlich beträchtliche Wassermengen beherbergt.

Im Raum Murau treten ausgedehnte Flächen pläozoischer Kalke auf. Im Bereich der Südadachung der Gleinalpe, wo ausgedehnte Bereiche karbonatischer Gesteine, die dem Grazer Paläozoikum zugehören, entwickelt sind, können ergiebiger Wasservorkommen festgestellt werden. Die Abfolge der Gesteine der Kainacher Gosau kann nur die Ausbildung von lokalen Grundwasserhorizonten erlauben.

Im Südabschnitt der oberen Mürz nehmen die kristallinen Schiefer der Fischbacher Alpen eine dominante Stellung ein. Gegen den Wechsel hin erhöht sich mit der Einschaltung permotriadischer quarzitreicher Serien die Wasserspeicherung im Untergrund. Auch die mehrfach eingeschalteten Karbonatserien bedingen naturräumliche Möglichkeiten einer nennenswerten Wasserspeicherung.

Im Bereich der Koralpe liegt ein akzentuiertes Bild der unterirdischen Entwässerung über Quellen vor. Größere Wasseraustritte sind generell an die eingeschalteten Marmorzüge und an mächtige Verwitterungsdecken in den flachen Hochlagen des Gebirgsmassivs gebunden,

während die Steilabbrüche zu den Gräben der Vorfluter vorwiegend durch Oberflächenabfluss gekennzeichnet sind.

1.2.3 Einzugsgebiet der Raab

Das obere Einzugsgebiet der Raab wird im Hinterland von Weiz durch das Grazer Paläozoikum geprägt. Karbonatische Serien wechseln hier mit Tonschiefern und erzeugen ein stark differenziertes hydrogeologisches Bild. Die größeren Quellen aus den paläozoischen Kalken sind entweder auf lithologische Schichtgrenzen oder an die unmittelbare Vorflut der Raab oder des Weizbaches gebunden.

Weiter im Osten, im Einzugsgebiet der Feistritz und der Lafnitz herrschen ausschließlich kristalline Gesteine mit noch erkennbaren Unterschieden in der unterirdischen Wasserführung vor.

1.3 Tertiäre Ablagerungen

1.3.1 Weststeirisches Neogenbecken

Das Weststeirische Neogenbecken wird durch die Sausalschwelle vom Oststeirischen Becken getrennt und erreicht eine maximale Tiefe von 800 m.

Aus hydrogeologischer Sicht sind zwei Gruppen von Sedimenttypen von Bedeutung:

- die grobklastischen, limnisch-fluviatilen älteren Ablagerungen mit Ausbildung artesischer Horizonte, wobei aufgrund der Sedimentbeschaffenheit mit großen Porenvolumina aber auch diese klastischen Abfolgen hydrogeologisch von Bedeutung sein können
- vorwiegend marine Ablagerungen mit einer Abfolge von Wasserstauern und Sandhorizonten vor allem in den oberen Florianer Schichten, welche zur Ausbildung gespanntes Wasser führender Horizonte führt, die durch zahlreiche artesische Brunnen in der Florianer Bucht belegt sind.

1.3.2 Oststeirisches Neogenbecken

Das Oststeirische Neogenbecken ist in mehrere Teilbecken mit Maximaltiefen von bis zu 3000 m untergliedert.

Im Allgemeinen herrschen an den Beckenrändern grobklastische Ablagerungen (Konglomerate, Brekzien und Grobschotter) vor, die auch die tieferen Anteile der tertiären Beckenfüllung ausmachen.

lung bilden. Die Sedimente besitzen meist feinkörnige Zwischenmittel und stellen damit schlechte Grundwasserleiter dar. Die im Bereich der Sausalschwelle eingeschalteten Leithakalkbildungen zeichnen sich hingegen durch Kluft- und Karstwasserführung aus.

Die sandig-kiesigen Ablagerungen im Sarmat und Pannon stellen bei größeren Porositäten bedeutende Aquifere dar. Durch den regen Wechsel mit schluffig-tonigen Ablagerungen und dem gleichzeitigen Einfallen der Schichten gegen das Beckeninnere ist eine große Zahl von gespanntes Wasser führenden Horizonten ausgebildet. Aufgrund der vom Sarmat in das Pannon zunehmend gröber werdenden Ablagerungen nimmt auch allgemein die hydrogeologische Bedeutung der Ablagerungen vom Sarmat ins Pannon zu.

1.3.3 Inneralpine Neogenbecken

Außerhalb des Steirischen Tertiärbeckens sind bedeutende Miozänvorkommen im Mürztal, im Becken von Aflenz, im Murtal zwischen Leoben und Bruck, im Fohnsdorf-Knittelfelder Becken und im Becken von Passail bekannt, die jedoch aus hydrogeologisch-wasserwirtschaftlicher Sicht durchwegs nur untergeordnete, lokal begrenzte Bedeutung aufweisen.

1.4 Holozäne und jungpleistozäne Ablagerungen Mur, Mürz, Enns

Die jungen grobklastischen Ablagerungen in den größeren Flusstälern (Mur, Mürz und Enns) zeichnen sich durch bedeutende Schottermächtigkeiten, geringe Anteile an Feinmaterial und damit große Sedimentdurchlässigkeiten aus. Sie sind damit neben den verkarsteten Karbonatgesteinen die wichtigsten Aquifere.

1.4.1 Oberes Murtal

Quartäre Ablagerungen größerer Mächtigkeit liegen im oberen Murtal nachgewiesen bei Frojach und in der Bohrung Niederwölz (190 m tief) vor. In diesen Bereichen sind auch die größten Wasservorkommen dieses Talabschnittes zu erwarten.

1.4.2 Aichfeld (Judenburg – Preg)

Die quartäre Beckenfüllung besteht aus holozänen Fluren, einer Würm-Hauptterrasse sowie lokalen Resten höherer Schotterterrassen mit und ohne Lehmüberdeckung an den Beckenrändern. Die größten Mächtigkeiten der Würmschotter sind bei Gabelhofen mit ca. 60 m gegeben, ähnliche Schottermächtigkeiten sind auch im untersten Pölstal zwischen Ritzersdorf und Gasselsdorf in einer Tiefenrinne an der Südseite des Beckens vorhanden.

1.4.3 Grundwasserfeld St. Stefan ob Leoben – Kraubath

Als Ergebnis von Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen beträgt die Mächtigkeit der quartären Talfüllung zwischen Kraubath und St. Stefan o.L. bis zu 40 m und besteht vorwiegend aus sandigen Kiesen, die lokal stärker verlehmt sein können. Die Grundwassermächtigkeit beträgt hier zwischen 20 und 25 m, flussabwärts steigt sie zwischen Leoben und St. Michael auf bis zu 35 m an.

1.4.4 Murtal südlich Peggau, Grazer Feld, Leibnitzer Feld und Unteres Murtal

Bedeutende Nutzungsmöglichkeiten des quartären Schotteraquifers im Murtal sind erst südlich Peggau gegeben. Das Grundwasserfeld von Friesach, das Grazer Feld und Leibnitzer Feld sowie die jüngeren Schotterfluren im unteren Murtal sind die bedeutendsten Porgrundwasseraquifere der Steiermark. Die Schottermächtigkeiten betragen im Grundwasserfeld Friesach maximal 27 m. Vom Wasserwerk Andritz über Weinzödl verläuft eine Tiefenrinne durch das Stadtgebiet von Graz, in der maximale Schottermächtigkeiten von über 50m nachgewiesen wurden. Die durchschnittlichen Schottermächtigkeiten im Grazer Feld liegen hingegen bei nur etwa 15–20 m (Grundwassermächtigkeit 2–10 m). Die Schottermächtigkeiten nehmen über das Leibnitzer Feld gegen das untere Murtal kontinuierlich auf durchschnittlich 7–10 m ab, wobei sich die Grundwassermächtigkeiten auf 3–6 m reduzieren.

1.4.5 Ennstal

Der Ennsgletscher erstreckte sich bis Admont sowie mit einem Seitenarm über das Paltental bis zum Schoberpaß. Eine am Talrand bei Wörschach situierte Bohrung erreichte den Untergrund erst bei 195 m, im oberen Ennstal zwischen Schladming und Stainach ist das Tal mehr als 120 m mächtig mit Kies aufgefüllt.

Durch Einschaltungen von Schlufftonschichten sind zwischen Stainach und Admont mehrere gespanntes Wasser führende Grundwasserstockwerke ausgebildet. Weiters sind im Bereich Selzthal zahlreiche artesische Hausbrunnen vorhanden, die allerdings an die Schleppenhänge am südlichen Talrand gebunden sind.

1.4.6 Mürztal

Im Mürztal liegen sandige Kiese in einer maximalen Mächtigkeit von knapp 19 m vor, wobei nur eine geringmächtige und durchlässige Grundwasserüberdeckung vorhanden ist. Mit Pumpversuchen wurden bedeutende Grundwasservorräte nachgewiesen.

1.4.7 Ältere Terrassen

1.4.7.1 Helfbrunner- und Kaiserwaldterrasse im Murtal unterhalb von Graz

Südlich Graz bis Radkersburg begleiten die Mur Riss- bzw. Riss/Mindl-Schotterterrassen mit einer mehrere Meter mächtigen Lehmüberdeckung, die einen guten Schutz des Grundwassers gewährleisten. Aufgrund eines höheren Verlehmungsgrades weisen die Schotter nur eine geringe Wasserführung auf.

Bei größerflächiger Ausdehnung können die Terrassenschotter für kleinere Wasserversorgungseinheiten oder Einzelwasserversorgungen regional von Bedeutung sein. Häufig sind die Wässer durch hohe Eisengehalte und Sauerstoffunterversorgung charakterisiert.

1.4.7.2 Ältere Terrassenreste im Enns-, Mur- und Mürztal

Beidseitig der größeren Flussläufe können stellenweise Reste älterer pleistozäner Terrassen vorhanden sein, denen keine überregionale wasserwirtschaftliche Bedeutung beizumessen ist.

1.4.8 Täler mit Einzugsgebieten in überwiegend tertiären Ablagerungen

1.4.8.1 Täler in Tertiärbecken

Im Allgemeinen ist die Mächtigkeit der quartären Talfüllung in den Flusstälern im Ost- und Weststeirischen Becken nur gering. Die Sedimente weisen zudem einen hohen Verlehmungsgrad und damit nur geringe Durchlässigkeiten auf. Die nur geringe Grundwasserüberdeckung, hohe Eisen-, Mangan- und Nitratgehalte schränken die Grundwassernutzung weiter ein.

1.4.8.1.1 Raabtal östlich Gleisdorf

Die Kiesmächtigkeit im Raabtal östlich Gleisdorf beträgt durchschnittlich 3–6 m, wobei allerdings lokal größere Schottermächtigkeiten eventuell auf das Vorhandensein von Tiefenrinnen hinweisen können.

Generell sind starke Sedimentinhomogenitäten gegeben, wobei die Schotter auch stärker verlehmt sind. Sie werden von einer durchschnittlich 3–5 m mächtigen Aulehmschicht überlagert. Im Allgemeinen ist das seichtliegende Grundwasser von minderer Qualität und weist hohe Eisengehalte auf. Die Grundwasserüberdeckung ist nur sehr gering.

1.4.8.1.2 Kainachtal/Gradenerbach

Im bis zu 2 km breiten Kainachtal zwischen St. Johann und Weitendorf besteht die quartäre Talfüllung aus durchschnittlich 3–6 m mächtigen sandigen Schottern mit zumeist größeren bindigen Anteilen, die von einer durchschnittlich 2 m mächtigen Aulehmschichte überlagert werden.

Eine Ausnahmestellung hat das Tal des Gradenerbaches, ein Seitental des oberen Kainachtales, in welchem eine bis zu 10 m mächtige Schotterfüllung vorhanden ist, die durch Karstwasserzutritte alimentiert wird und aus der bedeutende Wassermengen entnommen werden.

2 Niederschlag und Verdunstung

2.1 Niederschlagsverhältnisse

2.1.1 Typisierung der Niederschläge der Steiermark

Der Steiermark steht dank ihrer günstigen geographischen Lage in der Regel ganzjährig eine ausreichende Menge Niederschlag zur Verfügung. Es können jedoch auf relativ engem Raum große Unterschiede auftreten. Die Niederschlagsverteilung ist aus Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 3 ersichtlich.

Bedingt durch den gebirgigen Charakter des Landes und vorherrschende Wetterlagen differiert die mittlere Jahressumme des Niederschlages mit über 2400 mm im Nordwesten und weniger als 700 mm im Südosten des Landes um mehr als 300 % (Fig. 1).

Unterschiedlich ist auch die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge. Fallen z.B. im Norden 50 bis über 60 % der Jahresniederschläge in den Wintermonaten, bleibt der Süden meist arm an Winterniederschlägen. Sind es im Norden überwiegend Stauniederschläge, die ganzjährig zu reichlich Niederschlag führen, ist der Süden während der Sommermonate besonders häufig von Gewittern betroffen und bringen Adriatiefs oft auch ergiebige Herbstregen (vgl. Fig. 2 und Fig. 3).

Desgleichen bewegt sich das Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen 8 °C bis über 9 °C im „Steirischen Becken“ und bis zu unter 0 °C in Gebirgsregionen, wobei lokale Unterschiede häufig an die herbstlich - winterliche Temperaturumkehr in Beckenlagen gebunden sind.

Aus dem Zusammenspiel zwischen der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Niederschläge und der temperaturabhängigen Speicherung in Form von Schnee in den Gebirgsregionen ergibt sich in Verbindung mit dem daraus resultierenden Abflussverhalten ein Bild unterschiedlicher „Hydrologischer Landschaften“.

Niederschlagsreichstes Gebiet der Steiermark sind mit Jahressummen von 1500 bis über 2400 mm die sich vom Ausseer-Land bis in das Mariazeller-Land erstreckenden „**Nord-Alpen**“. Als Staugebiet für alle nordwestlichen Strömungen kommt es hier während aller Jahreszeiten, besonders aber auch während des Winters zu ergiebigen Niederschlägen. Typisch ist wechselhaftes Wetter mit markanten, ungebremst einfallenden Wetterstürzen, doch sind auch mehrere Tage anhaltende Schlechtwetterperioden häufig. Deshalb liegen auch die Temperaturen 1–2 °C unter dem für die Ostalpen typischen Mittel.

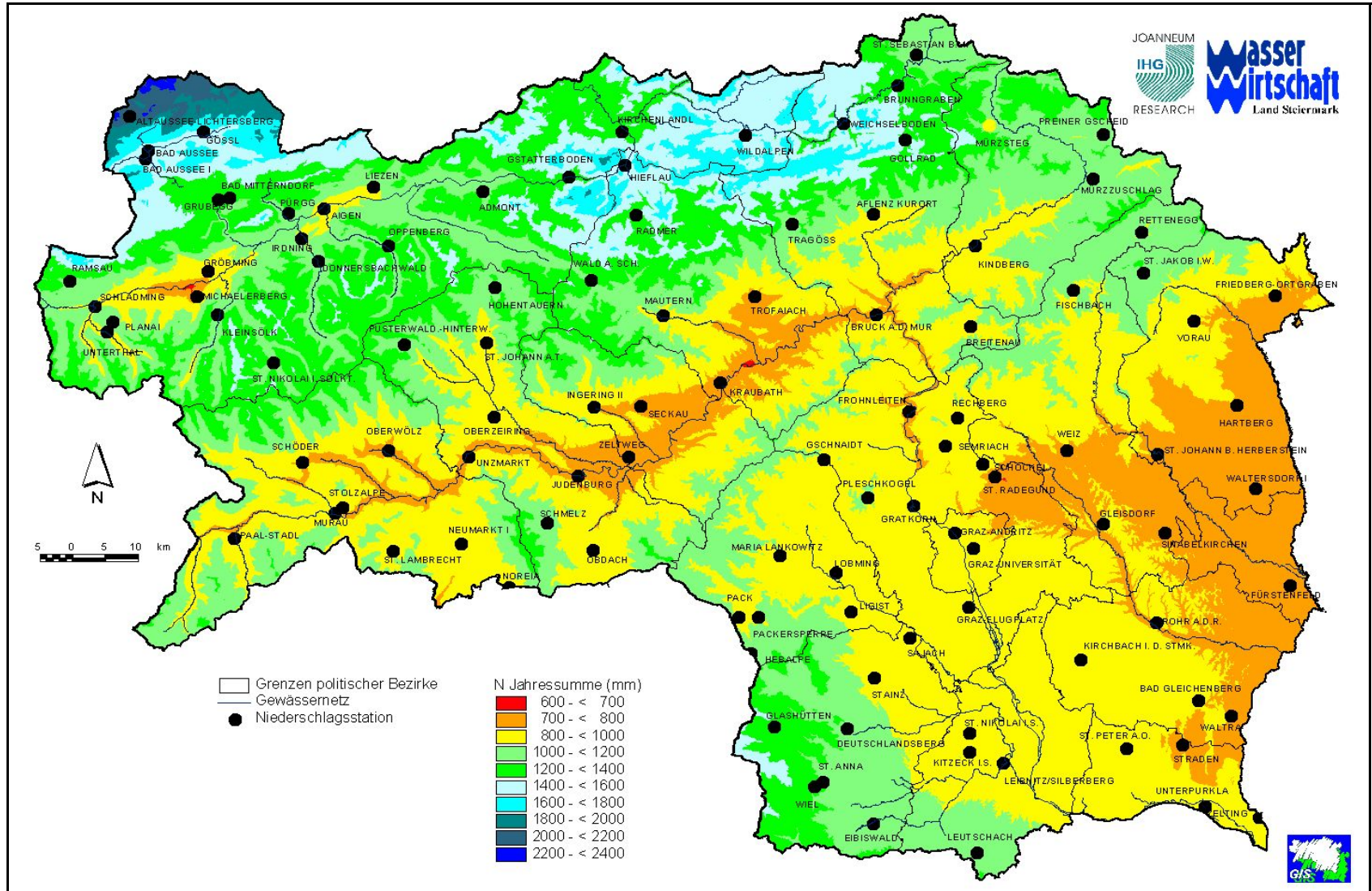


Fig. 1: Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren Jahresniederschlagssumme der Steiermark (1971 bis 1995).

16. Seite links vakat

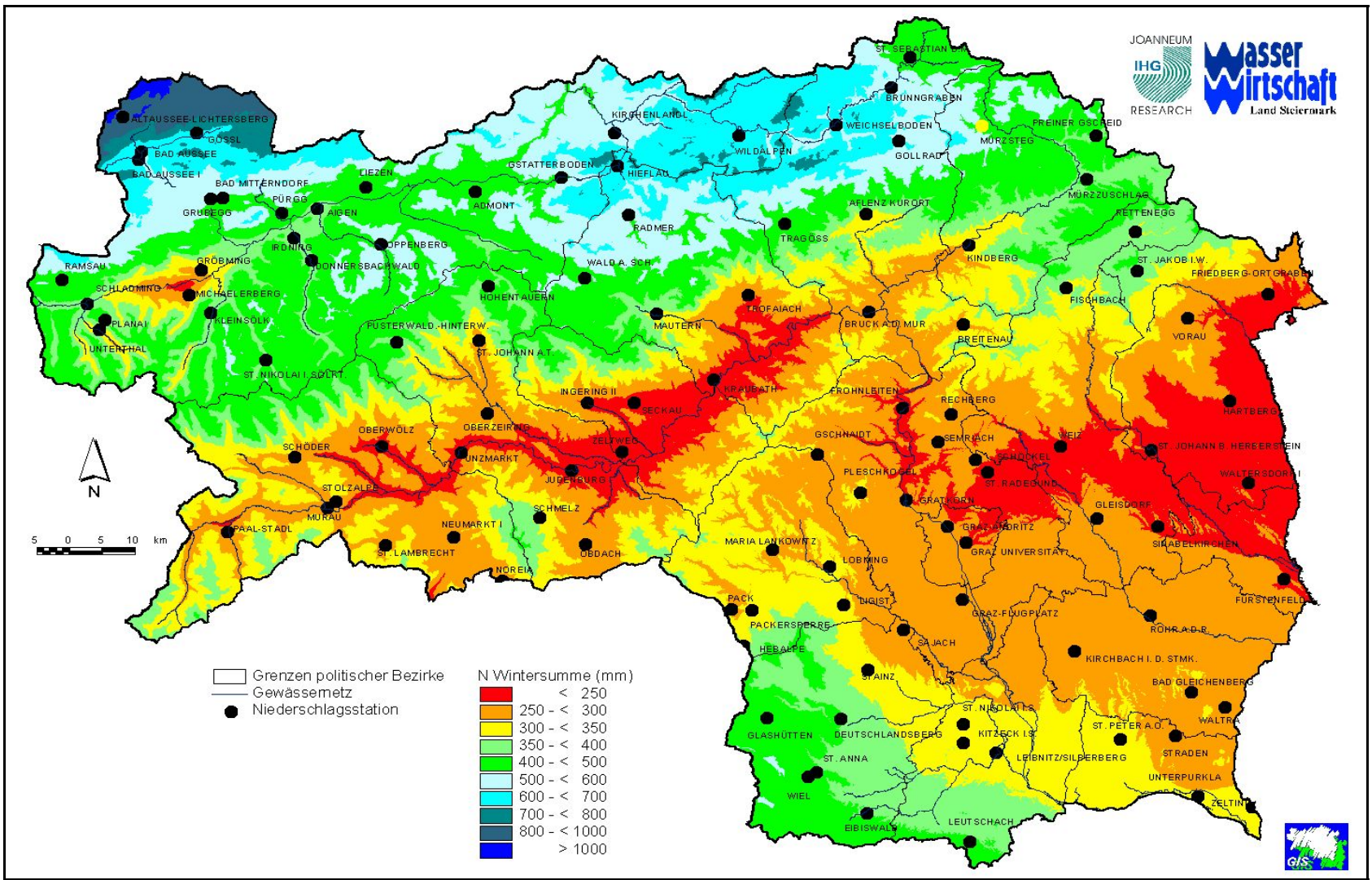


Fig. 2: Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren Wintersumme (1. Oktober bis 31. März) des Niederschlags der

Steiermark (1971 bis 1995).

18. Seite links vakat

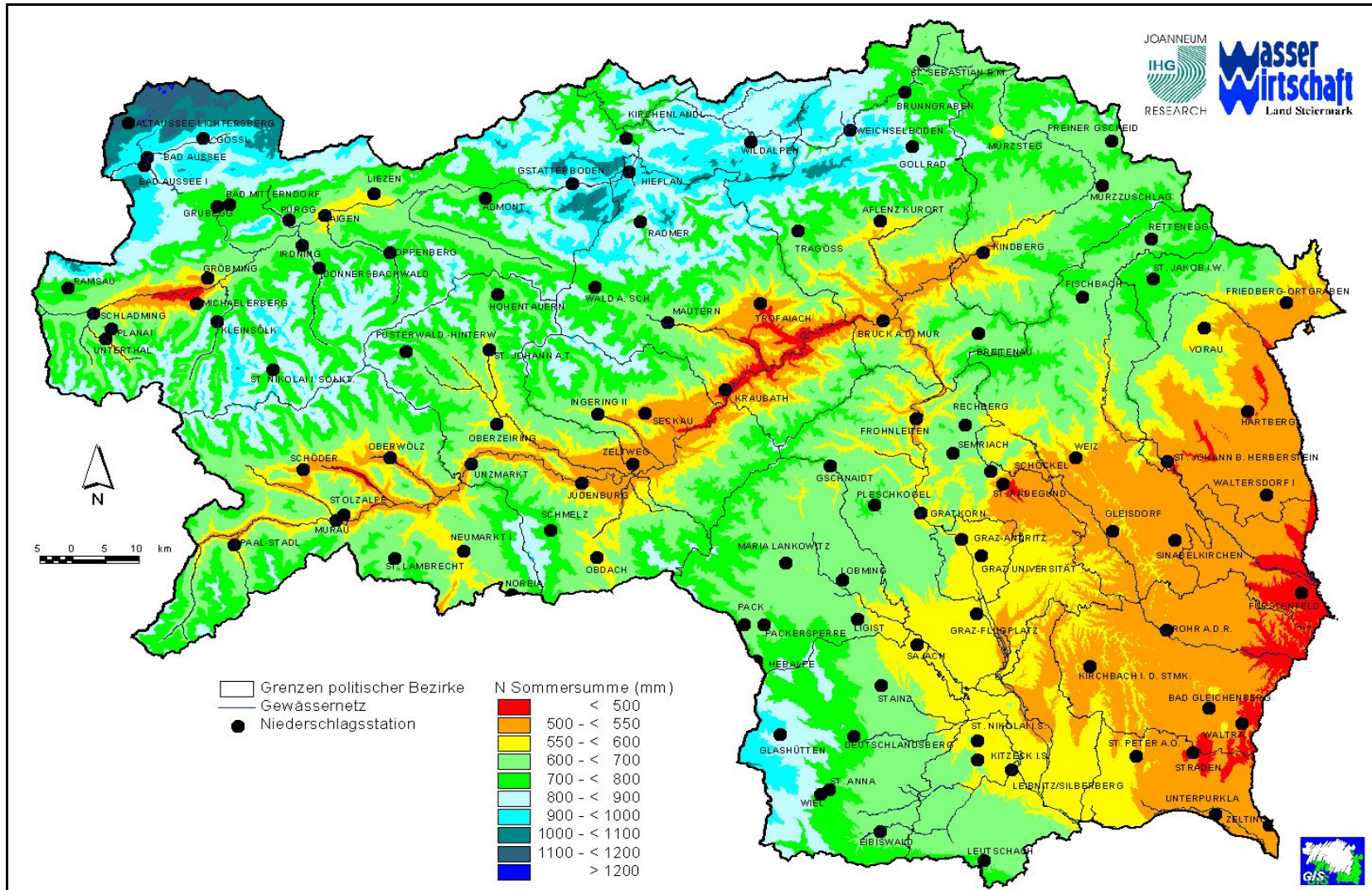


Fig. 3: Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren Sommersumme (1. April bis 30. September) des Niederschlags der

Steiermark (1971 bis 1995).

20. Seite links vakat

Südliche Strömungen bewirken hingegen föhniges Schönwetter. Hochwässer sind dank günstiger geologischer und morphologischer Voraussetzungen eher selten und zum Donauraum hin orientiert.

Das Ennstal liegt bis zum Gesäuse deutlich im Regenschatten der Nordalpen. Abgesehen von einer merklich niedrigeren Jahressumme des Niederschlages konzentrieren sich die Einträge auf die Sommermonate (57 % Schlechtwettertage) und der Herbst bleibt relativ stabil. Infolge der Beckenlage sinken die Wintertemperaturen stark ab und Jahresschwankungen bis 20 °C werden erreicht.

Die quer zur vorherrschenden Strömungsrichtung stehenden **Niederer Tauern** sind wieder typisch Staugebiet und Wetterscheide für alle nordwestlichen Strömungen. Während bei Nordstau die Niederschlagstätigkeit häufig noch über die Kammregion hinaus reicht, werden Südströmungen meist von vorgelagerten Gebirgen abgefangen und kaum wirksam.

Mit rund 600 mm Niederschlag und 76 % der Schlechtwettertage erreichen die Sommermonate ein ausgeprägtes Maximum.

Ausgeprägter als das Ennstal liegt das Längstal der **Mur-Mürzfurche** im Lee der abschirmenden Gebirgsketten. Mit bis unter 800 mm gehenden Jahressummen des Niederschlages zeigt sich hier ein autochthoner, inneralpiner Klimatyp mit geringer Niederschlagsbereitschaft im Winter und ausgeprägtem Sommermaximum.

Niederschläge werden vorwiegend durch Tiefdrucklagen, in geringem Maße durch nordwestliche oder südliche Strömungen ausgelöst. Typisch sind kurzdauernde Schauer. Gegen das nordwestliche Mürztal lässt der Abschirmeffekt nach. Typisch für Beckenlagen sind tiefe Wintertemperaturen (z.B. Zeltweg).

Das **Steirische Randgebirge** wirkt hauptsächlich als Staugebiet für südliche Strömungen, die jedoch besonders während der Wintermonate kaum wirksam werden. Von Bedeutung sind jedoch zyklonale Strömungen, vor allem die berüchtigte „Zugstraße V b“, eines von der Adria über Ungarn gegen Polen abziehenden Mittelmeertiefs, welches vor allem im Herbst zu mehrtägig anhaltenden Niederschlägen führen kann.

Während der Sommermonate können vor allem Nord- und Nordwestwetterlagen teils heftige Gewitter auslösen, welche letztlich zu einem ausgeprägten Sommermaximum der Niederschläge führen.

Das **Ost- und Weststeirische Hügelland** (Steirische Bucht) ist gegen Norden und Westen durch Gebirge abgeschirmt und nur gegen Osten geöffnet. Hier kommen somit fast nur zyklonale und thermisch-turbulente Vorgänge, insbesondere bei Frontdurchgängen, zur Geltung. Diese führen im Frühsommer und Sommer zu teils heftigen Wärmegewittern, welche diesen Landesteil als gewitterreichste Region Österreichs ausweisen. Anhaltende Südwestströmungen können aber auch zu langanhaltenden Trockenperioden (zuletzt 1992, 1993) führen, die meist von heftigen Gewittern beendet werden. Während Gewitter und Starkregen häufig lokale Überschwemmungen und Murenabgänge zur Folge haben, bewirken die langanhaltenden, meist Summen von 100 mm deutlich überschreitenden Herbstregen, wie sie durch Mittelmeertiefs (Zugstraße V b) ausgelöst werden, häufig großflächig wirksame Hochwasserereignisse.

Die Winter sind hingegen ausgesprochen niederschlagsarm, oft langanhaltend trüb und kalt (Temperaturumkehr), das Frühjahr ist eher wechselhaft und windig.

Erwähnenswert sind die gegen Jahresende häufig auftretenden durch Südströmungen bewirkten „Weihnachtstauwetter“, die im Zusammenwirken von Niederschlag und Schneeschmelze zu Hochwasser führen können.

2.2 Ermittlung der Verdunstung in Teilgebieten

Die Verdunstung ist ein wesentlicher Bestandteil sowohl des Wasserkreislaufes als auch des Wärmehaushaltes der Atmosphäre. Durch die zunehmende Bedeutung des Rohstoffes Wasser sind Informationen über die Verdunstung für verschiedene Anwendungsbereiche, wie Kraftwerksbau, künstliche Bewässerung in der Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung immer wichtiger geworden. Damit ist in einem Land wie der Steiermark, wo der Niederschlag sehr unterschiedlich verteilt ist, die Kenntnis der Verdunstung, besonders die Verteilung in den einzelnen Regionen bzw. Seehöhenstufen, von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Der Vorgang der Verdunstung ist ein komplexer physikalischer Prozess, der je nach meteorologischen Gegebenheiten, Bodenart, Beschaffenheit und Bewuchs der Bodenoberfläche, Tages- und Jahreszeit, Höhenlage und anderen Faktoren starken Schwankungen unterliegt. Man kann mehrere Formen der Verdunstung unterscheiden, je nachdem von welcher Oberfläche und deren momentanen Eigenschaften der Verdunstungsvorgang seinen Ausgang nimmt. So spricht man von Evaporation (E), wenn Wasser von unbewachsenem Boden oder einer freien Wasserfläche verdunstet. Bei unbewachsenem Boden spielen neben den äußeren meteorologischen Gegebenheiten, die die Verdunstungskraft der Atmosphäre steuern,

vor allem der bodenphysikalische Zustand, wie z.B. der Wassergehalt des Bodens und dessen Verteilung mit der Tiefe und die Tiefenlage des Grundwasserspiegels, eine entscheidende Rolle.

Transpiration („Blattverdunstung“, T) nennt man den Vorgang der Abgabe von Wasser an die Atmosphäre durch die oberirdischen Organe der Pflanzen. Hier hängt die Intensität der Transpiration zunächst auch von der Verdunstungskraft der Atmosphäre ab. Da jedoch die Pflanze ihr Wasser aus dem Boden bezieht, erfolgt eine wesentliche Kontrolle der Transpiration durch die Prozesse, die sich beim Fluss des Wassers aus dem Bodenraum über das Wurzelsystem bis hin zu den Spaltöffnungen abspielen. Die Transpiration hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab, nämlich dem atmosphärischen, dem bodenphysikalischen und dem pflanzenphysiologischen. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Transpiration als der physiologisch regulierten Verdunstung. Die Zusammenziehung der beiden Begriffe Evaporation und Transpiration ergibt die Evapotranspiration (ET), unter der man den Gesamtwassertransfer in die Atmosphäre pro Einheit der bewachsenen Bodenfläche versteht.

Zusätzlich muss zwischen aktueller und potentieller Verdunstung unterschieden werden. So ist die potentielle Evaporation (E_p) in Anschluss an die Definition von H.L. PENMAN (1956) und der WMO (1966) jene maximale Wasserdampfmenge, die von einer mit Wasser vollständig gesättigten, leblosen Oberfläche pro Flächen- und Zeiteinheit unter den bestehenden atmosphärischen Bedingungen abgegeben werden kann. Die potentielle ET (ET_p) ist dann jene maximale Wassermenge, die von einer stets wassergesättigten, den ganzen Boden bedeckenden Vegetationsfläche verdunsten kann. Es wird also vereinfachend der maximal mögliche Wasserverlust meist alleine auf Grund der atmosphärischen Bedingungen abgeschätzt und der solcherart berechnete Wert mittels zusätzlicher Faktoren den jeweiligen pflanzenspezifischen Bedingungen angepasst.

Die aktuelle oder reale ET (ET_a) ist nun jene Wassermenge, die unter den gegebenen Bedingungen von einer bewachsenen Landoberfläche bei den bestehenden atmosphärischen Verhältnissen und den die Verdunstung beschränkenden Bodenwasserverhältnissen tatsächlich in die Atmosphäre verdunstet.

Die aktuelle Evaporation (E_a) wird als jene Wasserdampfmenge definiert, die unter den gegebenen äußeren Bedingungen von einer nur teilweise mit Wasser gesättigten leblosen Oberfläche in die Atmosphäre abgegeben wird.

2.2.1 Messung der potentiellen Verdunstung mittels Verdunstungswannen

Wegen der Komplexität des Verdunstungsprozesses ist es recht schwierig, die Verdunstung auf direktem Weg (z.B. durch Lysimeter) zu bestimmen. Mit Verdunstungswannen, die weltweit in Verwendung stehen, kann nur die potentielle Verdunstung gemessen werden.

In der Steiermark liegen von Zeltweg und Graz-Messendorf für die Jahre 1977 bis 1995 geprüfte Daten von Verdunstungswannen vor. In Tab. 1 sind die mittleren und extremen Monatssummen der Verdunstung dieser Wannen von Zeltweg und in Tab. 2 diejenigen von Graz-Messendorfberg aufgelistet.

Wie man leicht erkennt, treten im mittleren Jahresgang die höchsten Werte zumeist im Juli auf, in Einzeljahren bereits schon im Juni oder erst im August.

2.2.2 Ermittlung der realen Verdunstung

Es gibt zahlreiche Algorithmen zur Berechnung der potentiellen Evaporation (E_p) bzw. der potentiellen Evapotranspiration (ET_p), angefangen mit dem Energiehaushalt (SVERDRUP-Ansatz mit BOWENS-Beziehung, PENMAN-MONTEITH Gleichung), über Diffusionsansätze und semiempirische Beziehungen (DALTON-Ansatz, THORNTHWAITE-HOLTZMANN Gleichung, HAUDE Formeln) bis hin zu klimatologischen Indizes, die nur ein oder mehrere Klimaelemente umfassen (BLANEY-CRIDDLE, TURC). Während die Bestimmung von E_p und ET_p noch verhältnismäßig einfach vorgenommen werden kann, ist dies bei der aktuellen Evaporation (E_a) und besonders bei der aktuellen Evapotranspiration (ET_a) nur mit großem Aufwand möglich.

2.2.2.1 Die Ermittlung der realen Verdunstung aus Lysimetermessungen

Im steirischen Klimabereich wird aufgrund der Niederschlagsmenge und deren zeitlicher Verteilung während der Wintermonate praktisch jährlich eine Auffüllung des Bodenwasserspeichers erreicht, sodass die Erstellung von Jahresbilanzen der Verdunstung auch aus nicht wägbaren Lysimetern erfolgen kann.

Im Bereich der Forschungsstation Wagna ergab eine Auswertung der mittleren Jahressumme der aktuellen Evapotranspiration als Restglied von Niederschlag minus Sickerwassermenge eines Jahres für die Periode 1992 bis 1995 bei einer mittleren Jahresniederschlagssumme von 810 mm für die Boden-, Fruchtfolge- und Bewirtschaftungsverhältnisse der Fruchtfolgeparzelle einen Wert von 567 mm und auf dem zugehörigen Gefäßlysimeter eine mittlere Jahresverdunstung von 599 mm. Im Bereich der Maismonokulturparzelle lagen die

entsprechenden Werte bei 438 mm an zwei Wannenlysimetern in 1,5 m Tiefe und bei 476 mm beim zugehörigen Gefäßlysimeter.

Tab. 1: GGI Verdunstung in mm/Monat in Zeltweg.

Zeltweg	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
1977				73	43	59	33
1978	50	65	70	61	61	54	34
1979	49	89	46	53	69	53	36
1980	63	78	83	88	91	49	28
1981					85	56	45
1982							
1983	66	89	68	93	56	51	30
1984	44	57	77	67	53		39
1985	52	44	71	71	54	56	27
1986	54		52	64	66	46	23
1987	48	43	52	65	54	39	31
1988	48	42	54	57	62	39	29
1989	34	45		65	50	34	27
1990	35	55	41	77	60	46	19
1991	28	42	52	60	57	50	25
1992	43	64	55	66	72	48	21
1993	52	68	73	72	62	40	26
1994	39	74	66	79	69	49	25
1995	57		51	89	56	47	39

Tab. 2: GGI Verdunstung in mm/Monat in Graz-Messendorfberg.

Graz/Mess.	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
1980				65	64	33	22
1981	44	48	55	72	60	41	24
1982	43	62	57	63	56	38	15
1983	43	52	53	86	61	37	27
1984	41	36	57	54	51	27	22
1985	35	38	48	64	59	44	23
1986	31	48	53	69	68	38	20
1987	33	47	52	65	36	24	17
1988	35	38	52	66	58	18	13
1989	23	38	40	41	43	27	19
1990	24	43	40	59	49	31	11
1991	10	41	52	40	40	30	14
1992	25	44	48	59	68	31	11
1993	35	54	48	65	46	26	16
1994	27	37	50	58	42	22	12
1995	28	39	32	56	34	19	15

Für den Zeitraum 1992 bis 1995 betrug die Auswertung nach RENGGER eine aktuelle Verdunstungsleistung von 513 mm/a. Durch Bilanzierung des Niederschlags minus der aus dem

Schwankungsverhalten des Grundwasserspiegels abgeleiteten Grundwasserneubildung ergab sich eine Gesamtverdunstung von 442 mm/a.

2.2.2.2 Ermittlung der realen Verdunstung aus der Bodenwasserhaushaltsmodellierung

Ein Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung aus dem infiltrierenden Niederschlag stellt die Ableitung der Sickerwassermenge aus der klimatischen Wasserbilanz nach HAUDE unter Berücksichtigung der Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens über die nutzbare Feldkapazität dar.

Im Bereich der Forschungsstation Wagna ergab dieses Berechnungsmodell für die Periode 1992 bis 1995 auf der Fruchtfolgeparzelle eine mittlere Jahresverdunstung von 539 mm, für die Maismonokulturparzelle von 438 mm.

Basierend auf den bodenhydraulischen Kennwerten und der Profilgliederung der Modellprofile der beiden Versuchsstandorte an der Forschungsstation Wagna, wurden für den Zeitraum 1992 bis 1995 Sickerwassermengen auf Tagesbasis berechnet. Aus der Differenz zwischen dem mittleren Jahresniederschlag und der mittleren Jahressickerwasserhöhe ergibt sich für den Fruchtfolgestandort eine aktuelle Jahresverdunstung von 520 mm, für den Maismonokulturstandort von 376 mm.

2.2.2.3 Ermittlung der realen Gebietsverdunstung aus der Wasserbilanz

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung unter ackerbaulich genutzten Flächen wurden die einzelnen Bodenformen der Österreichischen Bodenkarte unter Zuhilfenahme der Informationen der Kartierung horizontweise in bodenphysikalische Kennwerte (z.B. Porenvolumen, Feldkapazität) umgesetzt. Anhand der Bewirtschaftungsdaten und der Klimadaten der Forschungsstation Wagna wurde das Bodenwasserhaushaltsmodell SIMWASER für Maismonokultur, eine vierschlägige Fruchtfolgevariante mit 50 % Mais sowie Raps und Winterweizen mit Winterbegrünung und für Grünlandnutzung (intensiv und extensiv) kalibriert.

Die flächengewichtete Umsetzung der Modellberechnungsergebnisse auf etwa 509 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (etwa 40 % der Gesamtfläche) im Untersuchungsgebiet ergibt für den Zeitraum 1992 bis 1995 eine mittlere Grundwasserneubildung von 340 mm/a, entsprechend einer Gesamtverdunstung von 470 mm/a. Für die Bereiche nicht ackerbaulicher Nutzung wurden unter Zuhilfenahme der Hauptkomponentenanalyse und der geostatistischen Strukturanalyse den einzelnen Grundwasserstandsmessstellen Repräsentativbereiche zugeordnet und die aus der jeweiligen Grundwasserstandsganglinie abgeleitete Grundwas-

serneubildungsganglinie zur flächengewichteten Erfassung der Grundwasseranreicherung aus nicht ackerbaulich genutzten Flächen verwendet.

Für den Zeitraum 1992 bis 1995 ergibt sich für die nicht ackerbaulich genutzte Fläche von etwa 750 ha (etwa 60 % der Gesamtfläche) eine über die Fläche gemittelte jährliche Grundwasserneubildung von fast 400 mm, entsprechend einer aktuellen mittleren jährlichen Evapotranspiration von 414 mm.

2.2.2.4 Abschätzung der realen Verdunstung für Jahressummen

Zur Abschätzung der mittleren realen Gebietsverdunstung für größere regionale Einheiten werden stark vereinfachende Verfahren herangezogen, wobei diese Vereinfachungen jedenfalls in der Interpretation der Ergebnisse und einer Bewertung der auftretenden Unsicherheiten zu berücksichtigen sind.

Das Verfahren von M. RENGER & G. WESSOLEK (1990) wird vielfach für die Abschätzung der realen Jahresverdunstung (Summe April bis März des Folgejahres) herangezogen. Es gilt unter der Annahme, dass der Boden im Frühjahr auf Feldkapazität aufgefüllt ist und lautet:

$$ET_a = a P_{so} + b P_{wi} + c \log W_{pfl} + d ET_p + e$$

mit P_{so} dem Sommerniederschlag (Summe 1. 4.–30. 9.), P_{wi} dem Winterniederschlag (Summe 1.10–31. 3. des Folgejahres), W_{pfl} dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser, ET_p der potentiellen Evapotranspiration (wobei M. RENGER für ET_p den Ansatz nach HAUDE nimmt). Das Verfahren ergibt eine Genauigkeit in der Verdunstung von ± 20 bis ± 30 mm/a.

Die Konstanten a bis e haben für mitteleuropäische Verhältnisse und Höhenlagen bis 600 m nach Tab. 3 folgende Werte:

Tab. 3: Werte der Konstanten nach M. RENGER & G. WESSOLEK (1990).

Bodennutzung	a	b	c	d	e
Ackerland	0,39	0,08	153	0,12	-109
Grünland	0,48	0,10	286	0,10	-330
Nadelwald	0,33	0,29	166	0,19	-127

Die Verdunstung für Waldstandorte wirft dabei besondere Probleme auf, weshalb nur einfache Ansätze, die eine plausible Näherung an die tatsächlichen Verdunstungsmengen zulassen, herangezogen werden.

Für den Standort des landwirtschaftlichen Versuchsfeldes in Wagna (Leibnitzer Feld) ermittelt J. FANK (1999) für die Periode 1971 bis 1996 mit Hilfe des Ansatzes nach M. RENGER & G. WESSOLEK (1990) unter Zugrundelegung der Faktoren in Tab. 3, eines mittleren Sommer-niederschlags von 560 mm und eines mittleren Winterniederschlags von 317 mm sowie eines pflanzenverfügbaren Wasservolumens von 130 mm (Maismonokulturparzelle) bzw. 146 mm (Fruchtfolgeparzelle) eine mittlere aktuelle Evapotranspirationsleistung im Jahr von 536 bzw. 544 mm. Diese aktuelle Verdunstungsleistung entspricht im langjährigen Mittel etwa 62 % des mittleren Jahresniederschlags.

Die Fig. 4 zeigt die Verteilung der mittleren aktuellen Evapotranspiration (1971 bis 1995) in der Steiermark für die Seehöhenbereiche unter 600 m. Da aber die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration nach M. RENGER & G. WESSOLEK (1990) mit Problemen behaftet war, wurde eine Abschätzung vorgenommen, wobei Berechnungsergebnisse für einzelne Landnutzungsklassen mit den potentiellen Evaporationswerten der Klasse Wasser und jenen Bereichen, für die eine Berechnung der aktuellen Evapotranspiration nicht zulässig ist (verbaute Bereiche etc.), zusammengeführt wurden.

2.3 Ermittlung der potentiellen Evapotranspiration nach PENMAN für das Bundesland Steiermark

In Konsequenz aus den Schwierigkeiten einer plausiblen Schätzung der Verdunstung ist die Abschätzung der Verdunstungsverhältnisse für das gesamte Bundesland Steiermark nach dem sogenannten PENMAN-Ansatz vorgenommen worden, der die Berechnung der ET_p aus der zur Verfügung stehenden Energie und der Verdunstungskraft der Luft erlaubt. Dies scheint in Anbetracht der Datenlage (Verfügbarkeit von Klimadaten an 36 Messstationen für maximal 30 Jahre, digitales Höhenrastermodell) und der gegebenen klimatischen Verhältnisse in Bezug auf das Niederschlagsregime zielführend, allerdings mit den Einschränkungen durch die oben angeführten Definitionen für die potentielle Verdunstung.

2.3.1 Datenmaterial

Für die Verdunstungsbestimmung auf dem Gebiet der Steiermark sind insgesamt 33 Stationen für den Zeitraum 1971 bis 1996 verwendet worden. Zur Abrundung der nötigen Information in den Grenzbereichen zu anderen Bundesländern wurden neben den unten genannten

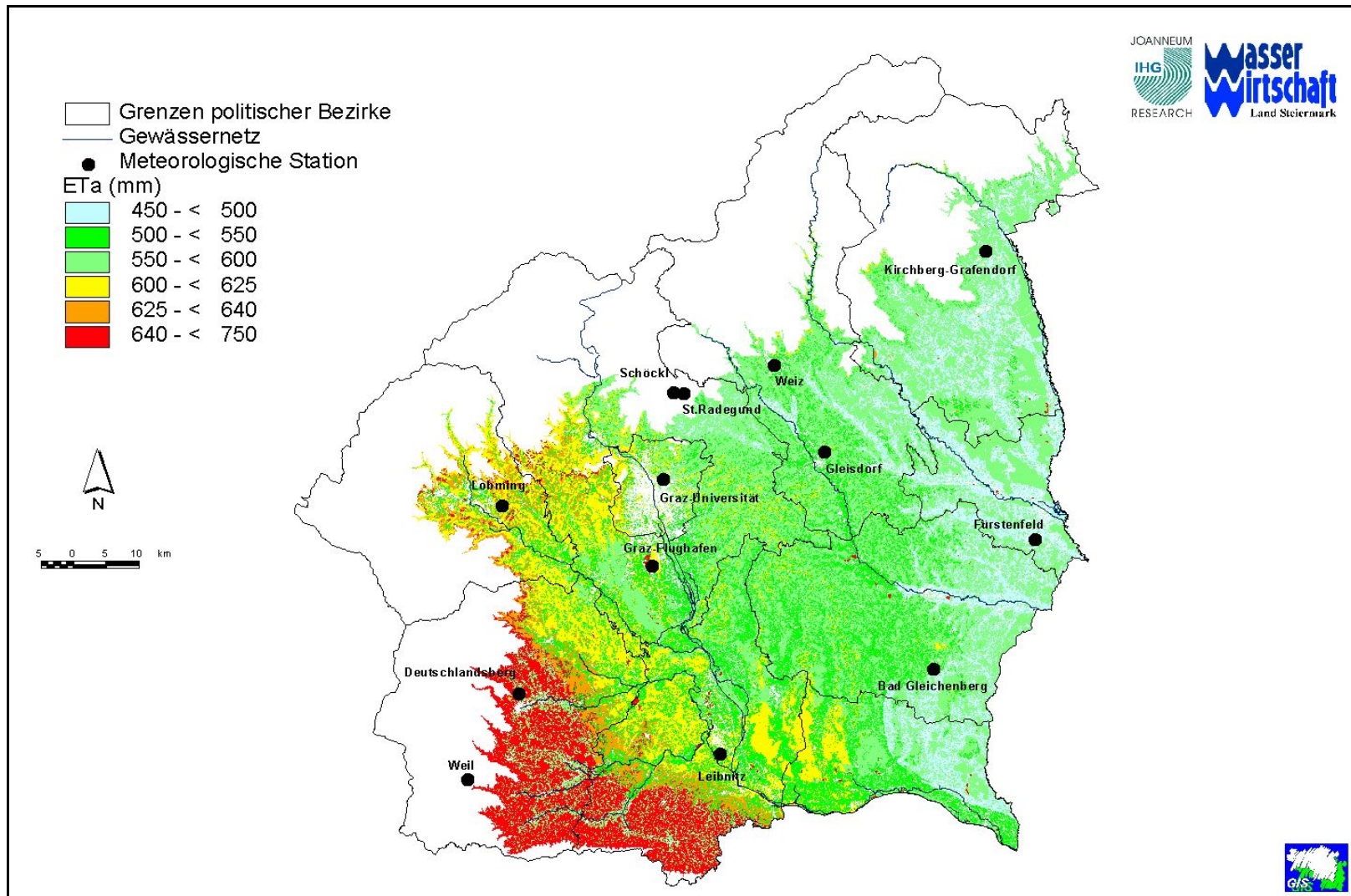


Fig. 4: Wasserversorgungsplan Steiermark: Verteilung der mittleren aktuellen Evapotranspiration (1971 bis 1995) in der Steiermark für

die Seehöhenbereiche unter 600 m.

30. Seite links vakat

(Krippenstein, Reichenau/Rax, Radstadt, Tamsweg und Windischgarsten) weiters noch die Stationen Feuerkogel und Friesach herangezogen, womit insgesamt 35 Stützstellen in den verschiedensten Landesteilen und in den Randbereichen zur Verfügung standen.

Von jenen 19 Stationen von denen geschlossene Datensätze ab 1961 vorlagen, wurden die gleichen Berechnungen angestellt und zwar sowohl über den gesamten Zeitraum 1961 bis 1996 als auch für die 30-jährige Periode 1961 bis 1990. Es zeigte sich in beiden Fällen in den Sommermonaten gegenüber der Periode 1971 bis 1995 eine um etwa 2–4 % geringere potentielle Verdunstung (wobei ET_p 1961 bis 1990 noch geringer als 1961 bis 1996 ausfiel), was auf die außerordentlich warmen Sommer der beginnenden 90er Jahre zurückzuführen ist.

2.3.2 Berechnungsergebnisse mit dem PENMAN-Ansatz

Die Ergebnisse der Berechnungen für die Mittelwerte der Einzelmonate sind in Tab. 4 zusammengestellt. Auffallend ist der steile Anstieg der Verdunstung zwischen April/Mai an den höher gelegenen Stationen, was mit dem Zeitpunkt des Abtauens der Schneedecke in Verbindung steht. Die negativen Werte bei einigen Wintermonaten in dieser Tabelle sind als Kondensation von Wasserdampf von wärmerer feuchter Luft an der kalten Schneeoberfläche zu erklären, was sich aus dem Berechnungsansatz bei vorhandener Schneedecke ergibt. Zuzufolge der klimatischen Gegebenheiten zeigte es sich als sinnvoll eine Teilung des Datenmaterials in drei regionale Gruppen zu treffen, nämlich in Gruppe 1 mit dem oberen Ennstal, in Gruppe 2 mit Mürztal und oberem Murtal und in Gruppe 3 mit den östlichen und südöstlichen Landesteilen der Steiermark. Daraus resultieren geringe bis mäßige Unterschiede in der Höhenabhängigkeit der Verdunstung.

Aus Tab. 4 ist ersichtlich, dass die höchsten Jahressummen der ET_p in den tiefen Lagen des Südosten der Steiermark (über 650 mm/a), die geringsten in den Hochlagen (Dachsteingebiet, Niedere Tauern, unter 200 mm/a) erreicht werden. Allerdings kann insbesondere über Waldflächen die Verdunstung noch höher sein als die für diese Gebiete berechnete.

2.3.3 Karte der potentiellen Evapotranspiration

Die Karte ist in Fig. 5 dargestellt. Aufgrund unterschiedlicher klimatischer Randbedingungen wurde die Steiermark in drei Gruppen (SUED, MITTE, NORD) eingeteilt. Die Ergebnisse der nichtlinearen Optimierungsberechnungen für die Jahressumme der potentiellen Evapotranspiration sind aus Fig. 6 ersichtlich.

Tab. 4: Der mittlere Jahresgang der potentiellen Verdunstung (mm) berechnet nach PENMAN für den Zeitraum 1971 bis 1995.

Gruppe1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Admont	-4	4	28	60	94	102	111	95	62	39	11	-2	599
Bad Aussee	-3	1	27	70	105	110	121	104	69	41	15	-2	658
Bad Mitterndorf	-4	2	18	61	95	97	108	90	61	36	11	-4	571
Irdning-Gumpenstein	-2	4	30	66	98	105	115	101	66	45	13	2	642
Krippenstein	-5	-4	-2	5	36	56	66	49	33	17	8	-6	254
Radstadt	-3	3	16	51	93	101	112	96	63	35	10	3	580
Windischgarsten	-3	6	26	64	97	106	117	102	65	40	14	1	635
Gruppe 2													
Aflenz	-3	5	24	57	92	101	112	94	60	35	11	1	589
Bruck/Mur	-1	8	34	57	92	107	118	96	64	38	15	1	629
Mariazell	-3	7	23	48	99	103	105	92	63	38	10	-3	582
Mönichkirchen	-2	7	23	57	90	97	106	91	59	34	13	-1	574
Mürzzuschlag	-1	4	20	60	94	106	117	98	63	36	12	-1	608
Oberwölz	-2	9	26	59	91	100	115	96	63	36	15	-1	607
Reichenau/Rax	0	11	33	65	97	102	109	95	63	35	15	0	625
Seckau	-2	8	33	55	91	98	110	101	65	38	12	-2	597
St.Michael/Leoben	-4	3	22	54	96	103	114	93	64	40	9	-4	590
Stolzalpe	-4	4	19	45	92	101	104	98	67	35	8	-3	547
Tamsweg	-5	3	24	53	95	105	113	96	57	36	11	-5	578
Zeltweg	-2	6	33	67	97	105	117	98	61	37	12	-3	628
Gruppe3													
Bad Gleichenberg	0	11	37	63	97	109	120	102	66	34	12	1	653
Deutschlandsberg	2	13	38	65	95	104	120	98	66	36	15	2	654
Fürstenfeld	5	12	37	63	94	107	118	101	63	37	15	4	657
Gleisdorf	3	13	36	61	91	102	114	97	62	33	15	4	629
Graz-Flughafen	2	11	37	66	93	104	114	97	63	33	16	3	639
Graz-Universität	2	12	38	67	94	103	115	98	64	34	15	3	646
Kirchberg-Grafendorf	4	11	34	62	94	103	115	98	64	33	13	5	636
Leibnitz	2	10	35	61	96	106	116	105	64	36	16	3	649
Lobming	1	10	35	66	91	103	114	97	62	34	14	3	629
Schöckl	-4	4	18	39	79	91	103	90	57	28	10	-2	513
St. Radegund	0	11	33	60	101	96	111	94	61	32	12	0	604
Weiz	0	13	37	62	97	108	117	100	65	34	16	2	651
Weil	-1	8	30	56	84	98	110	93	60	31	14	0	582
Wörterberg	5	14	38	63	91	103	116	97	63	36	18	6	650

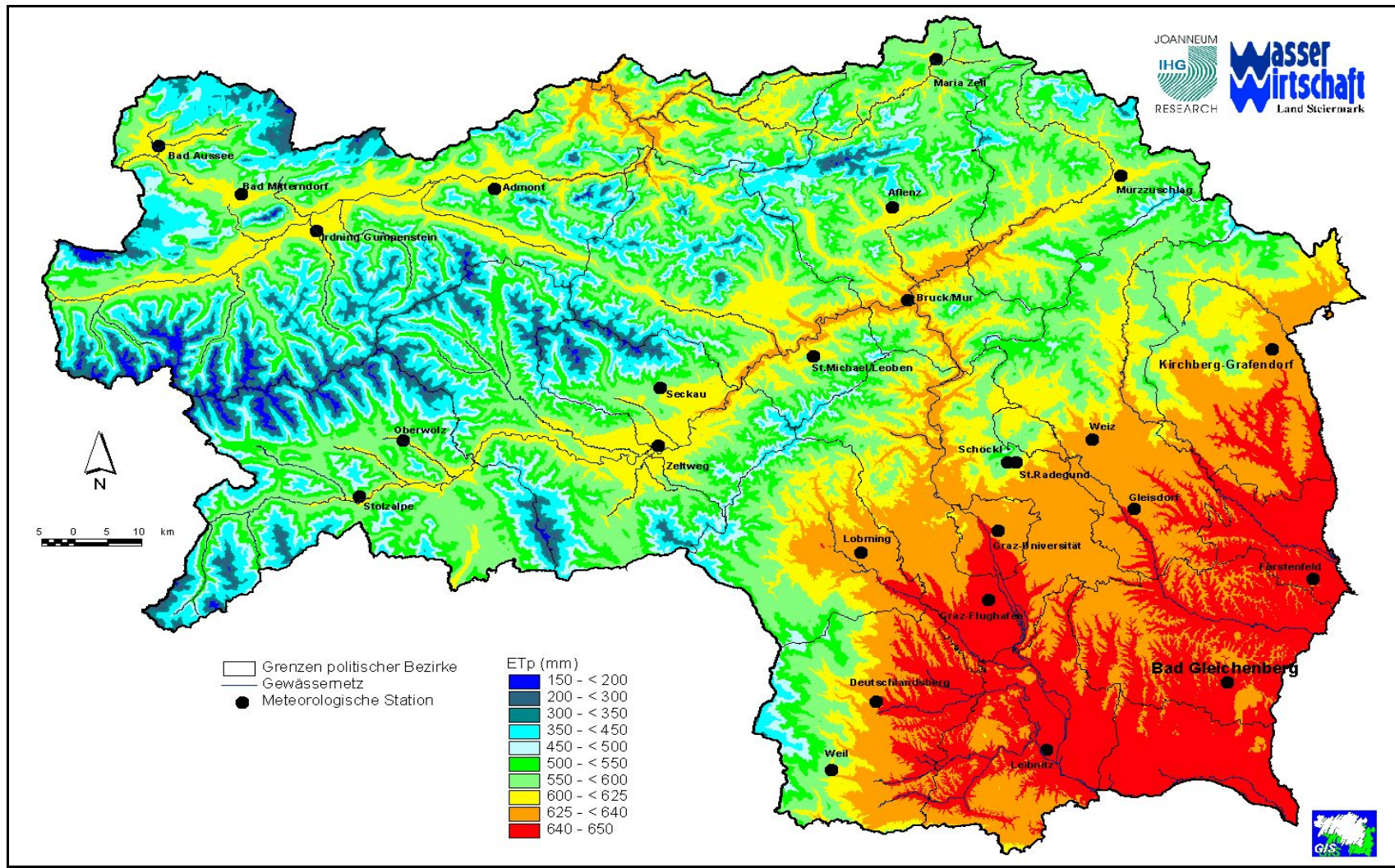


Fig. 5: Wasserversorgungsplan Steiermark: Mittlere Jahressumme der potentiellen Evapotranspiration (1971 bis 1995) in der Steiermark

basierend auf den Auswertungen der Stationsdaten nach PENMAN und der Übertragung auf das Höhenmodell nach der statistisch ermittelten Regressionsbeziehung zwischen ET_p und Seehöhe (Fig. 6).

34. Seite links vakat

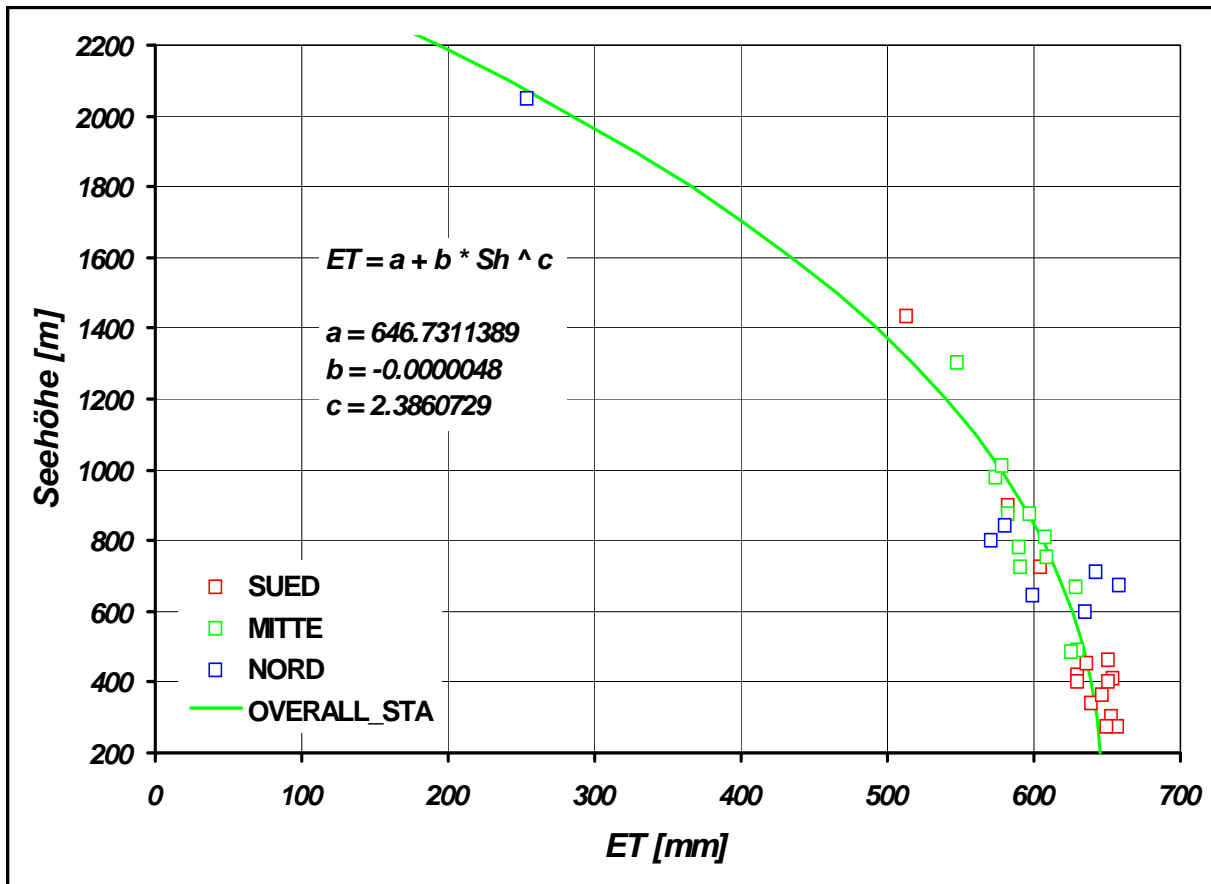


Fig. 6: Beziehung zwischen der an den Messstationen in Tab. 4 berechneten Jahresmittelwerten der potentiellen Evapotranspiration ($ET = ET_p$) aus der Periode 1971 bis 1995 und der Seehöhe als Grundlage für die Regionalisierung der Verdunstungswerte der Steiermark.

Unter Verwendung der oben ermittelten Zusammenhänge zwischen potentieller Evapotranspiration an den Messstellen und der Höhenlage der jeweiligen Messstellen wurde mit Hilfe des Höhenmodells des BEV mit einer Rasterweite von 50*50 m die Evapotranspiration für die Fläche der Steiermark ermittelt.

Wie aus Fig. 6 zu erkennen ist, ist die Verdunstung-Seehöhen-Beziehung nur bis in den Bereich von 2200 m einigermaßen durch Stationsdaten belegt. Aus diesem Grund wurde in der Übertragung der Funktionen auf das Geländemodell für Höhenbereiche über 2200 m keine Verdunstung angegeben.

Das Ergebnis der Regionalisierung in Fig. 5 ist für die mittlere Jahressumme der Reihe 1971 bis 1995 dargestellt. Naturgemäß spiegelt die regionale Verteilung in erster Linie die Höhenverteilung in der Steiermark wider.

3 Ober- und unterirdischer Abfluss

3.1 Typisierung der Abflussregime

Im Gewässernetz der Steiermark wurden 24 Pegelmessstellen, welche durchgehende Abflussmessreihen von mindestens 20 Jahren aufweisen, für eine Abflusstypisierung herangezogen.

3.1.1 Einfache Abflussregime

3.1.1.1 Gemäßigt nivales Regime (GEN)

Das Regime ist gekennzeichnet durch die abflussstärkste Periode im Mai (GEN5) oder Juni (GEN6) und ein Abflussminimum im Winter. Die Speisung der Gewässer ist überwiegend nival, die Periode der Schneeschmelze ist das bedeutende hydrologische Ereignis im Jahresgang.

Als Beispiel wird in Fig. 7 der Pegel 1035, Enns bei Schladming angeführt.

3.1.2 Komplexe Abflussregime

3.1.2.1 Sommerpluviales Regime (SOP)

Charakteristisch sind Abflussmaxima im Sommer, die nicht durch glazialen Einfluss verursacht werden. Der Grund liegt in kräftig ausgebildeten Sommerniederschlägen, die trotz der hohen Verdunstung selbst im langjährigen Mittel abflusswirksam sind. Nivale Einflüsse sind in einem Ansteigen der Abflusskurve im März und April erkennbar und bilden das sekundäre Maximum (Fig. 8, Pegel 3701, Kainach bei Lieboch). Herbstliche Niederschläge in Verbindung mit abnehmender Verdunstung können zu einer dritten Abflussspitze führen.

3.1.2.2 Winternivales Regime (WIN)

Das winternivale Regime ist den einfachen Abflussregimes sehr verwandt. Das nival gesteuerte Hauptmaximum tritt zwischen Mai und Juli auf. Ein zweites, allerdings nur sehr gering ausgeprägtes Maximum ist, durch direkt abflusswirksame Niederschläge bzw. vorübergehende Tauperioden bedingt, im Winter vorhanden (Fig. 9, Pegel 1610, Erzbach in Hieflau).

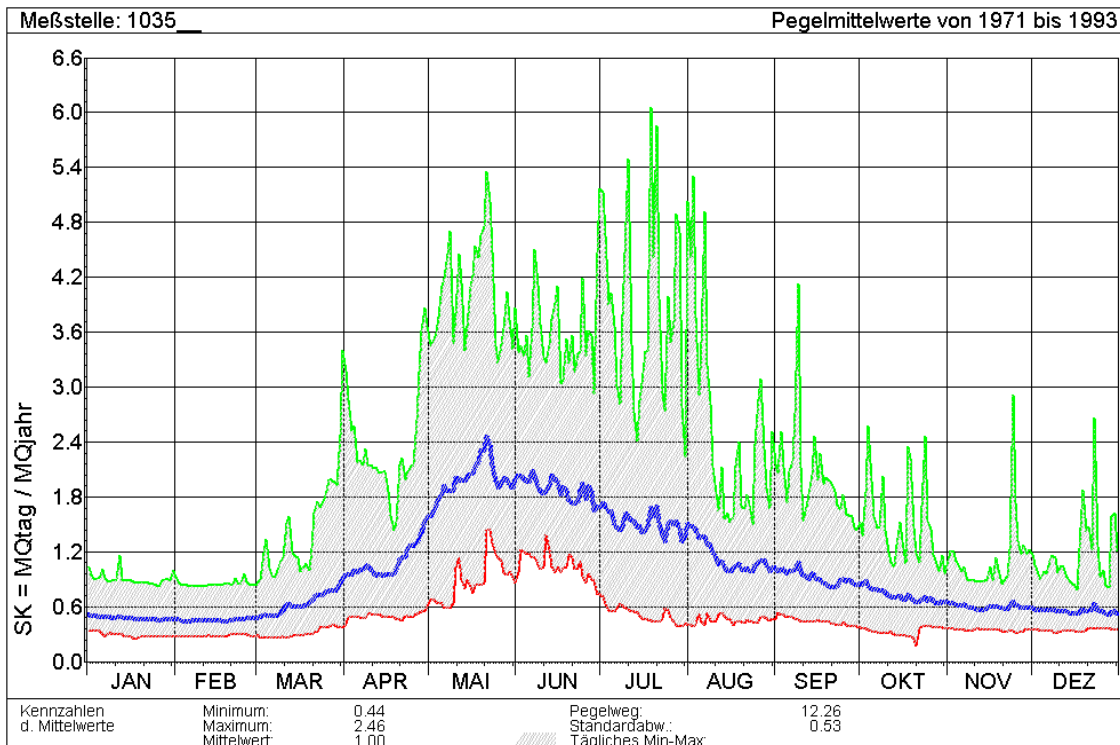


Fig. 7: Beispiel für ein gemäßigt nivales Abflussregime (GEN5), Enns bei Schladming. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.

3.1.2.3 Nivo-pluviales Regime (NIP)

Das sommerstarke nivo-pluviale Regime ist durch ein sekundäres Maximum, das durch verstärkte Niederschläge in den Sommermonaten (meist Juni und Juli) verursacht wird, gekennzeichnet. Das Minimum ist im Herbst bzw. Frühwinter ausgebildet (Fig. 10, Pegel 1640, Salza bei Gußwerk)

3.1.2.4 Pluvio-nivales Regime (PLN)

Das ausgeglichene pluvio nivale Regime zeigt eine relativ gleichmäßig über das Jahr verteilte Ganglinie durch mildere Winter mit immer wieder auftretenden Schneeschmelzvorgängen, deren Einfluss auf die Jahresganglinie nicht dominiert (Fig. 11, Pegel 4060, Raab in Takern).

3.1.3 Zusammenstellung der Ergebnisse

Die Tab. 5 zeigt das Ergebnis der Typisierung von 24 Pegelmessstellen in der Steiermark. Neben Maxima und Minima der mittleren Jahresganglinie (SK_{max} und SK_{min}) sind die Größe des Einzugsgebietes, der mittlere Abfluss über den Beobachtungszeitraum und die mittlere Abflussspende angeführt. Es ist zu beachten, dass Übergangsbereiche zwischen den einzelnen Regimes fließend sind. Auffallend ist dies besonders bei Regime GEN und WIN.

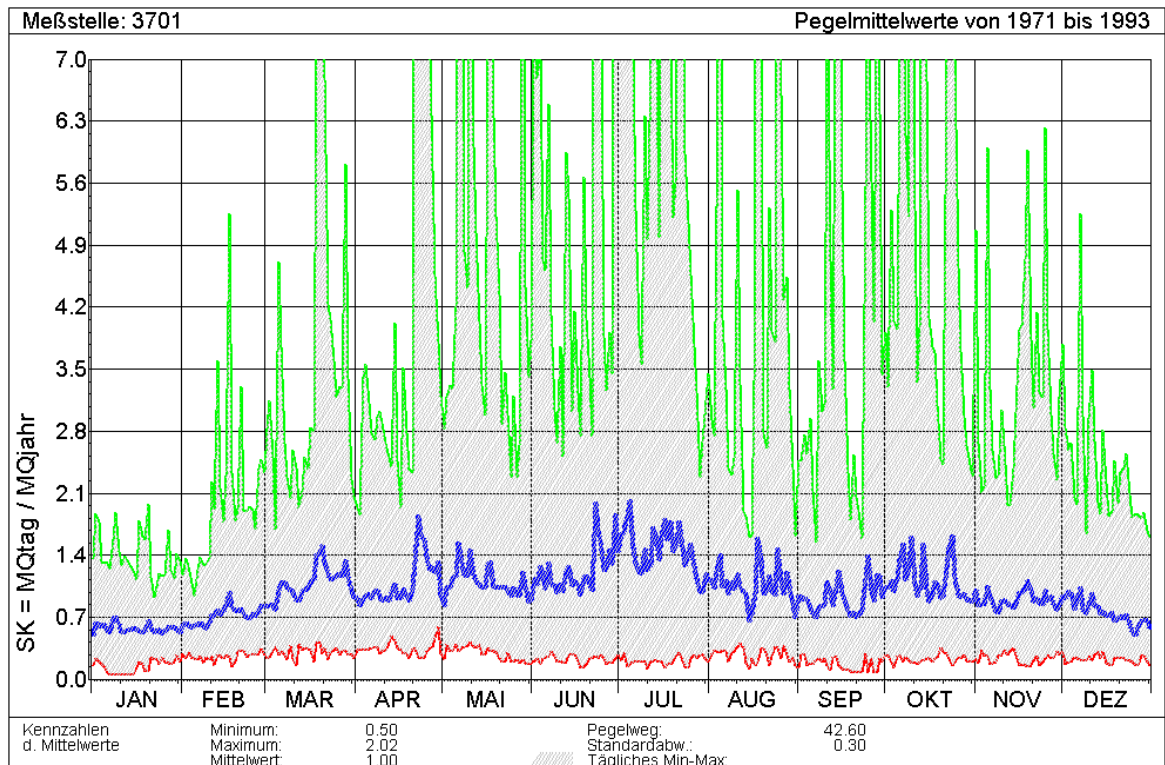


Fig. 8: Beispiel für ein sommerpluviales Regime (SOP), Kainach bei Lieboch. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.

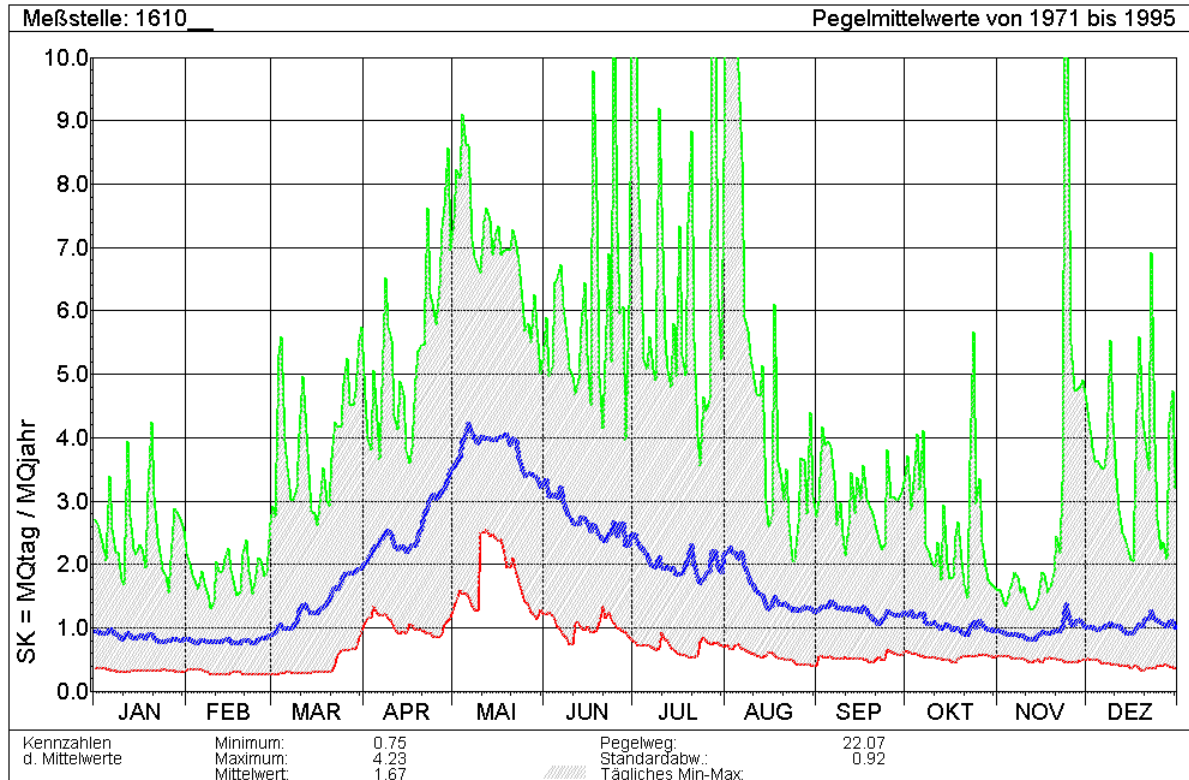


Fig. 9: Beispiel für ein winternivales Regime (WIN), Erzbach bei Hieflau. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDÉ-Koeffizienten.

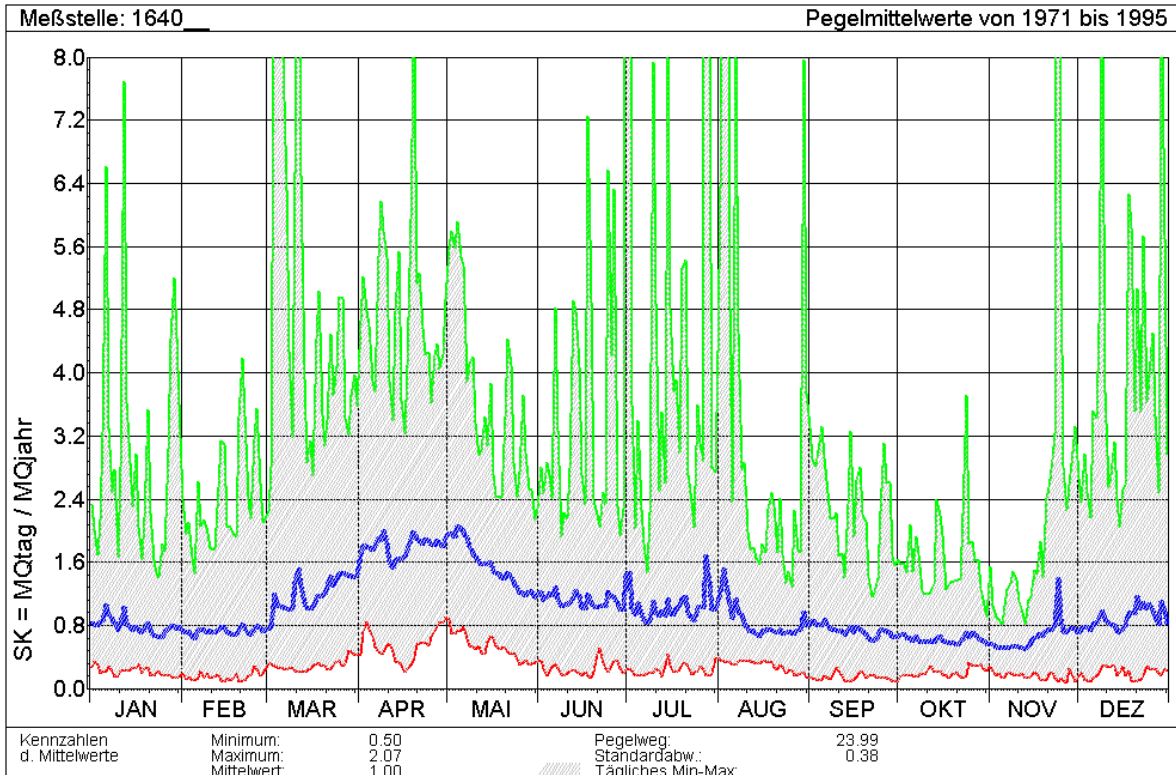


Fig. 10: Beispiel für ein sommerstarkes nivo-pluviales Regime (NIP), Salza bei Gußwerk. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDE-Koeffizienten.

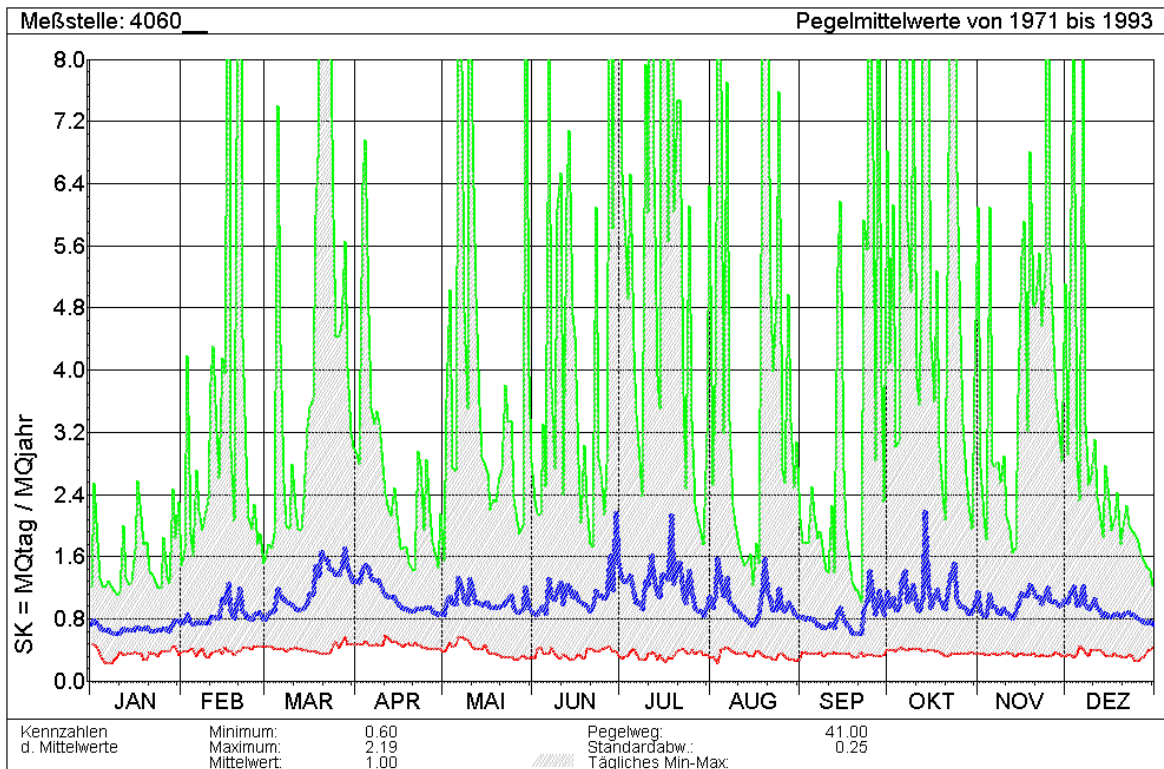


Fig. 11: Beispiel für ein ausgeglichenes pluvio-nivales Regime (PLN), Raab bei Takern. Grüne und rote Ganglinien = tägliche Maximal- und Minimalwerte. Blau: Mittlere Ganglinie des PARDE-Koeffizienten.

Tab. 5: Typisierung steirischer Fließgewässer modifiziert nach M. PARDÉ (1947) und T. STEIDL (1991).

Pegel Nr.	Pegel	Gewässer	Messreihe	EZG (km ²)	MQ (l/s)	Mq (l/s*km ²)	Pardé-Koeffizient		Regime	Charakter
							SK _{max}	SK _{min}		
24	Altaussee	Altausseer Traun	1971-1993	54.4	3584	60.4	3.64	0.21	GEN5	ausgeprägt
1035	Schladming	Enns	1971-1993	648.8	21468	33.1	2.46	0.44	GEN5	ausgeprägt
1185	Aigen im Ennstal	Gollingbach	1976-1993	161.0	4635	29.6	2.93	0.37	GEN5	ausgeprägt
1211	Liezen	Enns	1971-1993	2116.2	62087	29.2	2.65	0.41	GEN5	ausgeprägt
1540	Selztal	Palten	1971-1995	368.7	8979	24.4	2.42	0.48	GEN5	ausgeprägt
1600	Gstatterboden	Enns	1971-1995	2766.1	82018	29.4	2.52	0.43	GEN5	ausgeprägt
2055	Gestüthof	Mur	1971-1995	1700.3	34666	20.4	2.60	0.32	GEN5	ausgeprägt
2380	Pöls	Pöls	1971-1995	422.0	8576	20.3	2.96	0.41	GEN5	ausgeprägt
2635	Kammern	Liesing	1971-1995	265.6	5847	21.8	2.28	0.55	GEN5	ausgeprägt
3397	Graz	Mur	1971-1995	6988.9	103352	14.7	2.33	0.42	GEN5	ausgeprägt
3770	Schwanberg	Schwarze Sulm	1971-1995	75.2	1713	22.5	1.78	0.52	GEN5	gering
3902	Mureck	Mur	1974-1995	9769.9	146726	15.0	1.91	0.53	GEN5	gering
1022	Tetter	Unterthalerbach	1971-1993	65.2	2584	41.1	3.13	0.20	GEN6	ausgeprägt
1640	Gusswerk	Salza	1971-1995	280.0	6880	26.0	2.07	0.50	NIP	sommerstark
1730	Wildalpen	Salza	1971-1995	592.3	19446	33.4	2.14	0.49	NIP	sommerstark
2940	Neuberg	Mürz	1971-1993	223.8	6750	30.5	2.78	0.47	NIP	sommerstark
3082	Kapfenberg	Mürz	1971-1993	1364.5	21192	15.7	1.97	0.59	NIP	sommerstark
3882	Lipsch	Schwarzaubach	1971-1995	129.5	1052	8.1	2.54	0.21	PLN	ausgeglichen
3906	Fluttendorf	Gnasbach	1971-1993	119.3	834	6.9	2.15	0.23	PLN	ausgeglichen
4060	Takern	Raab	1971-1993	498.9	3973	7.9	2.19	0.60	PLN	ausgeglichen
4667	Maierhofen	Feistritz	1974-1993	796.4	7735	9.7	1.86	0.55	PLN	ausgeglichen
3365	Deutschfeistritz	Übelbach	1981-1993	117.8	1747	14.8	3.48	0.44	SOP	deutlich
3701	Lieboch	Kainach	1971-1993	756.2	9894	15.7	2.02	0.50	SOP	deutlich
1610	Hieflau	Erzbach	1971-1995	251.4	9449	37.6	2.53	0.44	WIN	deutlich

Alle Pegel im Bereich der oberen Mur und oberen Enns zeigen ein gemäßigt nivales Regimeverhalten. Die Einzugsgebiete sind durchwegs im Bereich der Niederen Tauern und der nördlichen Kalkalpen mit starkem Einfluss der Schneeschmelze gelegen. Die Schwankungsbreite des SK Faktors variiert zwischen 0,2 und 3,64, das Regime kann daher als ausgeprägt bezeichnet werden. Beim Pegel 3902, Mureck an der Mur, zeigt das Regime bedingt durch die Zuflüsse aus tiefer gelegenen Teileinzugsgebieten nur noch gering gemäßigt nivalen Charakter.

Der Pegel 1610 am Erzbach bei Hieflau kann als Übergangsbereich angesehen werden. Östlich dieser Station nimmt die mittlere Höhe der Einzugsgebiete langsam ab und damit auch der Einfluss der Schneeschmelze. Das Abflussverhalten der Fließgewässer im Einzugsgebiet von Salza und Mürz zeigt ein deutliches nivo-pluviales Verhalten. Neben der Schneeschmelze fallen hier verstärkt Niederschläge in den Sommermonaten ins Gewicht.

Unterschiedliche Regime zeigen die Gewässer in der Weststeiermark. Während der Pegel 3770 an der Sulm einen gering gemäßigt nivalen Charakter aufweist, ist das Regime von Kainach (3701) und Übelbach (3365) sommerpluvial. Da das Einzugsgebiet der Sulm bis an die Landesgrenze auf der Koralpe reicht, ist die Schneeschmelze in der Ganglinie auffallend. Die Einzugsgebietshöhen von Kainach und Übelbach liegen dagegen viel tiefer. Die Bedeutung der Schneeschmelze im Mai tritt in den Hintergrund, sommerliche Niederschläge prägen den Abflusscharakter.

Die Gewässer im oststeirischen Hügelland zeigen durchwegs ein ausgeglichenes pluvio-nivales Verhalten. Die Schwankungen der Jahresganglinie sind gering. Grund dafür sind vor allem die gleichmäßig über das Jahr verteilten Niederschläge und eine mäßig hohe Schneedecke im Winter.

In der Steiermark konnten somit insgesamt fünf Abflussregime differenziert werden. Der nördliche, gebirgige Teil ist durch ein gemäßigt nivales Regimeverhalten gekennzeichnet, das nach Osten allmählich in ein nivo-pluviales Verhalten übergeht. Dazwischen treten Übergangsformen in Form von winternivalen Regimen auf. Die Gewässer im südlichen Landesteil, insbesondere im Steirischen Tertiärbecken fallen durch ausgeglichene pluvio-nivale und sommerpluviale Regime auf.

3.2 Regionalisierung der Abflüsse

3.2.1 Die Beziehung Abflussspende/Seehöhe in der Steiermark

Aufgrund der sehr heterogenen klimatischen und geologischen Verhältnisse in der Steiermark ist eine Differenzierung in Teilgebiete mit unterschiedlichen Spendenlinien notwendig. Aus der klimatologisch-hydrologischen Analyse der Daten ergaben sich insgesamt 6 Teilgebiete mit unterschiedlichen Spenden-Höhen-Beziehungen:

1. **Weststeiermark Süd:** Südlichster Teil der Koralpe und Remschnigg
2. **Weststeiermark Nord:** Nördliche Koralpe, Südabfall des Steirischen Randgebirges und Grazer Bergland westlich der Mur, Weststeirisches Tertiärbecken
3. **Oststeiermark bis Mürztal:** Oststeirisches Tertiärbecken, Steirisches Randgebirge östlich der Mur, Einzugsgebiet der Mürz mit Ausnahme der nördlichen Teilgebiete in den Nördlichen Kalkalpen
4. Gesamteinzugsgebiet des **Oberen Murtales** bis Bruck a.d. Mur
5. **Niedere Tauern Nord:** Nordabfall der Niederen Tauern und Einzugsgebiet der Palten
6. **Nördliche Kalkalpen**

Die derartig geschätzten Abflussspenden- (in l/s km²) bzw. Abflusshöhenlinien für die Steiermark sind in Fig. 12 für Mittelwasser (Mq) und mittleres Niedrigwasser (MoMNq) dargestellt.

Völlig aus dem Rahmen fallen naturgemäß praktisch alle Teileinzugsgebiete der Nördlichen Kalkalpen. Aufgrund der großen verkarsteten Flächen sind oft sehr große Unterschiede zwischen den orographisch abgegrenzten tatsächlichen Einzugsgebieten gegeben. Aufgrund der falschen Bezugsflächen sind die berechneten Abflussspenden bzw. -höhen je nach den lokalen unterirdischen Entwässerungsrichtungen im Karst in beträchtlichem Ausmaß zu hoch

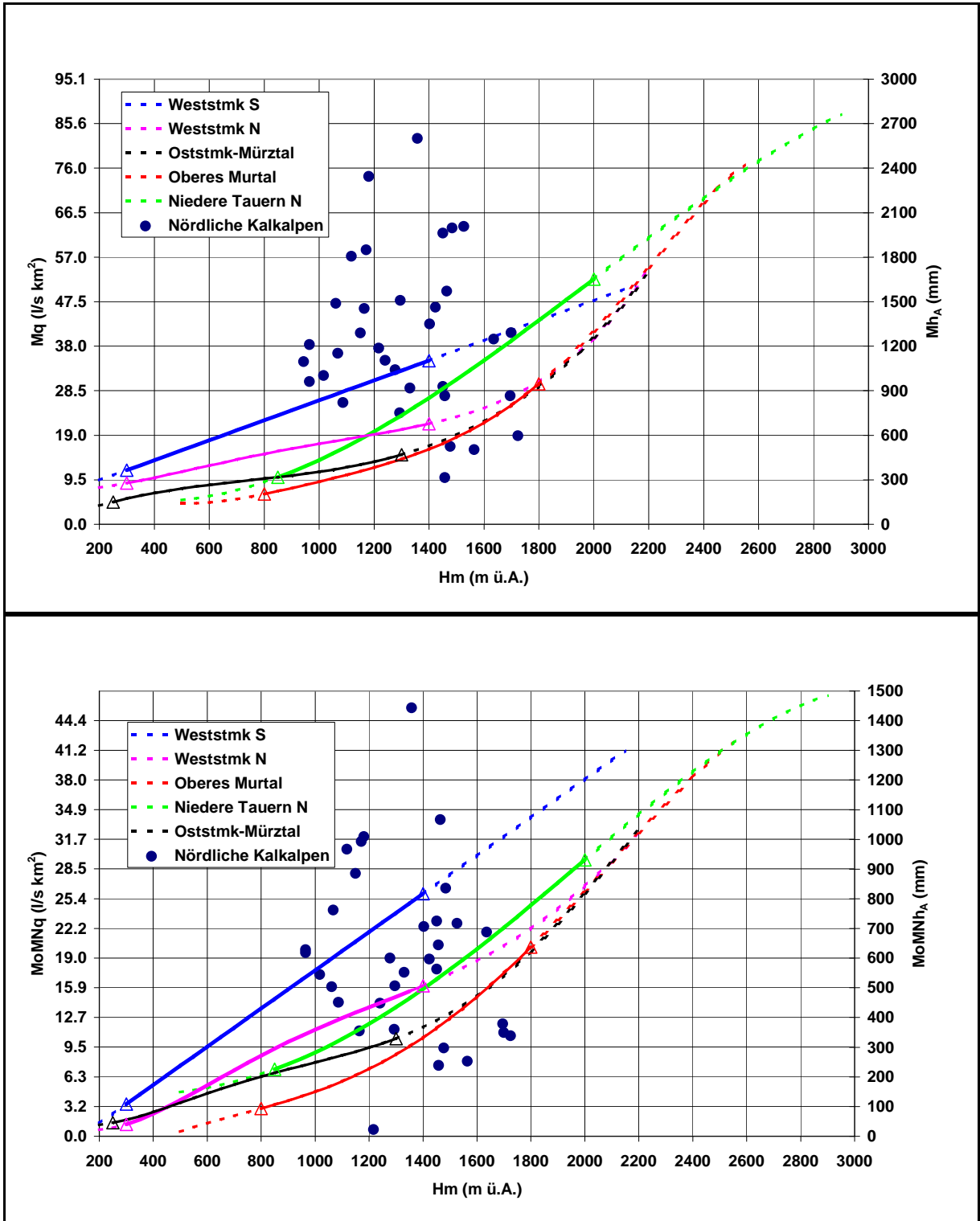


Fig. 12: Beziehung mittlere Seehöhe H_m zu Jahresmittel der Abflussspende ($l/s\ km^2$) für M_q (oben) und $MoMN_q$ (unten) bzw. Abflusshöhe (mm) für M_{h_A} und $MoMnh_A$ für die 6 Teilgebiete der Steiermark. Durchgezogene Linien begrenzt durch Δ : durch Messwerte abgesicherte Bereiche; strichlierte Linien: Extrapolation. $MoMN_q$ bzw. $MoMnh_A$ entspricht nach W. WUNDT (1958) dem langjährigen Mittel der Grundwassererneubildung und somit bei ausgeglichener Wasserbilanz dem Grundwasserabfluss.

oder zu gering (vgl. Abweichung der Punkte von den Spendenlinien der übrigen Teilgebiete in Fig. 12). Aufgrund der weitgehend nicht ausreichend genau abschätzbaren unterirdischen Einzugsgebiete lassen sich somit die Abflussspenden des Teilgebietes der Nördlichen Kalkalpen nicht mathematisch als Funktion der Seehöhe schätzen.

3.2.1.1 Karten der Abflusshöhen der Steiermark

Auf Basis der ermittelten Höhenbeziehung der Abflussspenden 6 definierter Teilgebiete wurden die zugehörigen Abflussspenden bzw. -höhen des Zeitraums 1971 bis 1995 für Mittelwasser M_q und mittleres Niedrigwasser $MoMn_q$ geschätzt und somit Linien gleicher Abflussspende interpoliert. Sie sind aus Gründen besserer Vergleichbarkeit mit den Karten der Jahresniederschlagssummen (Fig. 1 bis Fig. 3) und der Evapotranspiration (Fig. 4, Fig. 5) in Fig. 13 und Fig. 14 als Flächen gleicher Abflusshöhen in mm/Jahr dargestellt. Für die großflächig verkarsteten Gebiete der Nördlichen Kalkalpen sind sie nur als auf die Teileinzugsgebietsflächen zwischen den Abflussmessstellen bezogene Differenzen dargestellt.

3.2.1.1.1 Abflusshöhen der Steiermark bei Mittelwasser

Die Karte der Jahresmittel der Abflusshöhen der Steiermark in Fig. 13 belegt das sehr heterogene Bild der hydrologischen Verhältnisse in der Steiermark und spiegelt weitgehend die sehr unterschiedlichen klimatologischen und hydrogeologischen Bedingungen in den Landschaften wider.

Als „abflussärmstes“ Gebiet zeigt sich vor allem das Oststeirische Tertiärbecken mit Abflusshöhen zwischen 150 und rund 300 mm pro Jahr entsprechend Spenden von 4,6 bis rund 10 l/s km². Die Abflusshöhen übersteigen auch im Oststeirischen Randgebirge und Mürztal nur in den höchstgelegenen Gebieten 600 mm.

Deutlich höher sind sie im Bereich der Koralpe (vor allem Südteil) – Gleinalm, wo noch ein stärkerer Einfluss mediterraner Wetterlagen gegeben ist.

Das Obere Murtal liegt aufgrund seiner inneralpiner Position in Bezug auf die Niederschläge leeseitig und ist daher in den tieferen Bereichen durch sehr geringe Abflusshöhen charakterisiert. Nach Norden steigen diese dann aber sehr steil in die Niederen Tauern an, deren Nordabfall in den Kammbereichen (allerdings gemäß Fig. 12 extrapolierte) Abflusshöhen von weit über 2000 mm pro Jahr (über 80 l/s km²) erreicht. Hier ist eine starke Diskrepanz zu den Niederschlägen gegeben, die mit 1400–1600 mm deutlich darunter liegen. Im Bereich der Nördlichen Kalkalpen ergibt sich naturgemäß aufgrund der rein orographischen Abgrenzung

ein extrem heterogenes Bild, das je nach unterirdischen Entwässerungsverhältnissen im Karst durch Defizite oder Überschüsse geprägt ist (vgl. auch Fig. 12). Dazu kommen beträchtliche Fehler durch die Differenzbildung zwischen Pegeln an den größeren Gerinnen, einige Gebiete sind dadurch nicht bewertbar.

3.2.1.1.2 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist von zahlreichen Faktoren wie Niederschlag, Verdunstung, Geländeneigung, Exposition, Vegetation, Boden abhängig, die bei großmaßstäblichen Untersuchungen nicht alle ausreichend genau erfasst werden können. Das MoMNQ-Verfahren nach WUNDT ermöglicht eine relativ einfache Abschätzung der Grundwasserneubildung aus den langjährigen mittleren monatlichen Niedrigwasserwerten, wenn Porengrundwasserabflüsse an der Pegelmessstelle vernachlässigbar klein sind. Die Ergebnisse sind in Form einer Karte der Grundwasserneubildung in Fig. 14 dargestellt. Auch diese Karte zeigt ein sehr heterogenes Bild der hydrologischen Verhältnisse in der Steiermark. Als „abflussärmstes“ Gebiet sind das West- und Oststeirische Tertiärbecken mit Neubildungsraten von großteils unter 100 mm bis sogar unter 50 mm pro Jahr entsprechend Spenden von unter 1 bis ca. 3 l/s km² erkennbar. Ähnlich gering sind sie an den Talflanken des Oberen Murtales.

Gunstzonen bezüglich der Grundwasserneubildung sind wiederum die höheren Bereiche der Koralpe – Gleinalm und der Niederen Tauern, insbesondere der luvseitige Nordteil. In letzterem steigen die Neubildungsraten auf 1200–1400 mm in den Kammlagen an. Diese Bereiche sind also bezüglich ihrer Wasserhöflichkeit als Gunstzonen zu betrachten, ebenso wie die niederschlagsreichen Karstgebiete der Nördlichen Kalkalpen, in denen sich aufgrund der rein orographischen Abgrenzung der Teileinzugsgebiete ein sehr heterogenes Bild ergibt, das je nach unterirdischen Entwässerungsverhältnissen im Karst durch Defizite oder Überschüsse geprägt ist (vgl. auch Fig. 12).

3.2.1.2 Regionalisierung der Speicherfähigkeit

Im Rahmen von Untersuchungen zur Speicherfähigkeit von Typusgesteinskomplexen der Steiermark wurde anhand von 16 kleineren Einzugsgebieten in geologisch sehr unterschiedlichen Gebieten das Auslaufverhalten untersucht. Es zeigte sich einerseits eine deutliche Beziehung zur Geologie, wie aus den Typusrezessionen in Fig. 15 ersichtlich, und andererseits eine signifikante Abhängigkeit der charakteristischen Ausfließzeit K_c von der Grundwasserneubildung, geschätzt als $MoMnH_A$ (Fig. 16). Auf Basis der Karte der

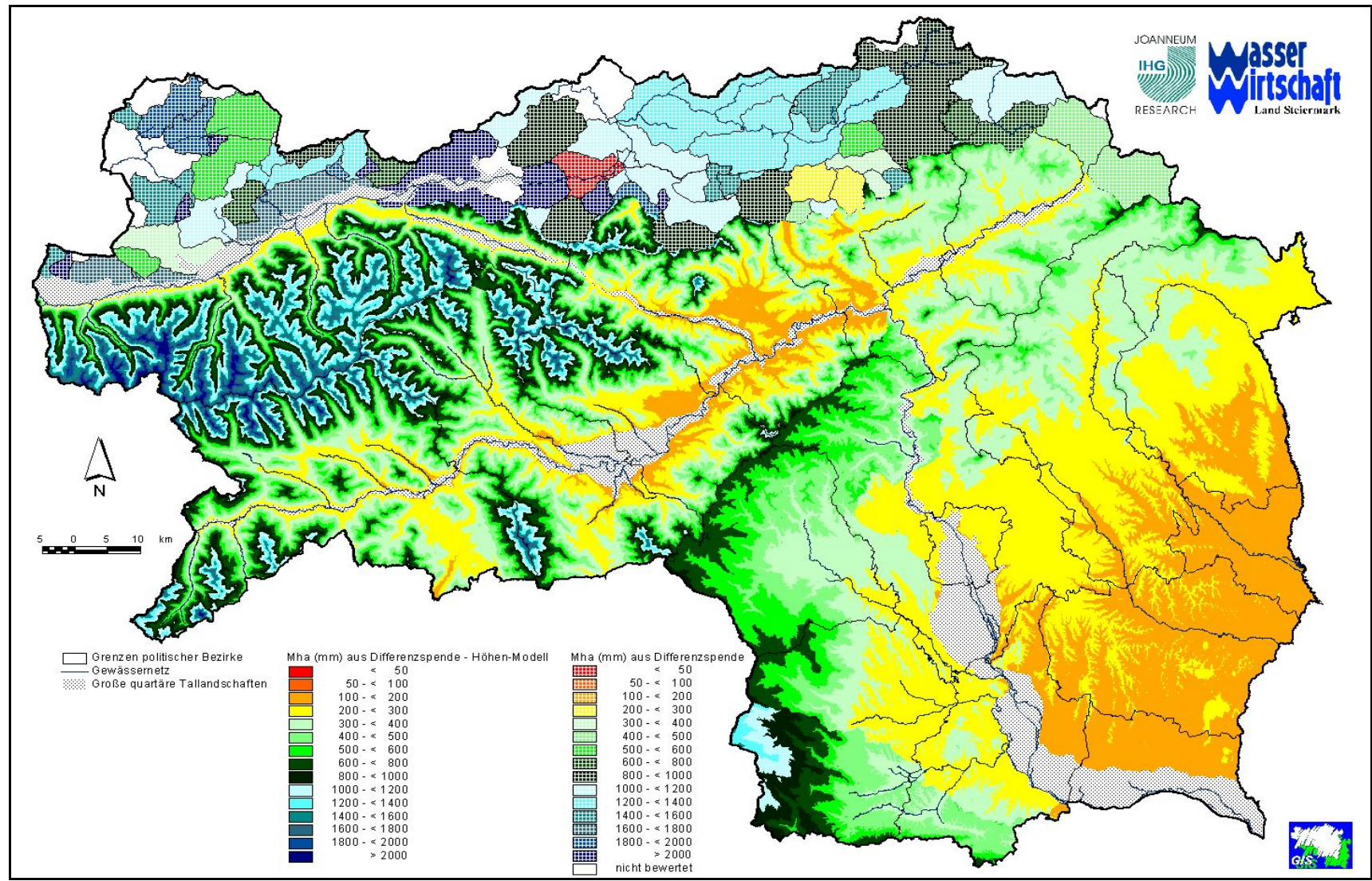


Fig. 13: Wasserversorgungsplan Steiermark: Karte der Abflusshöhen der Steiermark Jahresmittel Mh_A für den Zeitraum 1971 bis 1995.

46. Seite links vakat

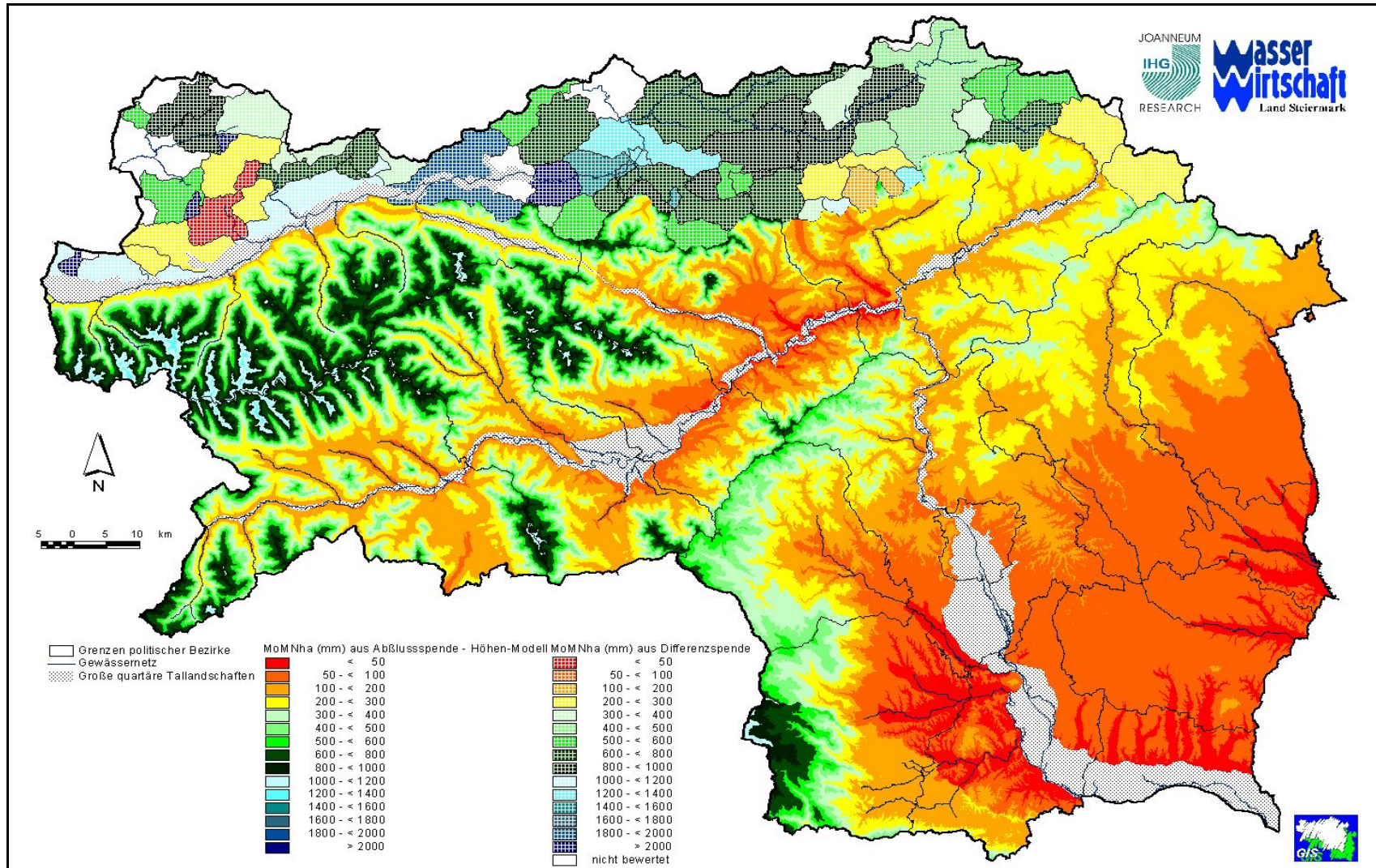


Fig. 14: Wasserversorgungsplan Steiermark: Karte der Abflusshöhen der Steiermark Jahresmittel 1971 bis 1995 für MoMn_A (= Mittelwert

aller Monats-NQ, entspricht der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung nach W. WUNDT, 1958).

48. Seite links vakat

Grundwasserneubildung (Fig. 14) lassen sich für die großflächig nicht verkarsteten Gebiete der Steiermark mit Ausnahme der Porengrundwasserfelder in den quartären Talfüllungen die charakteristischen Ausfließzeiten und frei ausfließbaren Reservoirvolumina abschätzen. Die Ergebnisse sind in Fig. 17 und Fig. 18 dargestellt. Es sind sehr deutlich die Defizitgebiete des West- und Oststeirischen Tertiärbeckens erkennbar, in denen einerseits geringe Volumina unterirdisch gespeichert sind und andererseits auch aufgrund der steilen Abflussrezessionen sehr kurze charakteristische Ausfließzeiten gegeben sind. Längere Trockenperioden bewirken in diesen Gebieten sehr schnell extreme Niedrigwasserabflüsse. Die höchsten Grundwasserreserven sind in den höheren Bereichen der Niederen Tauern und der Koralpe gespeichert.

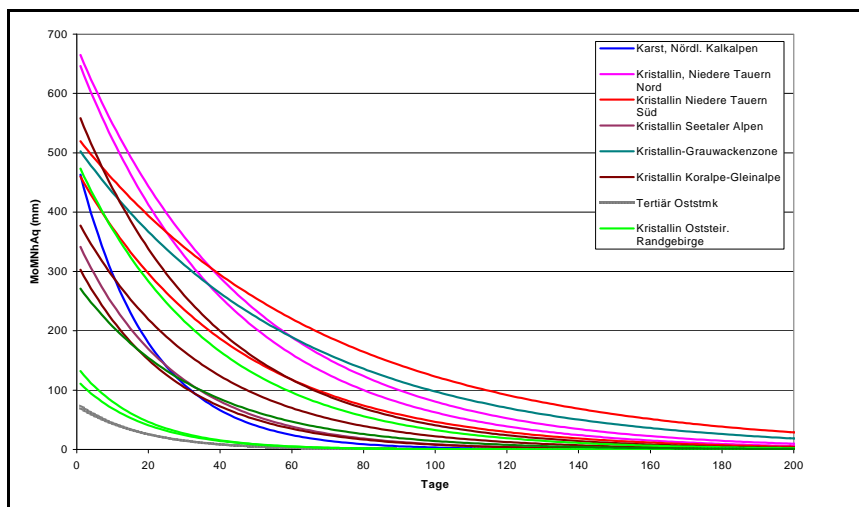


Fig. 15: Typusrezessionskurven ausgewählter Einzugsgebiete der Steiermark.

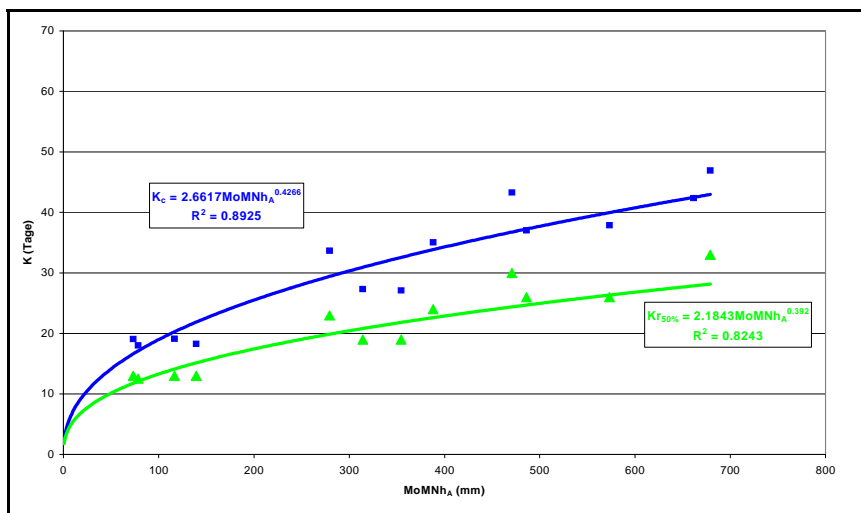


Fig. 16: Zusammenhang zwischen der Grundwasserneubildung der Auslaufzeit (K_C = charakteristische Ausfließzeit, $K_{50\%}$ = Ausfließzeit zum Zeitpunkt, an dem 50 % des Reservoirvolumens ausgeflossen sind).

50. Seite links vakat

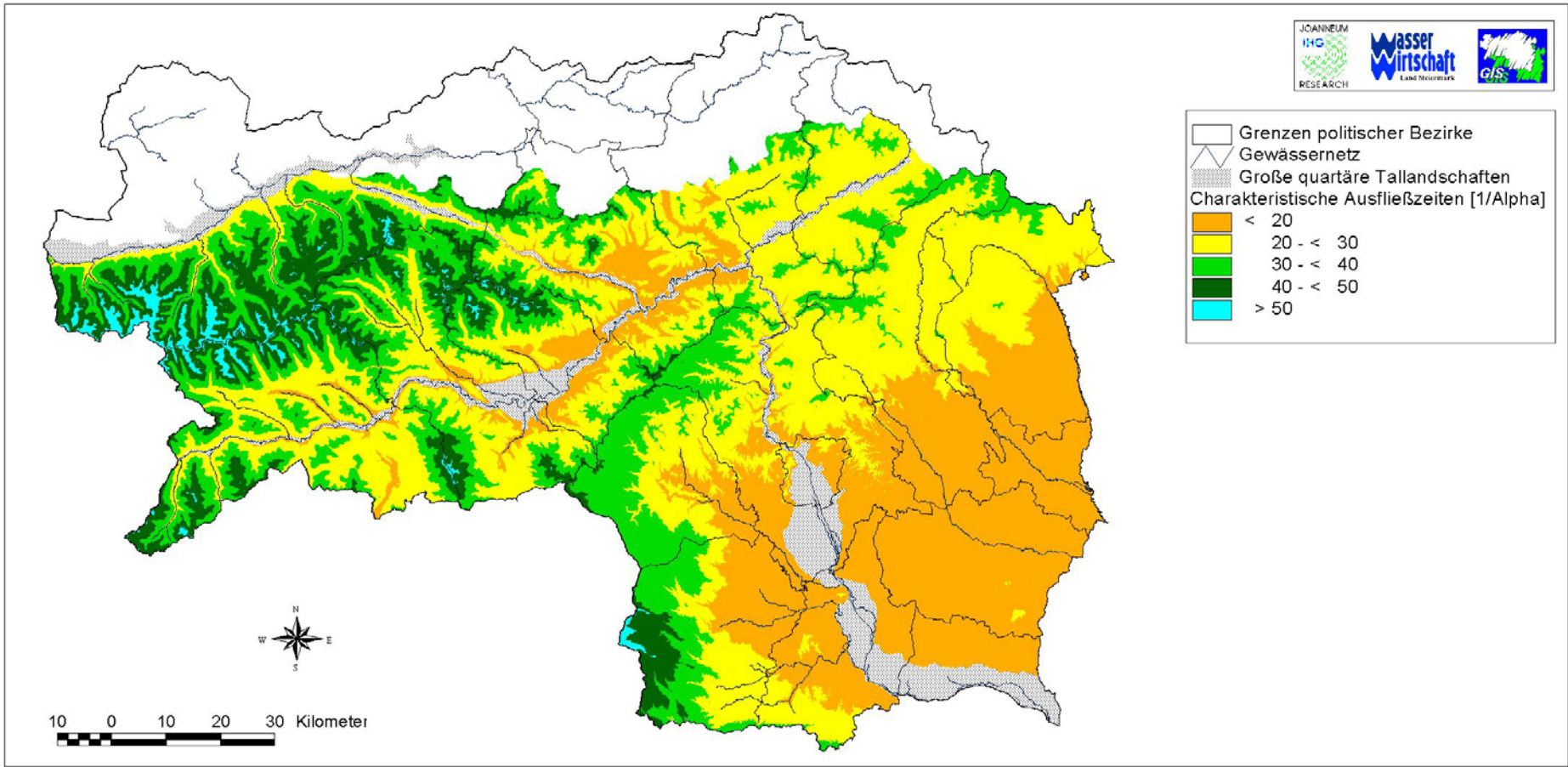


Fig. 17: Charakteristische Ausfließzeiten in Tagen ab MoMnQ.

52. Seite links vakat

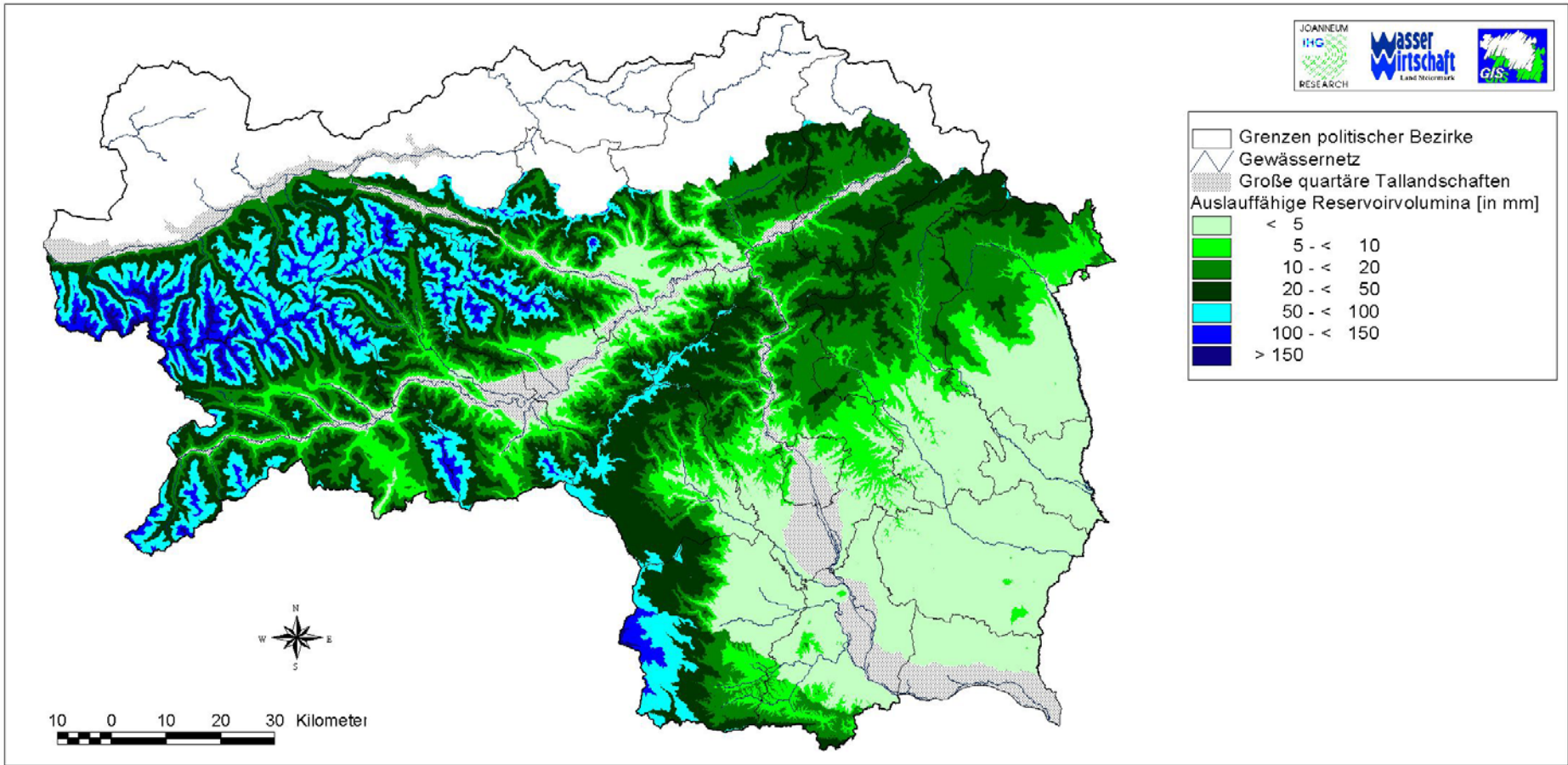


Fig. 18: Frei ausfließbare Grundwasserreservoirvolumina in mm.

54.seite links vakat

3.2.2 Abschätzung der Wasserbilanz

Für die Abschätzung der Wasserbilanz wurde die Steiermark, basierend auf der Landschaftsgliederung, in 8 Großeinheiten unterteilt (Fig. 19), ausgeklammert wurden die bedeutenderen quartären Talfüllungen:

1. Nordabfall der Niederen Tauern
2. Niedere Tauern Süd und südliches Einzugsgebiet der Oberen Mur westlich Scheifling
3. Südabfall der Eisenerzer Alpen, Grauwackenzone an der Nordflanke des Mürztales
4. Seetaler Alpen – Gleinalpe – Koralpe – Remschnigg
5. Oststeirisches Randgebirge bis Nordabfall zur Mürz
6. Weststeirisches Tertiärbecken
7. Oststeirisches Tertiärbecken
8. Nördliche Kalkalpen

Wie aus Fig. 19 ersichtlich, unterscheiden sich diese sehr stark bezüglich der Höhenbereiche und der durch Satellitenbildklassifizierung ermittelten Landnutzung, natürlich auch bezüglich der geologischen und klimatologischen Verhältnisse. Dementsprechend heterogen zeigt sich auch das Bild der durch Verschnitt im GIS erarbeiteter Rasterdaten für Niederschlag, Verdunstung, Mittelwasserabfluss und Grundwasserneubildung ermittelten mittleren Wasserbilanz (Zeitraum 1971 bis 1995) der Großeinheiten (Fig. 20).

Bezüglich der Grundwasserreserven wird deutlich, dass die Hauptwasserhöffigkeitsgebiete der Steiermark vor allem in den großen Karstgebieten der Nördlichen Kalkalpen und im Kristallin der Niederen Tauern und Gleinalpe – Koralpe zu suchen sind, während im Ost- und Weststeirischen Tertiärbecken aufgrund der geringeren Niederschläge und der geringdurchlässigen, schlecht speichernden Tertiärsedimente deutlich Mangelgebiete bezüglich des Grundwasserdargebots vorliegen (Fig. 20).

Allerdings sind auch innerhalb der Großeinheiten aufgrund der hohen örtlichen Variabilität der Niederschläge, der Höhenunterschiede und der naturgemäß sehr heterogenen geologischen Verhältnisse große Unterschiede gegeben, die bei wasserwirtschaftlichen Detailplanungen zu berücksichtigen sind.

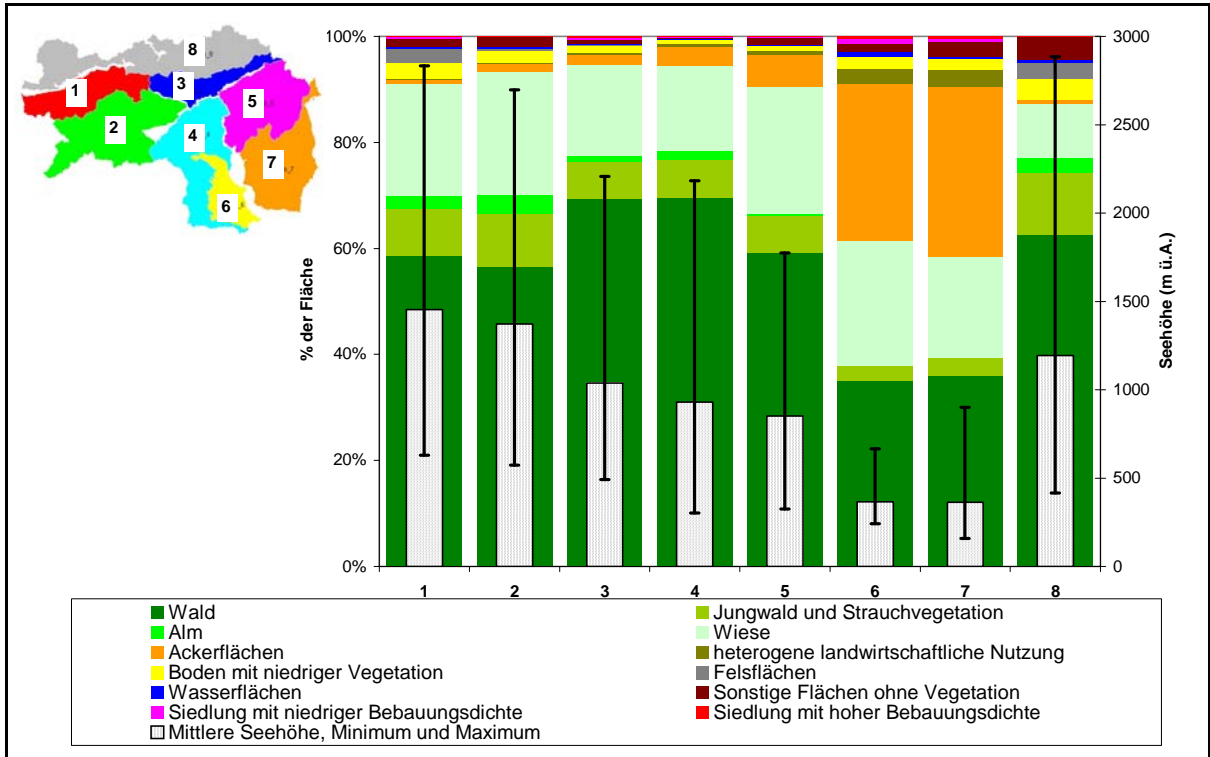


Fig. 19: Landnutzung und Höhenbereiche der 8 Großeinheiten der Steiermark.

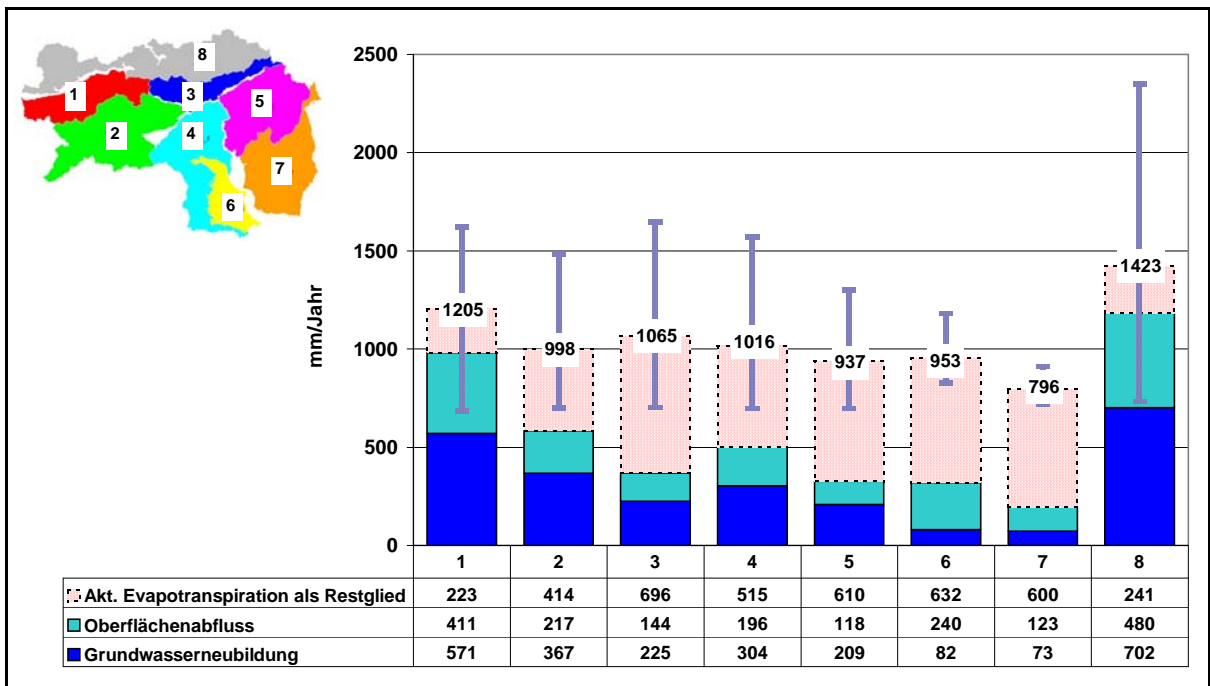


Fig. 20: Mittlere Jahressummen der Niederschläge mit örtlicher Variationsbreite und mittlere Wasserbilanz 1971 bis 1995 (in mm/Jahr) der 8 Großeinheiten der Steiermark.

4 Erfassung und Bewertung der Wasservorkommen

4.1 Karst- und Kluftwasservorkommen

4.1.1 Allgemeines

Eine Trennung zwischen Wasservorkommen aus Karstaquiferen und solchen aus Kluftaquiferen ist bei der geologisch kleinräumigen Strukturierung der Steiermark im strengen Sinne meist nicht möglich. In vielen Fällen sind nur Festgesteinsbereiche mit überwiegendem Karstcharakter und solche mit überwiegendem Kluftcharakter zu finden.

Nicht weiter behandelt werden in diesem Abschnitt Wässer, die in konsolidierten tertiären Lockersedimenten mit karbonatischen Komponenten und/oder karbonatischer Matrix auftreten.

Echte Kluftwasservorkommen im Sinne einer fehlenden lösungsbedingten Erweiterung sind in der Steiermark vor allem mit den großflächig nicht verkarsteten kristallinen Landschaftseinheiten der Niederen Tauern, Gurktaler Alpen, Seetaler Alpen und des Steirischen Randgebirges verknüpft. Weitere kleinflächigere Vorkommen gibt es in den nicht verkarsteten Gebieten der Grauwackenzone und des Grazer Berglandes.

Aufgrund des im Vergleich zum Karst bedeutend geringeren nutzbaren Kluftvolumens zeichnen sich diese Gebiete im allgemeinen durch ein stark differenziertes Oberflächengewässernetz und eine Vielzahl von Quellen aus, die aber nur selten Schüttungen von mehreren Litern pro Sekunde aufweisen. Meist sind als Hauptwasserspeicher die Verwitterungsauflage oder quartäre Lockersedimente verantwortlich, sodass in vielen Fällen nicht von reinen Kluftwasservorkommen gesprochen werden kann.

4.1.2 Karstwasservorkommen der Nördlichen Kalkalpen

Die Karstwasservorkommen des steirischen Teils der Nördlichen Kalkalpen sind zur Gänze in den Verwaltungsbezirken Liezen, Leoben, Bruck a.d. Mur und Mürzzuschlag gelegen.

4.1.2.1 Dachstein

Die großen Karstquellen liegen im Norden des Gebirgsstockes zum überwiegenden Teil auf oberösterreichischem Gebiet oder im Ostteil auf steirischem Gebiet des Gebirgsstockes. Auf der Südseite sind die Austritte durch die Position der stauenden Gesteine der Grauwackenzone und der kalkalpinen Basis sehr hoch gelegen.

Eine erste qualitative Untersuchung in einem größeren hydrogeologischen Rahmen, welche darüber hinaus hauptsächlich geogen bedingte Variabilitäten erfassen konnte, wurde in den Jahren 1991 bis 1992 durchgeführt. Ergebnis der Untersuchung war, dass der „Allgemeinzustand“ der Quellwasserqualität zwar nicht schlecht ist, einzelne Problembereiche jedoch, wie punktuelle bakterielle Belastungen, Einflüsse, die sich aus verstärkter touristischer Nutzung der Landschaft ergeben und nicht zuletzt aus der Luftimmission, bestehen.

4.1.2.2 Totes Gebirge und Warscheneckgebiet

Mehrere Markierungsversuche in diesem Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen zeigten weit-räumige Karstwasserszusammenhänge auf und ergaben ein ähnliches Entwässerungsmuster wie im Dachsteingebiet. Auf Basis dieser Untersuchungen erfolgten schließlich erste Überlegungen zu einem Schutz- und Schonkonzept, zunächst für die Tauplitzalm und schließlich für den gesamten Bereich des Toten Gebirges einschließlich des Warscheneckgebietes.

Im Bereich des gesamten Warscheneckgebietes wurden rasch entwässernde Systeme nach Süden zum Weißenbachtal bei Liezen bzw. im Norden zu den großen Quellen des Stodertales und zum Pießling-Ursprung nachgewiesen. Vor allem im Bereich des Südrandes des Warscheneckgebietes zwischen Pyhrnpaß und Weißenbach bei Liezen bzw. des gesamten Grimmingbachtals gibt es, bedingt durch die Hochlage der Werfener Schichten bzw. durch anlagernde Gosasedimente, zahlreiche Schichtstau- bzw. Schichtgrenzquellen. Karstwasseraufschlüsse, die auf den obertriadischen Kalkblock (Hochangern – Weißenbacher Mauern), dort aber mit zum Teil sehr starken Austritten in konzentrierten Punkten (Lexgraben am Pyhrn, Weißenbach-Ursprung, Rotenkogel-Quelle, Sagtümpel) beschränkt sind.

In den zum Hauptstock des Toten Gebirges vorgelagerten Gebieten nördlich Bad Mitterndorf, Krunglbach, Zauchenbach, Riesenbach, Salza, Rödschitzbach und Kainisch Traun konnte an insgesamt 106 Quellen ein Gesamtdargebot von 75 l/s (Oktober 1977) bis 273 l/s (August 1978) nachgewiesen werden.

4.1.2.3 Grimming

Die meisten Quellen dieses Bereiches sind als Karst- und Kluftquellen anzusprechen, wobei Gesteine der Grauwackenzone bzw. Reste eines fluviatilen Tertiärs Stauerfunktion für die Austritte im Süden ausüben. Die Austritte auf der Nordseite liegen im vorgelagerten Dachsteinkalksockel des Grimming, als Stauer sind anlagernde glazigene Sedimente der Umrahmung des Mitterndorfer Beckens zu bezeichnen.

4.1.2.4 Bosruck, Haller Mauern und Buchsteingruppe

Die Entwässerung der karbonatischen Bosruckscholle ist im Wesentlichen nach Norden gerichtet, da im Süden eine hochliegende Schürze aus Werfener Schichten die Karstentwässerung hemmt. Der Karstcharakter der Haller Mauern ist trotz des Aufbaues aus Dachsteinkalken in der Kammregion eher als untergeordnet zu bewerten, insbesondere da sich kein Plateaukarst ausbilden konnte. Einen größeren Umfang nehmen Dolomite ein, sodass vielmehr mit der Ausbildung von Kluftwasseraquiferen zu rechnen ist.

Im Ostteil der Haller Mauern ab der Kreuzmauer bis zur Buchau und nach Norden bis zur steirisch-oberösterreichischen Landesgrenze liegt ein Gesamtdargebot von etwa 140 l/s vor.

In der Buchsteingruppe (einschließlich Tamischbachturm und Reiflinger Scholle) kann ein Gesamtdargebot von insgesamt ca. 4,2 m³/s nachgewiesen werden. Das Gebiet weist nur in der zentralen Buchsteingruppe Reste eines Plateaukarstes auf, der gesamte Süd- und Südwestsockel ist hauptsächlich aus Dolomiten aufgebaut und bildet dort im Wesentlichen Kluftwasseraquifere aus.

4.1.2.5 Ennstaler Alpen und Gesäuse

In den zum mesozoischen Kalkalpin zählenden Gebirgsstöcken des Reichensteins, des Hochtors, des Lugauer und des Ennseck kann von einem Gesamtdargebot von ca. 825 l/s ausgegangen werden. Ein Teil des Dargebotes wird insbesondere durch große Karstquellen im Bereich des Hartelsgrabens gedeckt.

An der Ostbegrenzung der Gesäuseberge im Bereich Ennseck – Waaggraben – Gebiet Lugauer-Ost besteht der größte Teil der Quellenvorkommen aus solchen mit ausgesprochenem Karsttypus. Im Bereich des Kaiserschild mit mitteltriadischen Wettersteinkalken und Wettersteindolomiten treten in der Gipfelregion vereinzelte verkarstete Plateaureste mit Dolinen und kleineren Höhlen auf. Die Entwässerung des Massivs erfolgt ausschließlich unterirdisch, wobei auf der Ostseite im Erzbachtal als bedeutendste Quelle die Kalte Fölz zu finden ist. Aufgrund der teilweise dolomitischen Aquifergesteine ist neben einer Karstwasser- auch mit einer erhöhten Kluftwasserführung zu rechnen.

4.1.2.6 Voralpe und Göstlinger Alpen

Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen sowie Ergebnisse von Markierungsversuchen erbrachten ein zum Teil zusammenhängendes System der Karstentwässerung, welches zur Enns als hydraulisch wirksamem Vorfluter orientiert ist. Quellaustritte aus

dem Gebiet Hainbachstein-Wiesberg an der großen Ennsschlinge bei Altenmarkt zeigten zum Teil sehr hohe durch Haselgebirge bedingte Sulfatwerte.

Das Gebiet der Göstlinger Alpen mit dem Hochkar entwässert zum Teil über aktive Wasserhöhlen (Palfauer Wasserloch) auf die steirische Seite zur Salza.

4.1.2.7 Hochschwab

Im Bereich des Hochschwab liegen eine größere Anzahl von Großaustritten (wie Pfannbauerquelle, Kläfferquellen, Brunngrabenquellen, Siebenseequellen, Höllquellen, Schwarze Lacke bei Eisenerz, Quellen der Hinterseeau östlich des Leopoldsteiner Sees, Gsollquellen, Ilgner Quellen) vor.

4.1.3 Karstwasservorkommen des Zentralalpinen Mesozoikums

4.1.3.1 Schladminger Tauern

Die leicht metamorphen Bänderkalke sind in den höheren Anteilen zum Teil stark verkarstet und bilden zahlreiche Oberflächenkarstphänomene (Dolinen, Karstschächte) und auch Höhlen aus. Das Gebiet entwässert zum größten Teil unterirdisch in Richtung Preuneggatal. Als bedeutendste Austritte sind die großen Karstquellen auf der Ursprungalm zu nennen, die allerdings nicht genutzt sind.

4.1.3.2 Semmering

Ein Markierungsversuch 1989 im Thalgraben erbrachte eine Verbindung zu den Karstquellen des Raxenbachtals entlang talparalleler Strukturen.

4.1.3.3 Wechselgebiet

Im äußersten Osten der Steiermark, auf der Nordwestseite des Wechsel nordöstlich Rettenegg, noch zu den Gesteinen des Semmeringmesozoikums zählend, befinden sich als oberste Auflage der kristallinen Basis einzelne Karbonatschollen, die zum Teil typischen Karstcharakter aufweisen. Die Karstaquifere sind dort in ihrer räumlichen Ausdehnung sehr begrenzt; an bedeutenderen Karsterscheinungen ist die Seeriegelhöhle zu nennen. Eine Einzelquelle in der Größenordnung von 20 l/s ist bekannt, ansonsten zahlreiche kleinere. Weitere Geländebereiche besitzen keine Austritte an der Oberfläche, sondern vermutlich in den tieferen Untergrund entwässernde Vorkommen.

4.1.3.4 Oberes Mürztal

Im oberen Mürztal (Bereich Kapellen, Hirschbach, Raxenbach) konnte im Zuge einer Quellaufnahme im Jahre 1981 ein Gesamtdargebot von 57,6 l/s zum Zeitpunkt der Aufnahme nachgewiesen werden. Etwas weniger als 50 % der Quellen treten in den Karbonatserien aus und stellen zum Teil typische Karstquellen dar. Neben den Kalken sind auch in den Quarziten Aquifere ausgebildet; als Stauer sind die unterlagernden Phyllite anzusehen. Die Quellen mit eindeutigem Karstcharakter sind dabei hauptsächlich um Kapellen und im Raxenbachtal verbreitet.

4.1.4 Karstwasservorkommen in paläozoischen Karbonatgesteinen

Die in diesem Abschnitt angeführten Karstwasservorkommen gehören der Grauwackenzone, dem Murauer, dem Gurktaler und dem Grazer Paläozoikum an.

4.1.4.1 Rottenmanner Tauern

Im Gebiet der Rottenmanner Tauern treten Karbonatzüge im Bereich der Grauwackenzone auf. Insgesamt sind diese in den karbonen Triebensteinkalken gelegenen Vorkommen nicht näher untersucht, sodass eine Bewertung vorerst unterbleiben muss.

Ein nicht sehr bekanntes Karstwasservorkommen beherbergt der Zug der Hohen Trett südlich Liezen und östlich Aigen im Ennstal mit einem konzentrierten Austritt in der Quelle von Aigen am Fuße des Rastanger.

4.1.4.2 Ennstaler und Eisenerzer Alpen

Nördlich der Palten-Liesing-Furche und westlich der Präbichl-Furche konnten in den paläozoischen Anteilen der Ennstaler und Eisenerzer Alpen zahlreiche Quellen aufgenommen werden, die zum Teil Karstquellen mit bedeutendem Dargebot darstellen. Hier seien besonders Teile der Wasserversorgung von Eisenerz mit den Klammquellen und von Trofaiach mit der in Form eines Hangstollens gefassten Reitingquelle mit einer Schüttung bis mehr als 100 l/s genannt. Auf der Südseite des Johnsbachtales konnten 278 Quellen mit einem Gesamtdargebot von rund 347 l/s aufgenommen werden, wobei jedoch der größte Teil keine Karstquellen darstellt. Den Hauptteil des Dargebotes bestreitet die Kölblquelle am Fuße eines Karbonatzuges. Die Quelle entwässert den bis an die orographische Wasserscheide im Süden reichenden Bereich einschließlich des sogenannten Bärenkars.

4.1.4.3 Mürztaler Alpen

Ein schmaler Zug von Karbonaten begleitet das Mürztal auf der Nordseite zwischen dem Fuschtgraben und dem Veitschtal. Die noch zum Semmeringmesozoikum zählenden Gesteine sind zum Teil stark mit Dolinen- und Höhlenbildungen verkarstet. Im Bereich Fuschtgraben-Mürzgraben löst sich der Zug in isolierte Karbonatschollen auf, weiter östlich ist er als geschlossenes Band jedoch nur mit maximal 500–600 m Breite bis an den Veitschbach zu verfolgen. Von 28 als relevant aufgenommenen Quellen im Karbonatgestein erreichen die größten Schüttungen zwischen 6–7 l/s.

4.1.4.4 Murauer und Gurktaler Paläozoikum

Im Bereich des Murauer und Gurktaler Paläozoikums, zum Teil Bundesland übergreifend, wurden Quellen des verkarsteten Grebenzenstocks untersucht, deren bedeutendste der Zeuschacher Ursprung ist.

4.1.4.5 Grazer Paläozoikum

Innerhalb des Grazer Paläozoikums treten zum Teil isolierte Karstgebiete auf, wie östlich der Mur der Bereich des Hochlantsch bei Mixnitz, der Tannebenstock zwischen Peggau und Semriach, der Bereich des Schöckelgebietes und des Weizer Berglandes mit den beiden Durchbruchstälern der Raabklamm und der Weizklamm. Auf der Westseite der Mur zählen dazu noch der schmale Bereich zwischen Deutschfeistritz und Frohnleiten, der Plabutsch-Buchkogelzug und die Westumrahmung des Köflach-Voitsberger Beckens.

Im Gebiet des Hochlantsch kann von einer Gesamtschüttung von etwa 330 l/s ausgegangen werden. Der Karstentwässerung zum Murtal hin über den Kaskadenfall unterhalb der bekannten Bärenschützklamm kommt dabei besondere Bedeutung zu. Die unterirdische Anreicherung des Kaskadenfalles erfolgt u.a. auch aus dem Gebiet der Teichalm.

Im Süden anschließend folgt das Schöcklkalkgebiet der Tanneben, welches ein typisches Waldkarstgelände darstellt. Das in das Höhlensystem der Lurgrotte entwässernde Semriacher Becken stellt dabei den nichtverkarsteten Teil des Einzugsgebietes dar. Neben einigen wenigen unbedeutenden Quellen entwässert das gesamte Gebiet einerseits durch den Höhlenbach der Peggauer Lurgrotte, andererseits und zum größeren Teil durch die am Fuße des Südflügels der Peggauer Wand gelegene Hammerbachquelle. Direkte Übertritte aus dem Karst in den Grundwasserkörper des Murtales konnten bisher nicht nachgewiesen werden. Die aus dem Karst entwässernden Mengen von knapp 300 l/s stellen zwar eine potentielle

Nutzungsmöglichkeit dar, die allerdings aufgrund anthropogener Beeinflussung aus dem Bereich des Semriacher Beckens bisher nicht weiter verfolgt wurde.

Der am Nordrand von Graz sich nach Osten erstreckende Schöckelzug, der in den Waldkarst des Garracher Waldes mit der Raabklamm und in das Weizer Bergland überleitet, stellt ein Areal mit zahlreichen Karsterscheinungen mit Dolinen und begehbaren Höhlen und einer Reihe von Karstwasservorkommen dar, von denen einige für Versorgungen genutzt sind. Die bedeutendste Karstquelle des Gebietes, der Andritzursprung am Südwestrand des Bergzuges ist zwar an seinem Austritt nicht für Versorgungszwecke gefasst, doch besteht seit 1943 bachabwärts eine Bachfassung, die temporär zur Anreicherung des Andritzer Grundwasserfeldes für die Grazer Wasserversorgung genutzt wird. Karstwasseraustritte im Bereich von Stattegg in der Nähe des Andritzursprungs sind bereits genutzt, sodass darin kein größeres Entwicklungspotential zu sehen ist. Durch die Hochlage des Radegunder Kristallins und der auflagernden Schieferserien bestehen am Kontakt zu den Schöcklkalken sogenannte Schichtgrenzquellen, die weitgehend Trinkwasserzwecken zugeführt sind. Weiter nach Osten im Gebiet der Raabklamm treten in der Klamm einige Karstquellen aus, von denen nur wenige genutzt sind. Die größten Karstquellvorkommen sind dort die genutzte Gösserquelle und die bisher ungenutzte Finzenquelle. Im Gebiet von Weiz sind insbesondere die starken Karstquellen der Weizer Wasserversorgung am Süden der Weizklamm zu nennen.

4.1.5 Karstwasservorkommen karbonatischer Einschaltungen im Kristallin

Im Bereich des steirischen Randgebirges, insbesondere im Gebiet der Koralpe und der Gleinalpe sind langgestreckte Einschaltungen von Marmoren zu finden, in denen in Einzelfällen ausgeprägte Karsterscheinungen auftreten. Dazu zählen vor allem im Gebiet um Salla relativ stark schüttende Karstquellen. Als Einzugsgebiet derartiger Karstquellen ist nicht nur der engere Bereich des Marmors sondern darüber hinausgehend der Bereich des umgebenden Kristallins zu sehen.

4.1.6 Karstwasservorkommen in tertiären Karbonatgesteinen

Die in der Umrahmung des Grazer Feldes vereinzelt Vorkommen tertiärer Kalke, meist Leithakalke des Badenien, weisen Anzeichen zumindest episodischer, heute vermutlich tieferliegender Karstwasserzirkulation auf. Linksseitig der Mur zeigt das Grünkarstgebiet des Sukduller Karstes aktive Schwinden. Eine allfällige Infiltration in die Grundwasserfelder südlich der Wildoner Enge kann nach den festgestellten Mengen als untergeordnet bezeichnet werden.

Gegenüber von Afram ragt noch der Wildoner Buchkogel mit seinen verkarsteten Leithakalken auf, wobei aufgrund der Kleinheit des Vorkommens mit keinen nennenswerten über die bisherige Nutzung hinausgehenden Wasservorkommen gerechnet werden kann.

4.1.7 Kluftwasservorkommen

4.1.7.1. Niedere Tauern

Diese stellen aufgrund der vergleichsweise hohen Niederschläge und hohen mittleren Grundwasserneubildungsraten von im Schnitt im Norden 571 mm, im Süden 377 mm den wohl bedeutendsten Grundwasserspeicher im Kristallin der Steiermark dar.

Größere Quellen sind aber meist an quartäre Lockersedimente (insbesondere Schuttfüllung von Karen) gebunden. Von besonderem wasserwirtschaftlichen Interesse sind die Blockgletscherquellen, die eine beachtliche Quellschüttung aufweisen. Messungen an der bisher größten bekannten Blockgletscherquelle in den Niederen Tauern, der Hochreichhartquelle, der in 1520 m ü.A. gelegene Ursprung des Stubalmbaches (Seckauer Tauern) zeigt zwischen 38 und 330 l/s.

4.1.7.2. Steirisches Randgebirge

Im Bereich der Koralpe und des Oststeirischen Randgebirges herrschen durchwegs kleinere Quellen mit Schüttungen von wenigen Litern pro Sekunde im Maximum vor. Als Grundwasserspeicher ist vor allem die Verwitterungsdecke und der Schutt in Karen (Koralpe) von Bedeutung. In manchen Gebieten können Kluftquellen aus Marmoren Schüttungen von bis über 5 l/s aufweisen, wenn das hydrographische Einzugsgebiet über das orographische hinausreicht.

Die mittleren Grundwasserneubildungsraten liegen zwischen 209 mm (Oststeirisches Randgebirge) und 304 mm (Koralpe). Durch die Verteilung auf eine Vielzahl von Quellen ist aber die überregionale wasserwirtschaftliche Bedeutung stark reduziert.

4.1.7.3. Gurktaler Alpen – Seetaler Alpen

Die Verhältnisse sind ähnlich wie in den Niederen Tauern, mit allerdings etwas geringerer Grundwasserneubildung. Untersuchungen in den Seetaler Alpen zeigen die Bedeutung des Moränenschutts in Karen und von Blockgletschern für die Speicherung von Grundwasser.

Aber auch hier ist im Falle zukünftiger Nutzungsplanungen von Quellen zu berücksichtigen, dass oft gerade im Falle größerer Quellschüttungen eine Alimentation durch Oberflächenge-

rinne möglich ist und vor allem hinsichtlich des Schutzes auf die Möglichkeit kurzfristiger Kontaminationen zu achten ist.

4.1.8 Bemerkungen zur Qualität

In diesem Abschnitt wird eine grobe Übersichtsbewertung der Wasserqualität, die auf die in der Steiermark im Rahmen der Wassergüteerhebungsverordnung durchgeführten Untersuchungen an 65 ausgewählten Quellen beruht, aufgezeigt.

In Fig. 21 sind die Mittelwerte der Karbonathärte der Quellwässer dargestellt. Sie spiegeln in der Hauptsache erwartungsgemäß die geologischen Verhältnisse wider, mit sehr weichen Wässern im Kristallin (mit Ausnahme einer Aufhärtung bei Kontakt mit Marmoren) und mittelharten Wässern in den Karbonatgebieten der Nördlichen Kalkalpen und des Grazer Berglandes.

Fig. 22 und Fig. 23 zeigen die Mittelwerte bzw. Überschreitungen der Richtzahl für Nitrat als Parameter für den Einfluss aus der Landwirtschaft. Es ist deutlich ersichtlich, dass beim Quellmessnetz im Gegensatz zu den intensiv genutzten Porengrundwasserfeldern kaum qualitative Probleme hinsichtlich des Einflusses aus der Landwirtschaft bestehen.

Nur bei wenigen Quellen in tieferen Lagen kommt es zu Überschreitungen der Richtzahl, sämtliche Mittelwerte liegen unterhalb des Grenzwertes von 50 mg/l.

Auch bei Sulfat sind kaum erhöhte Werte feststellbar (Fig. 24 und Fig. 25), die wenigen erhöhten Mittelwerte und Überschreitungen der Richtzahl sind fast immer geogen bedingt.

Aus Detailuntersuchungen lässt sich ableiten, dass die gegebenen extensiven Bewirtschaftungsweisen, wie sie in den steirischen kristallinen Gebirgen und Mittelgebirgen vorherrschen, zwar einen Einfluss auf die Qualität des Grundwassers ausüben, dieser aber kein großes Risiko einer chemischen Kontamination darstellt. Zusätzlich minimieren die relativ hohen Verweilzeiten das Risiko einer plötzlichen Verschmutzung oder bakteriologischen Kontamination, solange durch eine ordnungsgemäße Fassung der Quellen die direkte Infiltration von Meteorwässern in unmittelbarer Nähe des Quellaustrittes verhindert wird.

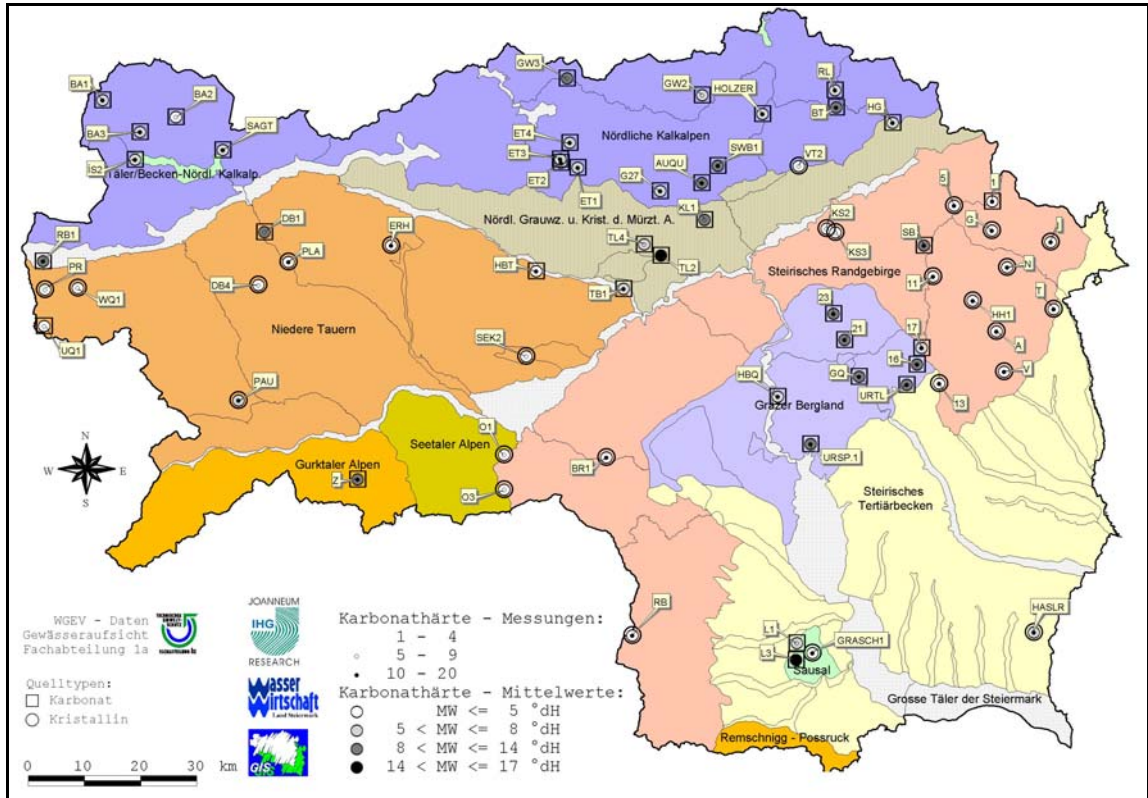


Fig. 21: Mittelwerte der Karbonathärte (°dH) und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.

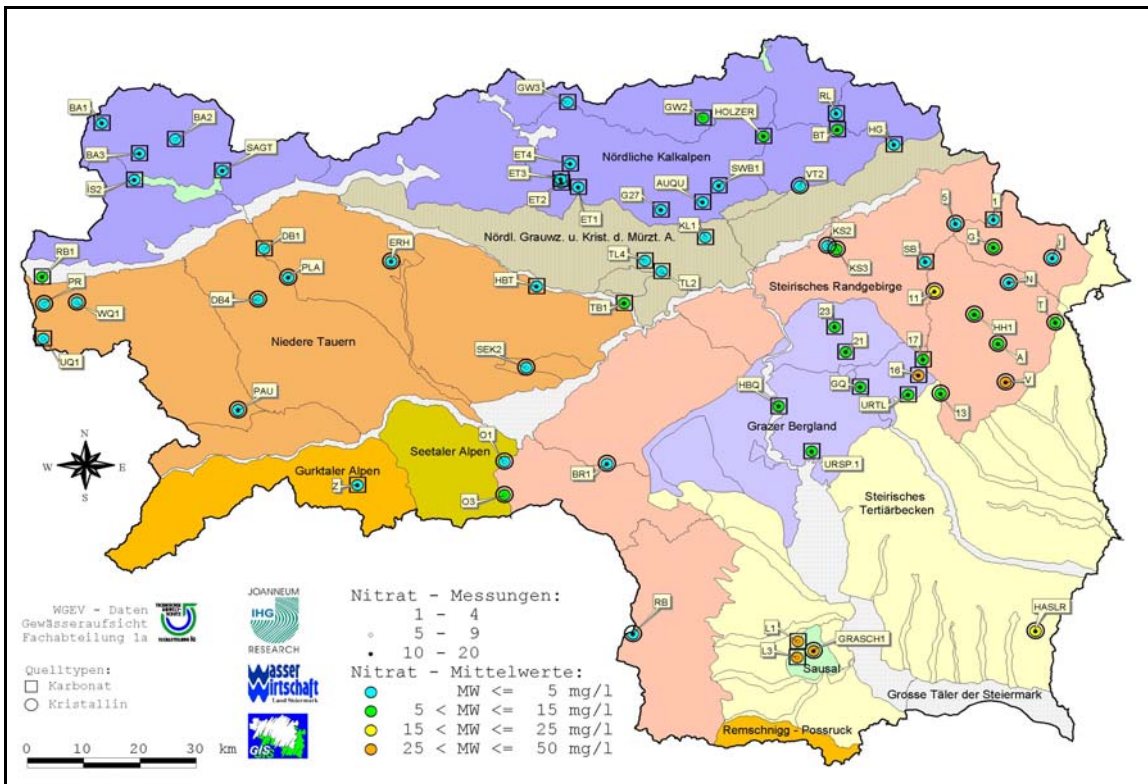


Fig. 22: Mittelwerte der Nitratkonzentration (in mg/l) und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.

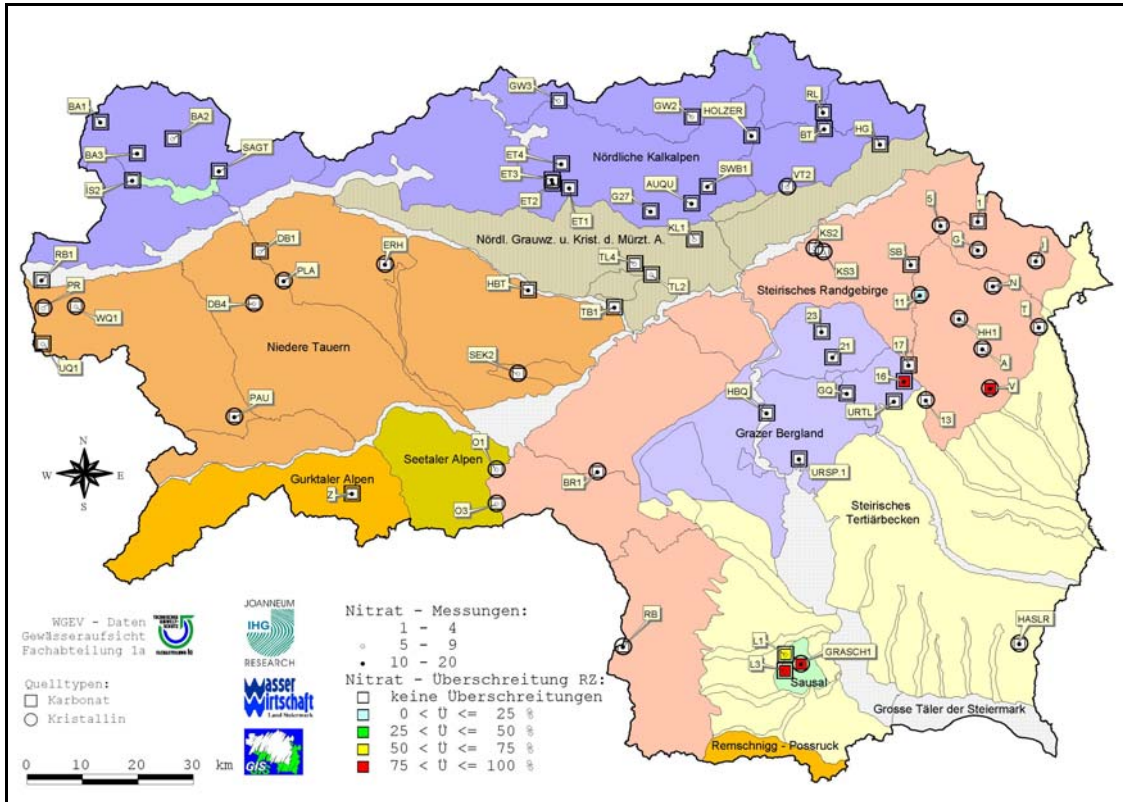


Fig. 23: Überschreitungshäufigkeit der Richtzahl für Nitrat und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.

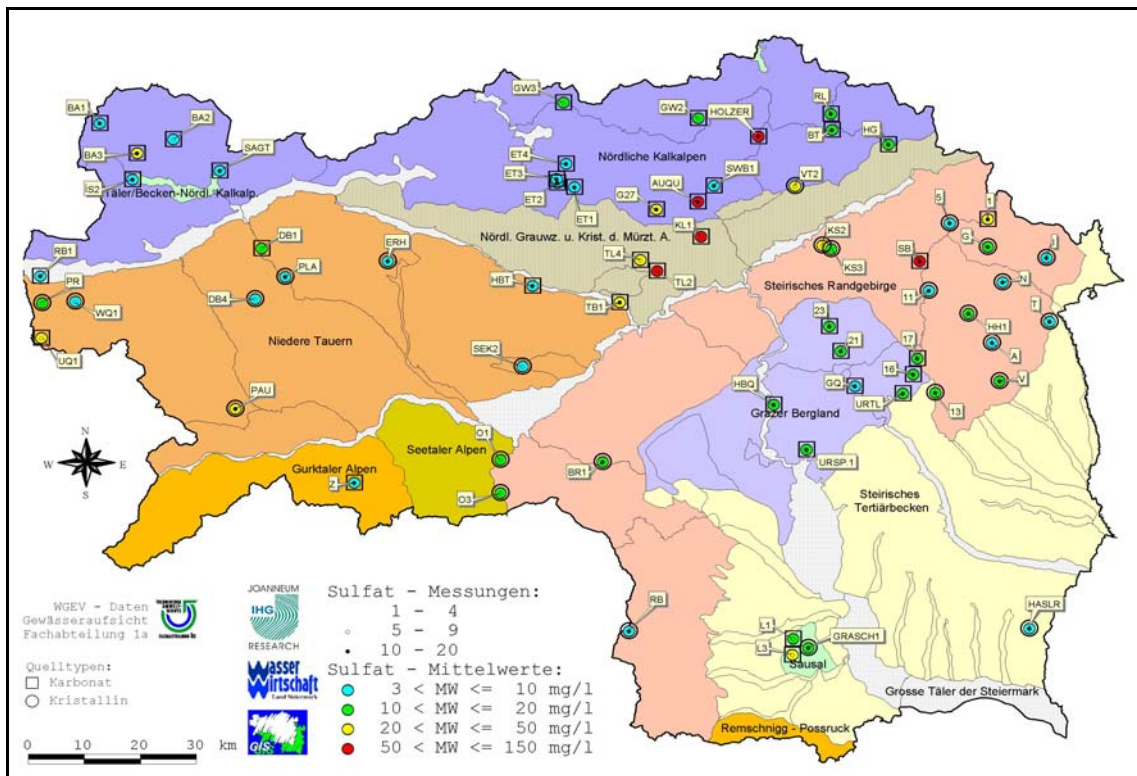


Fig. 24: Mittelwerte der Sulfatkonzentration (in mg/l) und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.

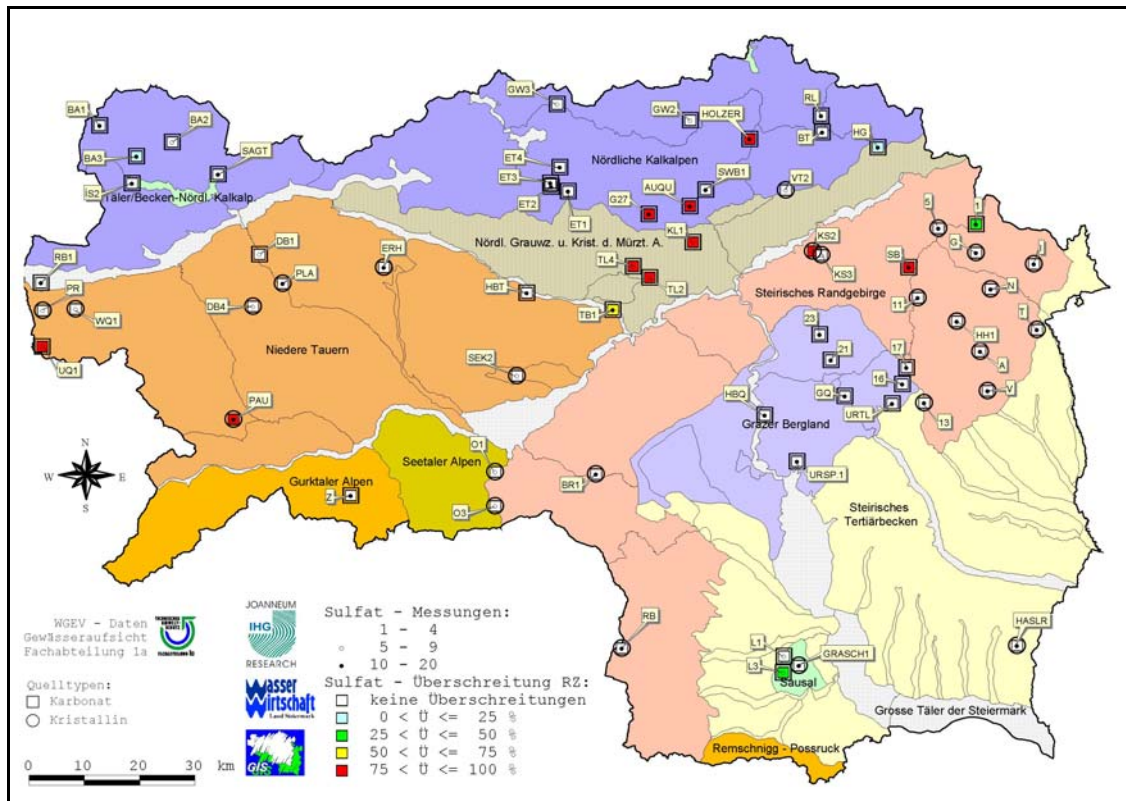


Fig. 25: Überschreitungshäufigkeit der Richtzahl für Sulfat und Anzahl der untersuchten Proben des Quellbeobachtungsnetzes Steiermark.

Völlig anders geartet sind die Fließ- und Transportprozesse in vielen Karstgebieten der Steiermark. Ein Teil der infiltrierenden Meteorwässer gelangt über großlumige Karstgefäße sehr rasch zum Quellaustritt, was einerseits meist sehr hohe Schüttungsschwankungen und andererseits aber auch entsprechende Schwankungen der chemischen Parameter verursacht. Die kurzen Verweilzeiten dieses Anteils bewirken das häufige Auftreten bakteriologischer Kontaminationen, selbst wenn im Einzugsgebiet kaum Gefahrenpotentiale existieren.

Als Beispiel für eine typische Karstquelle ist in Fig. 26 der Jahresverlauf der Schüttung und elektrischen Leitfähigkeit des Wassermannsloches (Schwarze Lacke, Erzbachtal) dargestellt, dessen Einzugsgebiet in den intensiv verkarsteten Wettersteinkalken der Kalten Mauer liegt. Der rasche Abfluss von infiltriertem Niederschlagswasser bewirkt sehr hohe Schwankungen der Schüttung und parallel dazu eine starke Verdünnung, was sich in Rückgängen der Leitfähigkeit niederschlägt.

Deutlich unterschiedlich sind die Eigenschaften von Aquiferen im Dolomitkarst. Das feine Kluftnetz bewirkt eine deutlich bessere Speicherung, höhere Verweilzeiten im Untergrund, geringe Schwankungen der chemischen Parameter und somit kaum das Risiko einer Verkeimung.

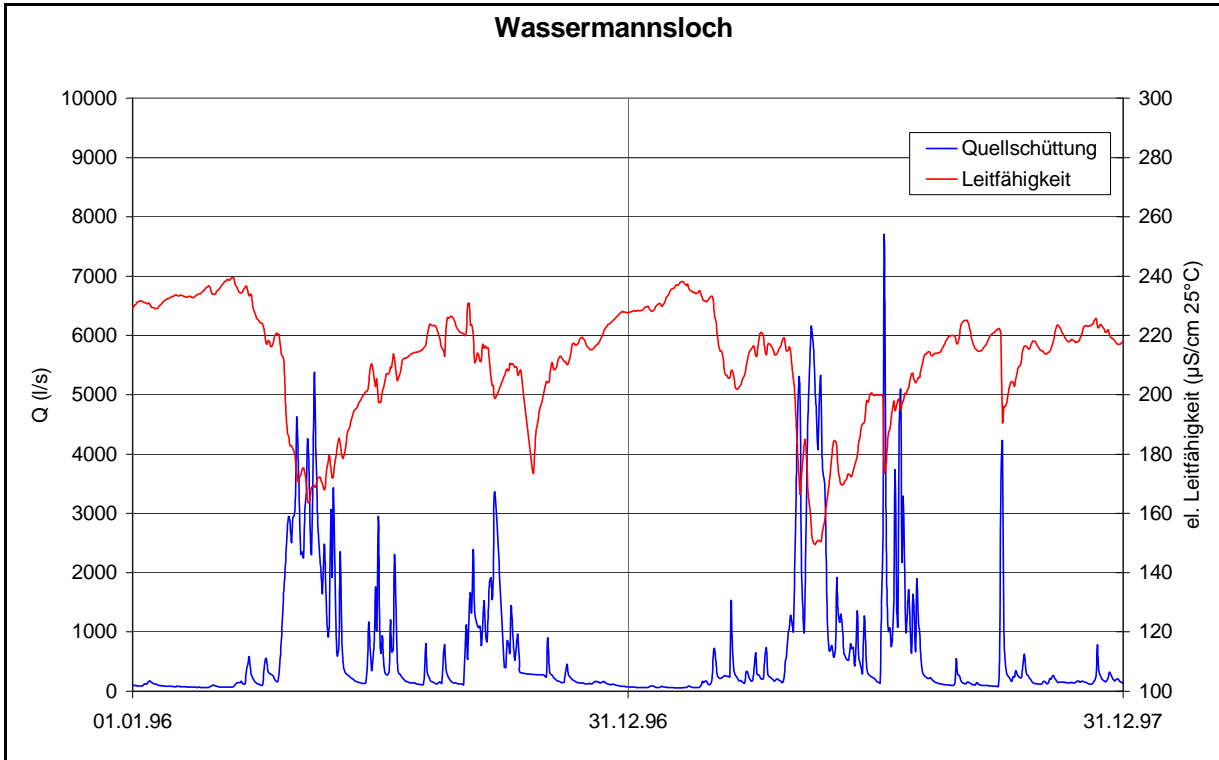


Fig. 26: Tagesmittel der Schüttung und elektrischen Leitfähigkeit der Karstquelle Wassermannsloch (Kalte Mauer – Hochschwab).

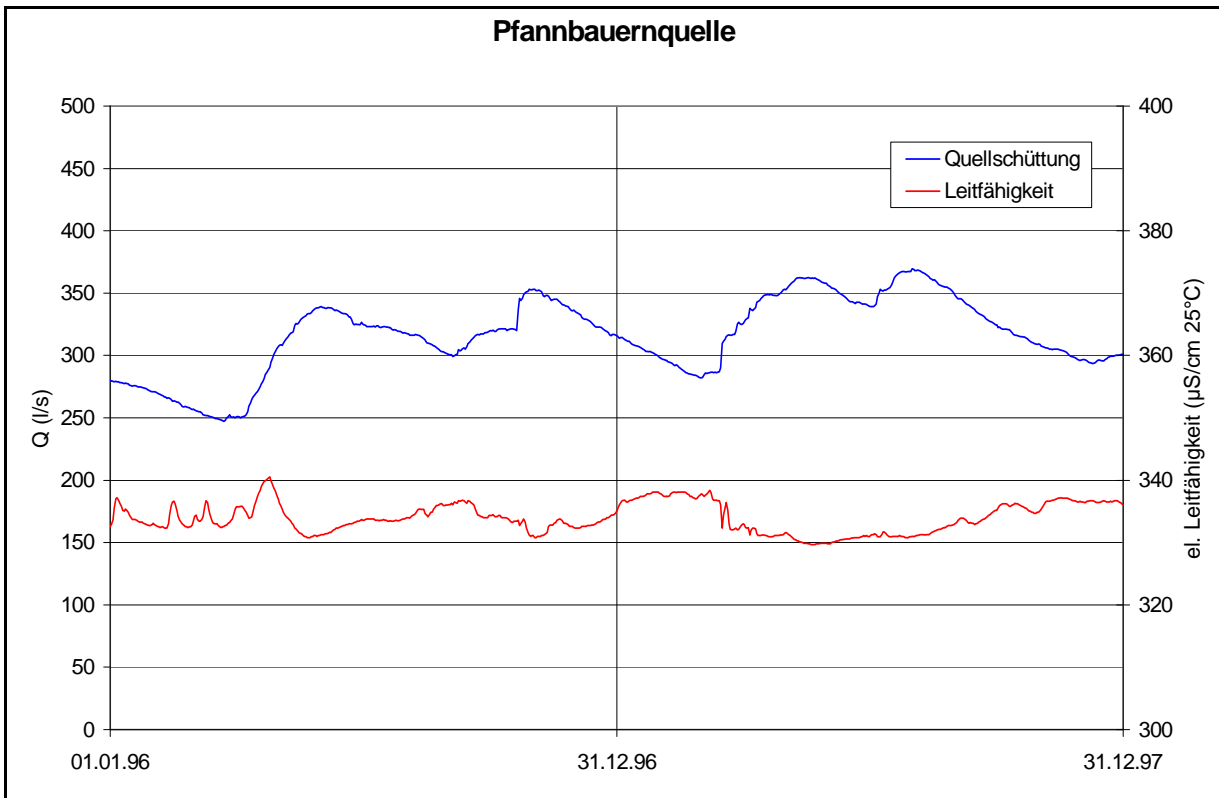


Fig. 27: Tagesmittel der Schüttung und elektrischen Leitfähigkeit der Dolomitkarstquelle Pfannbauernquelle (Zeller Staritzen).

Als Beispiel für diesen Quelltyp sind in Fig. 27 die Ganglinien der Schüttung und Leitfähigkeit der Pfannbauernquelle dargestellt, die ein Einzugsgebiet in Wettersteindolomiten der Zeller Staritzen entwässert.

4.2 Seichtliegende Porengrundwasservorkommen

Die Porengrundwasservorkommen der Steiermark stellen für die Wasserversorgung der Bevölkerung eine bedeutsame Ressource dar, die aufgrund unterschiedlicher hydrogeologischer Rahmenbedingungen in unterschiedlicher Menge und auch in unterschiedlicher Qualität in den verschiedenen Tallandschaften zur Verfügung steht.

Grundsätzlich sind die hier zu diskutierenden Grundwasservorkommen an quartäre Lockersedimente gebundene Aquifere, deren Erschließung aufgrund ihrer meist seichten Lage relativ einfach und kostengünstig und deren Wasserlieferung aufgrund der guten Speicherverhältnisse und der gesicherten Neubildung auch in längeren Trockenwetterperioden als gesichert gelten kann.

4.2.1 Murtal

4.2.1.1 Oberes Murtal

Dieser Abschnitt war während der Kaltzeiten vom Murgletscher erfüllt. Die Endmoräne der jüngsten Vereisung ist westlich von Judenburg bei Grünhübl deutlich erkennbar. Bedeutendere Wasservorräte, die aber noch wenig genutzt werden, sind in den nacheiszeitlichen Tal-schottern unterhalb von Murau zu erwarten. Auf Grund der Wirkung des eiszeitlichen Glet-schers treten hier große Grundwassermächtigkeiten auf. Besonders anzuführen sind die Talabschnitte um **Niederwölz** (Bohrung bis 190 m Tiefe ohne die Felsoberkante zu erreichen), im Bereich größerer Taleinmündungen (Kendlbruck, Predlitz, Stadl a.d. Mur und St. Lorenzen ob Murau), im Raum **Scheifling** (Versuchsbohrung bis zu einer Tiefe von 60 m ohne Erreichen der Felsoberkante) und der Raum **Waltersbach** bei Unzmarkt (Bohrung bis 60 m ohne Erreichen der Felsoberkante).

Aus Fig. 28 wird anhand zweier Beispiele die zeitliche Entwicklung der Grundwasserverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Oberen Murtal ersichtlich.

Das Porengrundwassersystem des oberen Murtales wird durch mehrere kommunale Trinkwasserversorgungsanlagen, wie in Unzmarkt, Murau und Niederwölz genutzt.

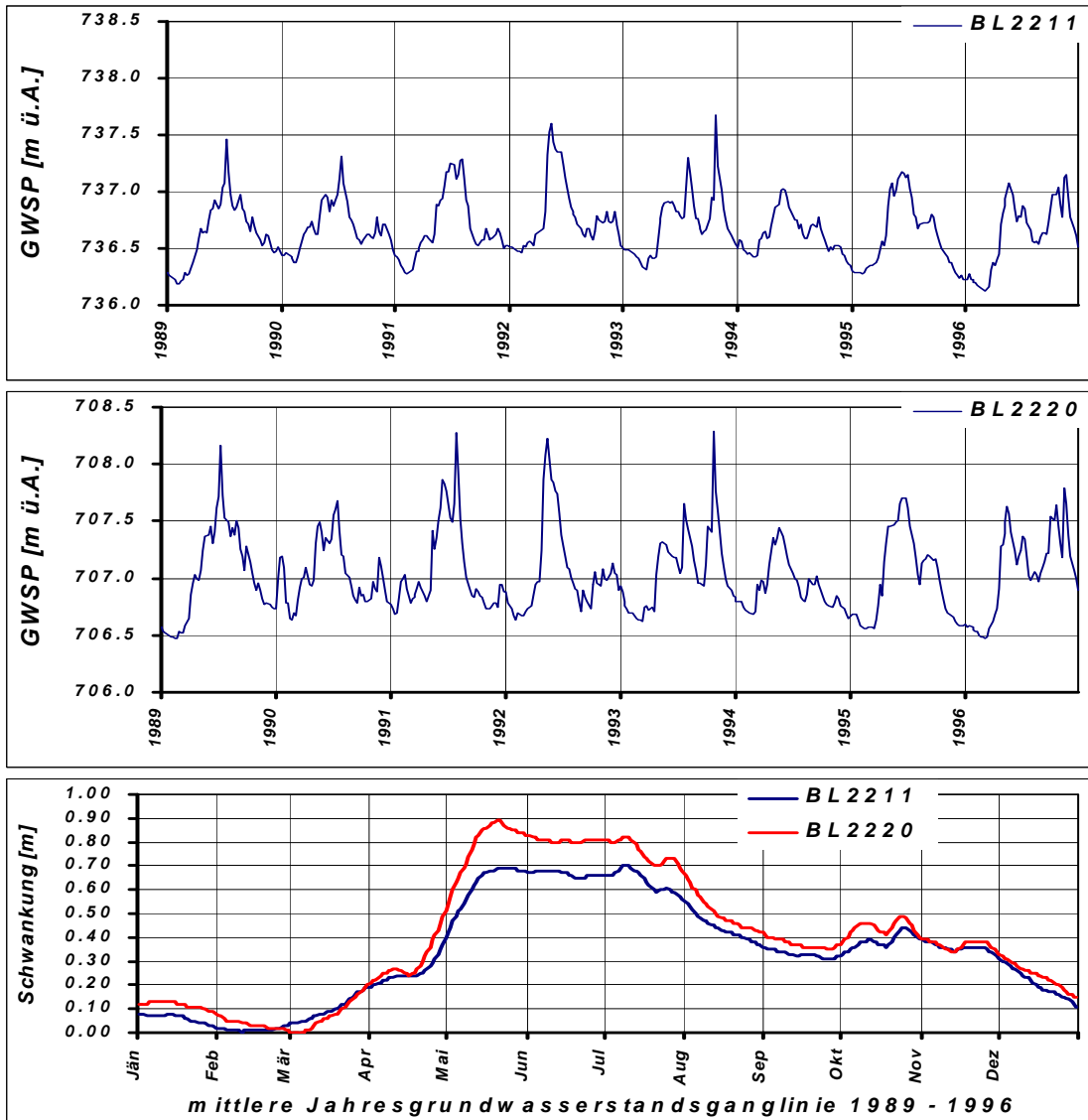


Fig. 28: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Oberen Murtal anhand der Bohrungen BL2211 in Niederwölz und 2220 in St. Georgen von 1989 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an beiden Messstellen im Vergleich.

4.2.1.2 Aichfeld-Murboden

Die **Grundwassersohle** ist durch ein extrem akzentuiertes Relief charakterisiert, das trotz des umfangreichen Bohrprogrammes nicht genauer flächenhaft erfassbar ist. Die Ergebnisse geoelektrischer Untersuchungen zeigen ein stark ausgeprägtes Relief des Grundwasserstauers mit zwei deutlich ausgeprägten Tiefenrinnen, die durch eine Aufwölbung des Untergrundes im Bereich der Murschlinge im Murwald getrennt sind. Die Reliefunterschiede zwischen der Tertiärhochlage des Murwaldes und den in den teritären Untergrund eingeschnittenen Rinnenarmen erreichen Werte bis zu 40 m.

Die flächenhafte Verteilung der **Grundwassermächtigkeiten** im Aichfeld-Murboden ist zur Zeit nur im Bereich Murdorf – Maria Buch – Murwald bekannt. Sie erreichen in Rinnenbereichen Werte bis zu 30 m und gehen im Bereich der Tertiäraufwölbung gegen 0 m zurück. Die **Quartärmächtigkeiten** im gesamten Becken liegen zwischen 20 m und mehr als 60 m.

In Fig. 29 sind Beispiele zur zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse und zum mittleren jährlichen Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Aichfeld-Murboden dargestellt.

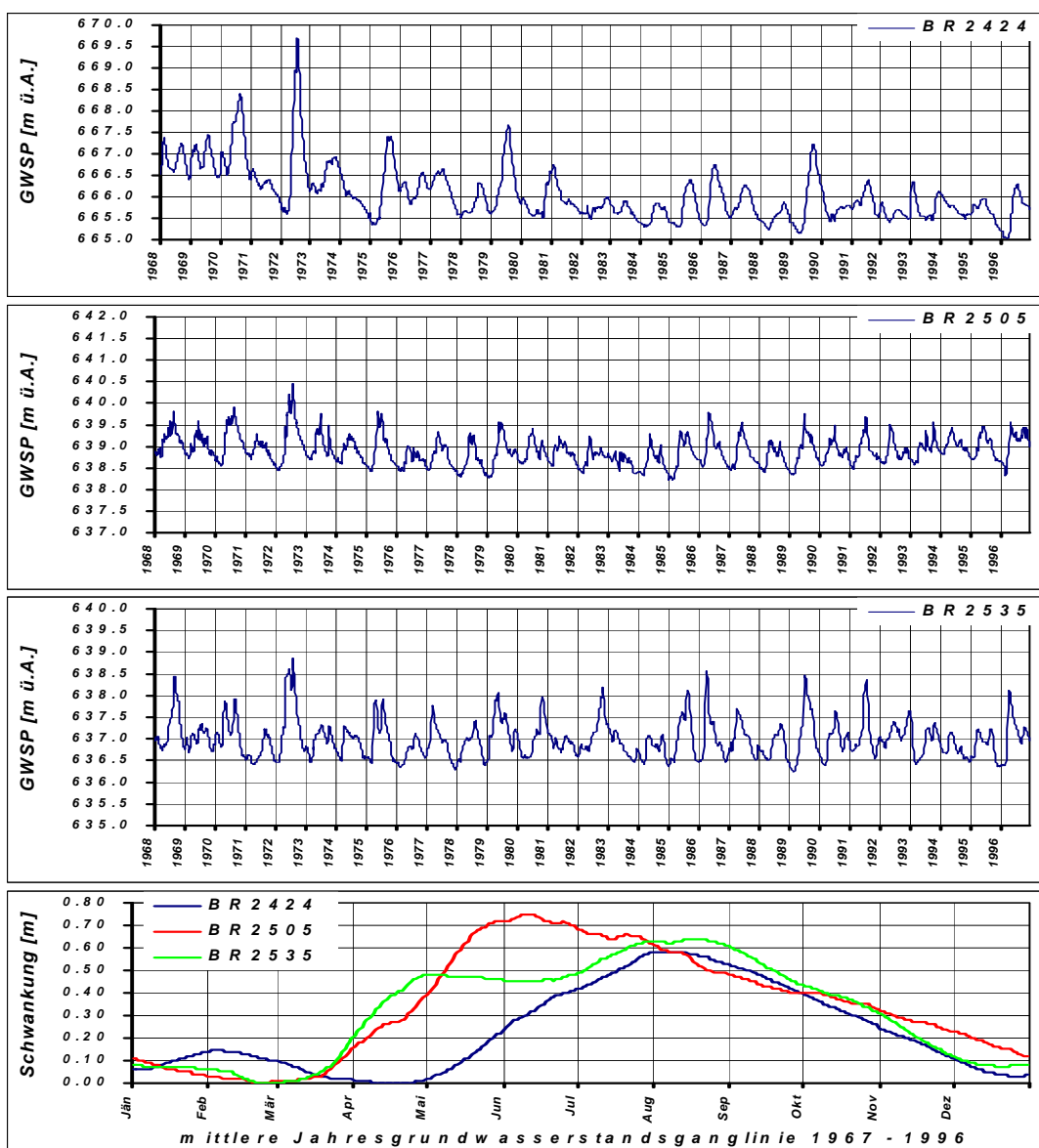


Fig. 29: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Aichfeld-Murboden anhand der Brunnen BBR2424 in Weisskirchen, BR2505 in Lind und BR2535 in Knittelfeld von 1968 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

4.2.1.3 Mittleres Murtal

Das Mittlere Murtal zwischen Knittelfeld und Bruck a.d. Mur gliedert sich durch mehrere Talverengungen in vier größere Teilabschnitte. Es sind dies die Bereiche **Knittelfeld** (östlicher Stadtrand) **bis Feistritz b. K.**, der Abschnitt **Kraubath – St. Stefan o. L.**, **der Bereich St. Michael** und der Abschnitt **Leoben – Bruck a.d. Mur**.

4.2.1.3.1 Knittelfeld bis Feistritz bei Knittelfeld

In diesem Abschnitt wurden 1974 im Bereich Ritzendorf bei St. Margarethen b.K. hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt. Die Lockergesteine weisen eine Mächtigkeit von ca. 17 m auf, darunter bilden tertiäre Schichten in Form von Schluffton den Grundwasserstauer. Auf Grund der unzureichenden Datenlage (Einfluss von Oberflächengewässern, Randzuflüsse, Aquifergeometrie, flächendeckende hydraulische Parameter) können über die Ergiebigkeit dieses Grundwasserfeldes keine derzeit gesicherten Aussagen getroffen werden. Bei ähnlichen hydrogeologischen Verhältnissen wie ober- und unterhalb des Abschnittes sind größere Grundwasserreserven durchaus möglich.

4.2.1.3.2 Kraubath – St. Michael

Das Grundwasservorkommen zwischen **Kraubath** und **St. Stefan ob Leoben** wurde in den 70er Jahren und Ende der 80er Jahre untersucht. Zwischen der Enge von Preg und der Enge bei Kaisersberg wurde durch Bohrungen eine Mächtigkeit der quartären Lockergesteinsfüllung von rund 33 m festgestellt, durch refraktionsseismische Messungen maximale Mächtigkeiten von 40 m erkundet. Die Grundwassersohle besteht überwiegend aus tonigen Schichten des Tertiärs. Das beherrschende Strukturelement im Relief des präquartären Untergrundes ist eine markante Tiefenrinne, die in keinem Zusammenhang mit dem heutigen Murverlauf steht. Schwemmfächer von Seitenbächen stoßen fast bis zur Talmitte vor und sind für die räumliche Lage der Murschlingen verantwortlich. Die Schwemmkegel sind durch äußerst inhomogenen Wildbachschutt aufgebaut. Die Alluvialebenen lassen auf Grund des durchziehenden Flusses die größten Grundwassermengen erwarten. Interaktionen mit der Mur sind wahrscheinlich. Dieses Grundwasservorkommen gestattet eine Nutzung von mindestens 100 l/s. Ein wesentlicher Nachteil gegenüber den günstigen quantitativen Bedingungen besteht in der seichten Lage des Grundwasserspiegels.

Der Bereich **St. Michael** ist durch die Enge von Kaisersberg vom Abschnitt Kraubath bis St. Stefan o.L. begrenzt. Dieses Grundwassergebiet steht im Einfluss des hier ins Murtal einmündenden Liesingtales.

4.2.1.3.3 Leoben bis Bruck a.d. Mur

Die **Mächtigkeit des Grundwasserleiters**, einschließlich der ungesättigten Zone, liegt zwischen 12 und 20 m. Der GW-durchströmbare Teil unterliegt noch deutlich geringeren Schwankungen. Die **Durchlässigkeitsverhältnisse** wurden an 30 Aufschlüssen festgestellt. Es handelt sich durchwegs um sehr gute Durchlässigkeiten im Bereich von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Brauchbare Angaben zum **nutzbaren Speichervolumen** wurden an 8 Messstellen gewonnen und liegen zwischen 22 % und 27 %. Die Fig. 30 zeigt beispielhaft die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Mittleres Murtal.

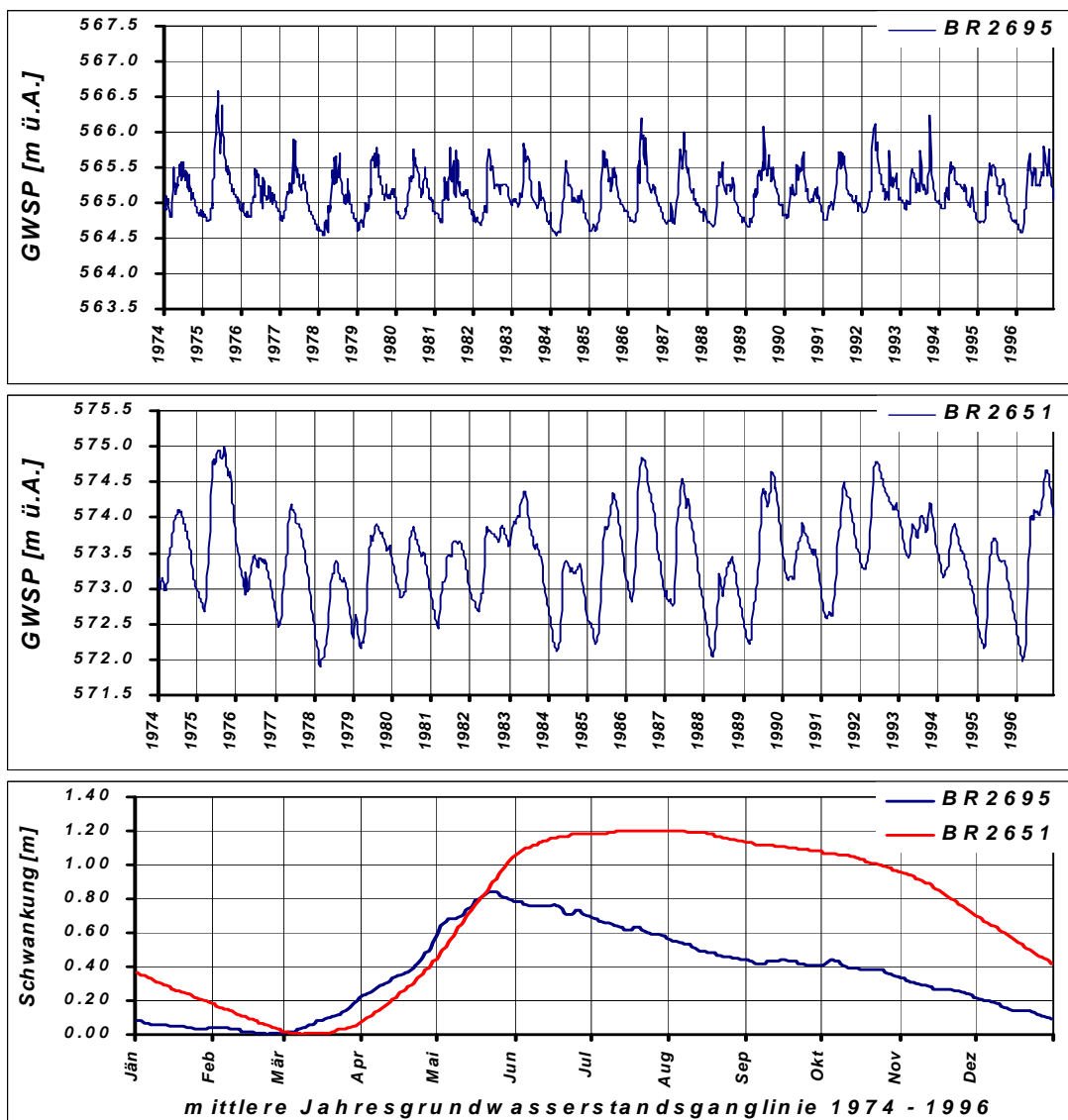


Fig. 30: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Mittleres Murtal anhand der Brunnen BR2695 in St. Michael und BR2651 in Liesingtal von 1974 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

4.2.1.4 Murdurchbruchstal

4.2.1.4.1 Bruck an der Mur bis Frohnleiten-Nord

Bis Frohnleiten ist das Murtal dem Typus eines schmalen, erosionsbedingten Durchbruchsta-les zuzuordnen. Durch die schmale Talbreite ist die Grundwasserspeicherung beschränkt. Die in diesem Raum abgelagerten Talsedimente weisen sehr unterschiedliche Mächtigkeiten auf. Im Uferbereich der Mur beträgt der Flurabstand zwischen 0 und 4 m, im Bereich der Ter-rassen und Hangschuttablagerungen zwischen 4 und 15 m. Durch die Enge des Durch-bruchsta-les, Kraftwerksbauten, Verkehrsflächen, Kiesgruben und Siedlungen sind die Mög-lichkeiten einer Grundwassernutzung weitgehend beschränkt.

4.2.1.4.2 Frohnleiten bis Murhof

Das zwischen Frohnleiten und Badlwand gelegene Murtalbecken umfasst eine Fläche von 10 km². Die in diesen Raum abgelagerten Flussschotter weisen im Allgemeinen eine Mäch-tigkeit von 15–20 m auf. Die bei Frohnleiten abgelagerten würmeiszeitlichen Schotterterras-sen haben eine Mächtigkeit von 20–25 m. Im Grundwasserfeld Murhof in der Murebene zwi-schen Rabenstein und der Talenge bei Kugelstein konnte mittels refraktionsseismischer Messungen eine von Norden nach Süden ziehende Tiefenrinne nachgewiesen werden, die keinen Zusammenhang mit dem Verlauf der heutigen Mur hat. Die Breite der Rinne liegt in einer Größenordnung von 400 m. Die größten Quartärmächtigkeiten sind im Bereich dieser Tiefenrinne mit 17–25 m zu finden. Im südlichsten Teil des Untersuchungsgebietes treten Grundwassermächtigkeiten von ca. 19 m auf.

4.2.1.4.3 Peggau bis Eggenfeld

Das Murtal zwischen Peggau und Eggenfeld ist durch mehr als 29 Bohrungen und refrakti-onsseismische Messungen zur Erfassung des paläozoischen Untergrundes geologisch gut bekannt. Es wurde eine ca. 7,5 km lange Tiefenrinne im Detail nachgewiesen, deren Achse bei Peggau in einer Seehöhe von 390 m und am Süden-ende des Messgebietes in 360 m liegt.

Die Quartärmächtigkeiten betragen im Bereich von Peggau – Deutschfeistritz ca. 8–27 m, zwischen Deutschfeistritz und Kleinstübing zwischen 10–30 m (Tiefenrinne bei Friesach) und zwischen Kleinstübing und Eggenfeld zwischen 8 und 30 m. Im Abschnitt Peggau – Kleinstübing dominiert Tonschiefer als Grundwasserstauer. Nur am Nordostrand reicht der Schöcklkalk etwas unter das Quartär.

Interaktionen zwischen Karstwässern und Porengrundwässern haben in diesem Abschnitt eine wesentliche Bedeutung. Der Zustrom dürfte diffus über feine Klüfte in den Porenaquifer erfolgen und für den Untersuchungszeitraum bis zu 50 l/s betragen.

4.2.1.4.4 Gratkorn Becken

Das Gratkorn Becken ist im Norden durch die Enge bei Eggenfeld und im Süden durch die Enge südlich von Judendorf-Straßengel begrenzt.

Die quartären Ablagerungen gliedern sich in einen bis über 2 km breiten holozänen Talboden und würm- bzw. risszeitliche Terrassen. Am westlichen Beckenrand ist die Würmterrasse sehr weitläufig, es sind jedoch keine älteren Terrassenreste vorhanden. Am östlichen Beckenrand finden sich kleinräumige würm- und risszeitliche Terrassen.

Die Grundwasservorkommen im Gratkorn Becken werden durch kommunale Trinkwasserversorgungsanlagen in Gratwein, Judendorf-Straßengel und Gratkorn genutzt

4.2.1.5 Grazer Feld

Das nördliche Grazer Feld wird im Westen und Norden durch Gesteine des Grazer Paläozoikums begrenzt, im Osten durch überwiegend tonig-schluffige tertiäre Sedimente. Frühere Untersuchungen zeigen, dass Teilbereiche des Westabfalls der meist verkarsteten paläozoischen Schichten des Plabutsch-Buchkogelzuges in das Grazer Feld entwässern. Die tertiären feinklastischen Ablagerungen am Ostrand des gesamten Grazer Feldes sind überwiegend gering durchlässig und daher von untergeordneter Wasserführung.

Die Kaltzeiten waren im Grazer Feld durch wiederholte Phasen der Erosion und Akkumulation gekennzeichnet. Heute ist das Becken mit überwiegend gut durchlässigen quartären sandigen Kiesen aufgefüllt, die einen mengenmäßig recht bedeutenden Aquifer darstellen. Einen breiten Raum nimmt die höhere Teilflur der Würm-Niederterrasse (Bahnhofsterrasse) mit einem markanten Abfall zur etwa 2 km breiten holozänen Austufe ein. In manchen Bereichen sind noch tiefere Teilfluren der Würmterrasse zwischengeschaltet.

Südlich der A2 bilden die Austufe der Mur und die Würm-Hauptterrasse die Haupteinheiten des Grazer Feldes. Begrenzt wird das südliche Grazer Feld im Westen von der Kaiserwaldterrasse und im Osten von geringdurchlässigen tertiären Ablagerungen (Sarmat).

Das Relief des tertiären Untergrundes ist durch eine weitgehend dem heutigen Verlauf der Mur folgende Tiefenrinne geprägt, in die im Raum Kalsdorf und nordwestlich Werndorf von Westen her Seitenrinnen einmünden.

Im Bereich des Stadtgebietes werden die quartären Schotter größtenteils von tertiären tonig-sandigen Schluffen, untergeordnet auch tertiären Sanden unterlagert. Die Tertiäroberkante ist im gesamten Grazer Feld als Wasserstauer anzusehen.

Im nördlichen Grazer Feld liegen die **Quartärmächtigkeiten** im holozänen Talboden fast durchwegs über 20 m. Die größten Mächtigkeiten betragen bis zu 53 m (Tiefenrinne im tertiären Stauer, westlich der Mur im Bereich des Hauptbahnhofs Richtung Norden). Auf den Hauptterrassen liegen die Quartärmächtigkeiten meist zwischen 10–20 m.

Im südlichen Grazer Feld bewegen sich die Mächtigkeiten in ähnlichen Größenordnungen, nehmen aber tendenziell ab. Bei Höchststand des Grundwassers liegen die **Grundwassermächtigkeiten** im nördlichen Grazer Feld im Bereich der Murauen meist zwischen 15 und 25 m und auf den Hauptterrassen zwischen 1 und 15 m. Die höchste Grundwassermächtigkeit wird im Bereich der tertiären Tiefenrinne mit bis zu 32 m erreicht. Bei Grundwassertiefstand verringern sich die oben genannten Werte um rund 1–3 m (T. HARUM et al., 1996). Die Grundwassermächtigkeit nimmt gegen Süden hin ab. Im südlichen Grazer Feld betragen die höchsten Mächtigkeiten 16–18 m (Nordteil Bereich der Tiefenrinne).

Die Fig. 31 und Fig. 32 geben anhand von Beispielen Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten für das Grundwassergebiet Grazer Feld/Stadtgebiet sowie südliches Grazer Feld.

Die Grundwasserneubildung, berechnet aus der klimatischen Wasserbilanz, beträgt im Grazer Feld im Bereich Schwarzl-See im Mittel 200 mm (24 % des mittleren jährlichen Niederschlags). Bei hoher Flächenversiegelung (Stadtgebiet) kann man von einer stark reduzierten Grundwasserneubildung (ca. 100 mm ausgehen).

Eine einfache Abschätzung des Grundwasserdargebots im Auenbereich über ein Profil von 1700 m, bei einer mittleren Mächtigkeit von 14 m, einem Gefälle von $J = 2,2 \cdot 10^{-3}$ m/s und einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ bis $3 \cdot 10^{-3}$ m/s ergibt eine abströmende Menge von rund 50–150 l/s.

Im Grazer Feld befinden sich mehrere kommunale Trinkwasserversorgungsanlagen, wie in Andritz, Feldkirchen, Seiersberg, Gössendorf und Kalsdorf.

Bei einer Gesamtfläche von 165 km² und einer Grundwasserneubildung aus Niederschlag von 200 mm/Jahr ergibt sich eine mittlere Jahressumme der Grundwasserneubildung aus Niederschlag von 33 Mio. m³ (eine überschlägige Betrachtung der Gesamt-Konsensmengen bedeutender Brunnenanlagen ergibt eine zulässige Entnahmemenge von 1,2 m³/s = 37,8 Mio. m³/Jahr), wodurch die Nutzungsgrenzen bei Betrachtung bestehender maximaler Konsensmengen jedoch erreicht sind.

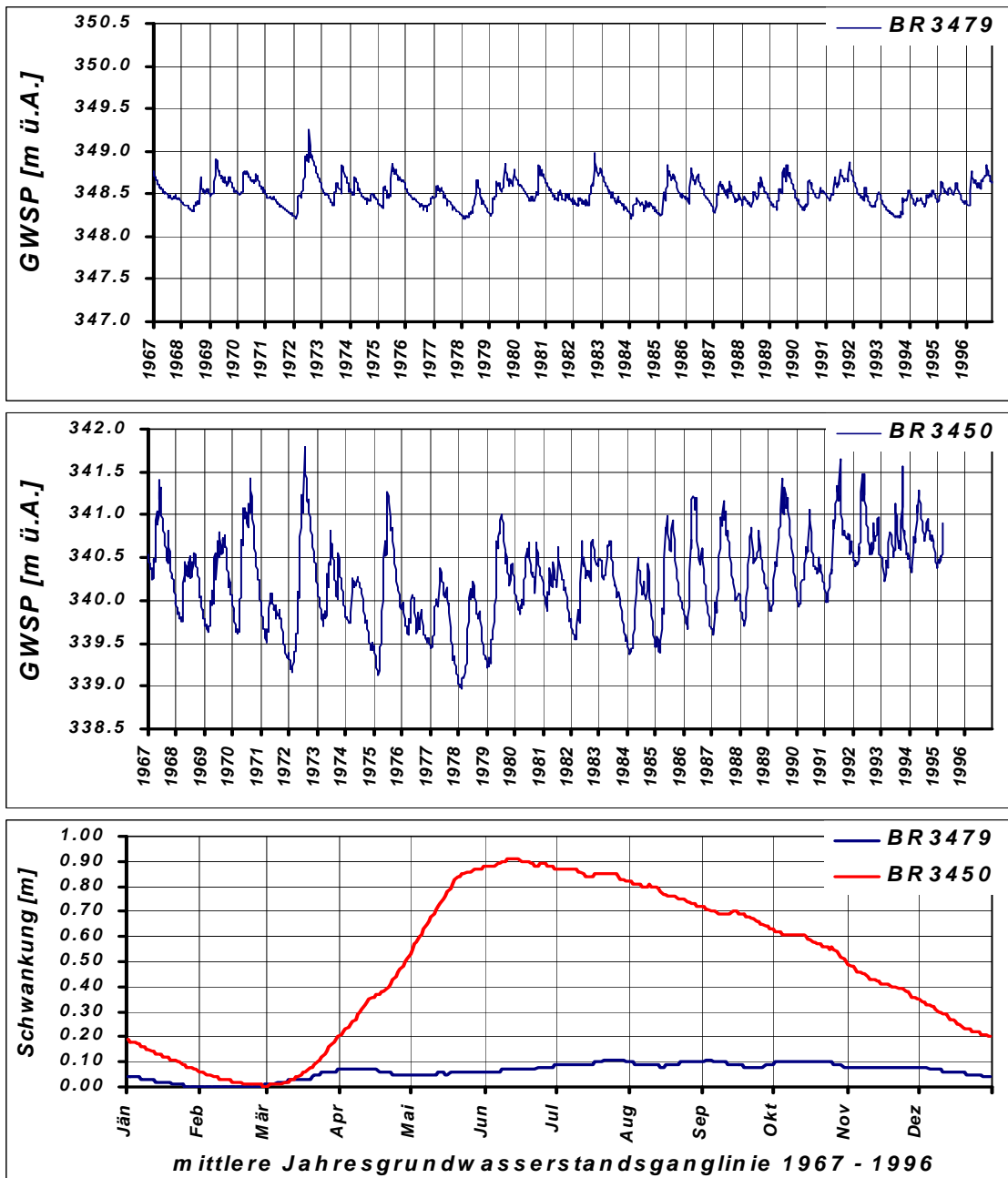


Fig. 31: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Grazer Feld (Stadtgebiet) anhand der Brunnen BR3479 in der Marburgerstraße und BR3450 am Griesplatz von 1967 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

Der nördlichste Teil des Grazer Feldes ist durch das Wasserwerk Andritz abgedeckt, der westliche und mittlere Teil des Grazer Feldes wird bei Entnahme der Konsensmenge durch die Wasserwerke Puntigam, Seiersberg und Kalsdorf zu Gänze genutzt. Ein großer Teil des Grazer Feldes ist auf Grund der dichten Besiedlung als Einzugsgebiet für neue Wasser-versorgungsanlagen nicht prädestiniert. Im östlichen Teil verbleiben durch die Entnahmen der WVA Gössendorf nur mehr geringe Reserven, die für überregionale Wasserversorgun-gen nicht ausreichen.

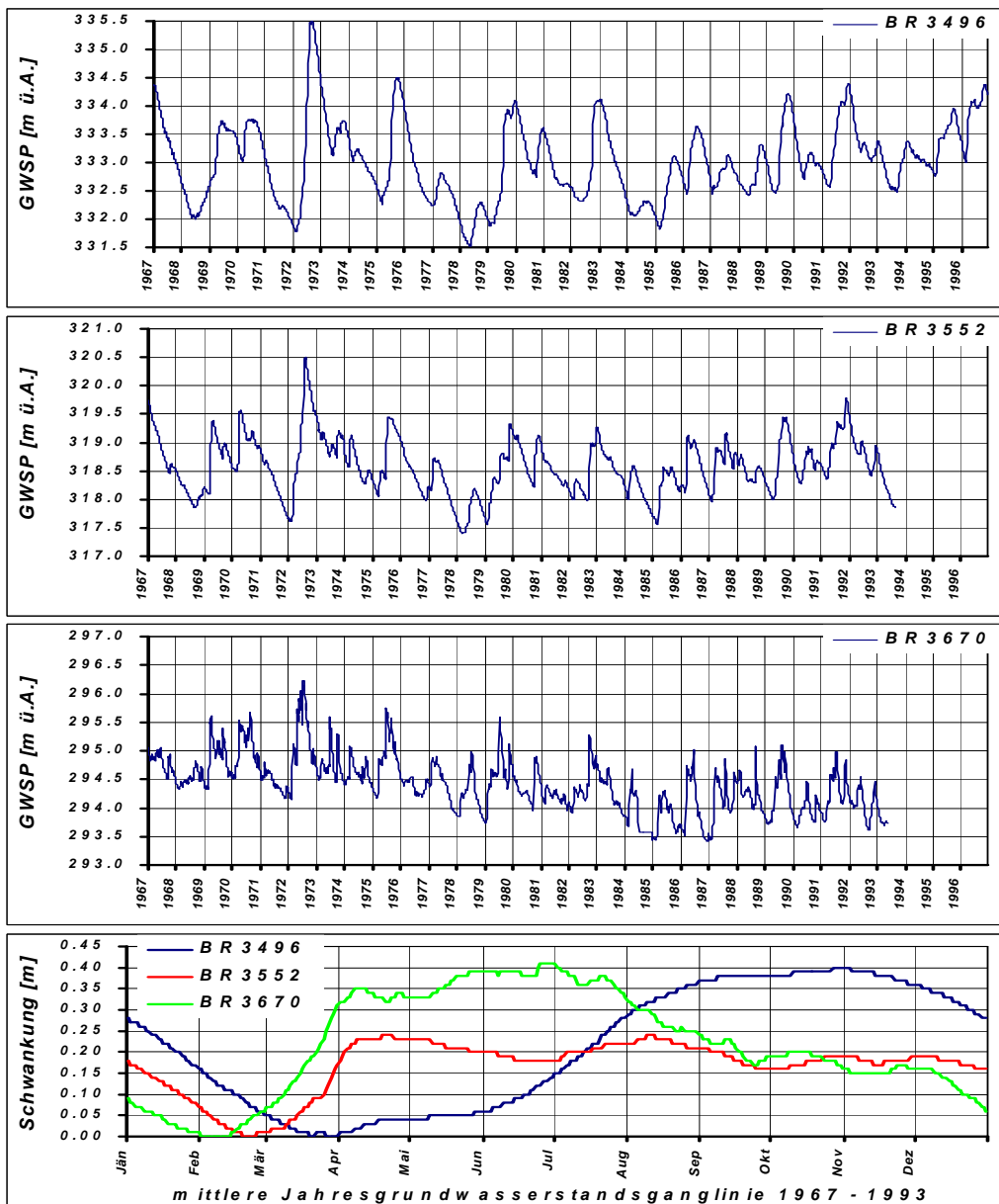


Fig. 32: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Grazer Feld (südliches Grazer Feld) anhand der Brunnen BR3496 in Seiersberg, BR3552 in Zettling und BR3670 in Wildon von 1967 bis 1993 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

4.2.1.6 Leibnitzer Feld

Die Geologie des Leibnitzer Feldes ist durch Akkumulationen von fluvioglazialen bzw. fluvialen Sedimenten in einem in tertiären Sedimenten geschaffenen Erosionsrelief geprägt. Diese tertiären Sedimente sind als Stauer für das seichtliegende Talgrundwasser anzusehen, welche sich innerhalb der jungquartären Lockergesteinsablagerungen befinden.

Die Umrahmung des Leibnitzer Feldes wird von miozänen Tertiärsedimenten aufgebaut, wobei es sich hierbei um vorwiegend klastische Sedimente handelt. Bei den quartären Ablagerungen unterscheidet man die Auzonen, die würmzeitlichen Niederterrassen und risszeitlichen Hochterrassen (z.B. Helfbrunner Flur). Die Niederterrassen sind in zwei Teilfluren untergliedert, wobei der Abfall von der höheren zur tieferen Teilflur meist um die 5 m beträgt. Die Mächtigkeit der beiden Teilfluren beträgt durchschnittlich 6–10 m. Die Niederterrasse wird meist aus vorwiegend gering schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut. Die Auzonen an der Mur zeigen ebenfalls einen Aufbau aus schwach schluffigen, sandigen Kiesen, über denen im Gegensatz zur Niederterrasse eine 1,5–3 m mächtige Aulehmdecke liegt. Die Mächtigkeit der Sedimente der Austufe liegt meist zwischen 4 und 6 m.

Bei mittlerem Grundwasserstand weist der seichtliegende quartäre Grundwasserkörper Mächtigkeiten zwischen weniger als 2 m in grundgebirgsnahen Randlagen und mehr als 8 m in kleinen Teilbereichen in der Nähe der Mur (Raum Lebring) auf. Grundwassermächtigkeiten von mehr als 4 m werden nur in den schon wasserwirtschaftlich genutzten Bereichen im nordöstlichen Leibnitzer Feld, sowie im Bereich von Kaindorf und Tillmitsch, im westlichen Leibnitzer Feld, erreicht.

Die Fig. 33 zeigt die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Leibnitzer Feld anhand der Beispiele St. Georgen a.d. Stiefing, Lebring und Untergralla.

Im Rahmen einer **Bilanzierung** der wesentlichen Einflussgrößen auf das Grundwassersystem kann für den Simulationszeitraum 1987 erkannt werden, dass auf Seite der **Zuflüsse** die Grundwasserneubildung mit etwa 28 Mio. m³ den größten Anteil (71 %) aufweist, gefolgt von den Interaktionen mit den kommunizierenden Oberflächengewässern (18 %). Die Randzuflüsse machen mit 4,4 Mio. m³ etwa 11 % aus. Bei den **Abflüssen** weist die Vorflutfunktion der Oberflächengewässer mit 32,8 Mio. m³ (93 %) den größten Anteil auf. Die Entnahmen von Trink- und Nutzwasser werden für das Jahr 1987 mit 2,4 Mio. m³ angegeben (ca. 7 % des Gesamtabflusses).

Insgesamt handelt es sich beim Leibnitzer Feld um ein sehr ergiebiges quartäres Porengrundwasserfeld, in welchem die günstigen Entnahmebereiche großteils bereits für die Trinkwasserversorgung genutzt werden. Die bestehenden Schongebiete der WV Anlagen von Lebring, Kaindorf, Leitring, Wagna und Retznei umfassen den überwiegenden Teil des westlichen Leibnitzer Feldes. Der östliche Teil wird durch die WVA St. Georgen a.d. Stiefing, Ragnitz und Haslach im Nordosten und durch die WVA Ehrenhausen im Südosten bereits zu großen Teilen genutzt. In den verbleibenden Teilen sind keine größeren Ergiebigkeiten zu erwarten, mit denen eine überregionale Wasserversorgung möglich wäre.

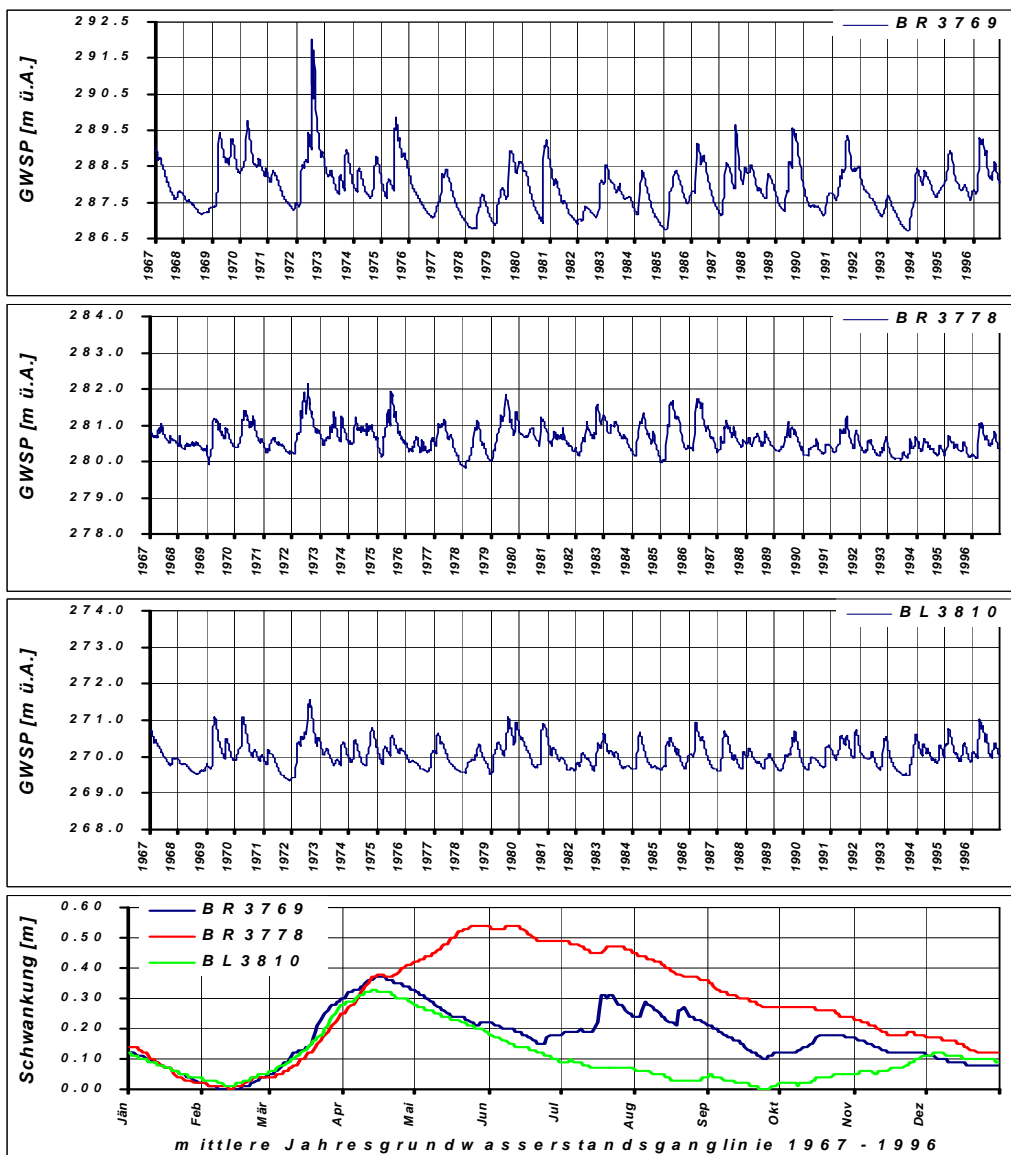


Fig. 33: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Leibnitzer Feld anhand der Brunnen BR3769 in St. Georgen a.d. Stiefing, BR3778 in Lebring und BL3810 in Untergralla von 1967 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

4.2.1.7 Unteres Murtal

Das in West-Ost-Richtung streichende Murbecken ist von mächtigen jungtertiären Ablagerungen des Karpat und Baden in mariner Fazies erfüllt. Diese wurden im Untersuchungsgebiet durch die mäandrierende Mur oberflächennah erodiert und quartäre Sedimente abgelagert, die man von Süd nach Nord nach folgendem **Terrassenschema** gliedert: Aulandschaft – Niederterrasse (= letzteiszeitliche Talfüllung) – Helfbrunner Terrasse – Schweinsbachwald- und Rosenbergterrasse – Höhere Terrassenreste des Altpleistozän bzw. Pliozän.

Die Quartärablagerungen des Unteren Murtales werden durchwegs von fluvioglazialen bzw. fluviatilen Sedimenten aufgebaut. Die Austufe besteht überwiegend aus Sanden und Schottern, die von i.a. geringmächtigen Lehmdecken überlagert werden, wobei hinsichtlich der Korngrößenverteilung eine räumliche Gliederung nachgewiesen werden kann. Bis in den Raum Gosdorf überwiegen Schotteranteile, von Radkersburg ostwärts hingegen Sande.

Die Niederterrasse wird vorwiegend aus gering schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut, die sich hauptsächlich aus kristallinen Geröllen (Quarz, Gneis, Amphibolit, Schiefer) und Kalken zusammensetzen. Die Grabenlandbäche, welche die Niederterrasse queren, haben zwar eine Au entwickelt, diese liegt jedoch auf weiten Strecken der Niederterrasse auf.

Die nördlich an die Niederterrasse anschließende **Helfbrunner Terrasse**, die als bestimmendes flächenhaft ausgebildetes Element entlang des gesamten Unteren Murtales auftritt, setzt sich durch einen markanten Geländesprung mit einem Höhenunterschied von bis zu 10 m von der Niederterrasse ab. Am Aufbau dieser Terrasse sind an der Basis bis zu 9 m mächtige Schotter mit einem höheren Verwitterungsgrad und darüber eine bis zu 9 m mächtige Lehmdecke beteiligt.

Die jungquartären Lockergesteinsablagerungen bilden den Hauptaquifer. Die südliche Begrenzung des Grundwasserfeldes wird durch die Mur gebildet, welche auf den Grundwasserkörper durch Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken einwirkt. Die Sohle des Grundwasserkörpers wird durch Sedimente des Jungtertiärs in Form von Sanden, Sandsteinen, Schluffen, Tonen, Kalken und Schottern gebildet.

Die **Quartärmächtigkeiten** nehmen entsprechend der Oberfläche des Grundwasserstauers und der Geländeoberfläche durchwegs von den pleistozänen Terrassen zu Mur hin ab. Die größten Quartärmächtigkeiten liegen bei mehr als 12 m im Bereich Helfbrunn und Seibersdorf und weniger als 4 m in der Austufe der Mur.

Die geringsten Grundwassermächtigkeiten zeigen sich im Aubereich der Mur oberstrom von Diepersdorf (1–3 m). Im Raum Radkersburg – Sieldorf sind die Grundwassermächtigkeiten mit Werten zwischen 2 und 4 m auch im Murauenbereich um etwa 1–2 m höher. Im Raum Seibersdorf, südlich von Helfbrunn und südlich von Halbenrain erreichen die Grundwassermächtigkeiten mit mehr als 7 m die höchsten Werte. In Fig. 34 ist die zeitliche Entwicklung

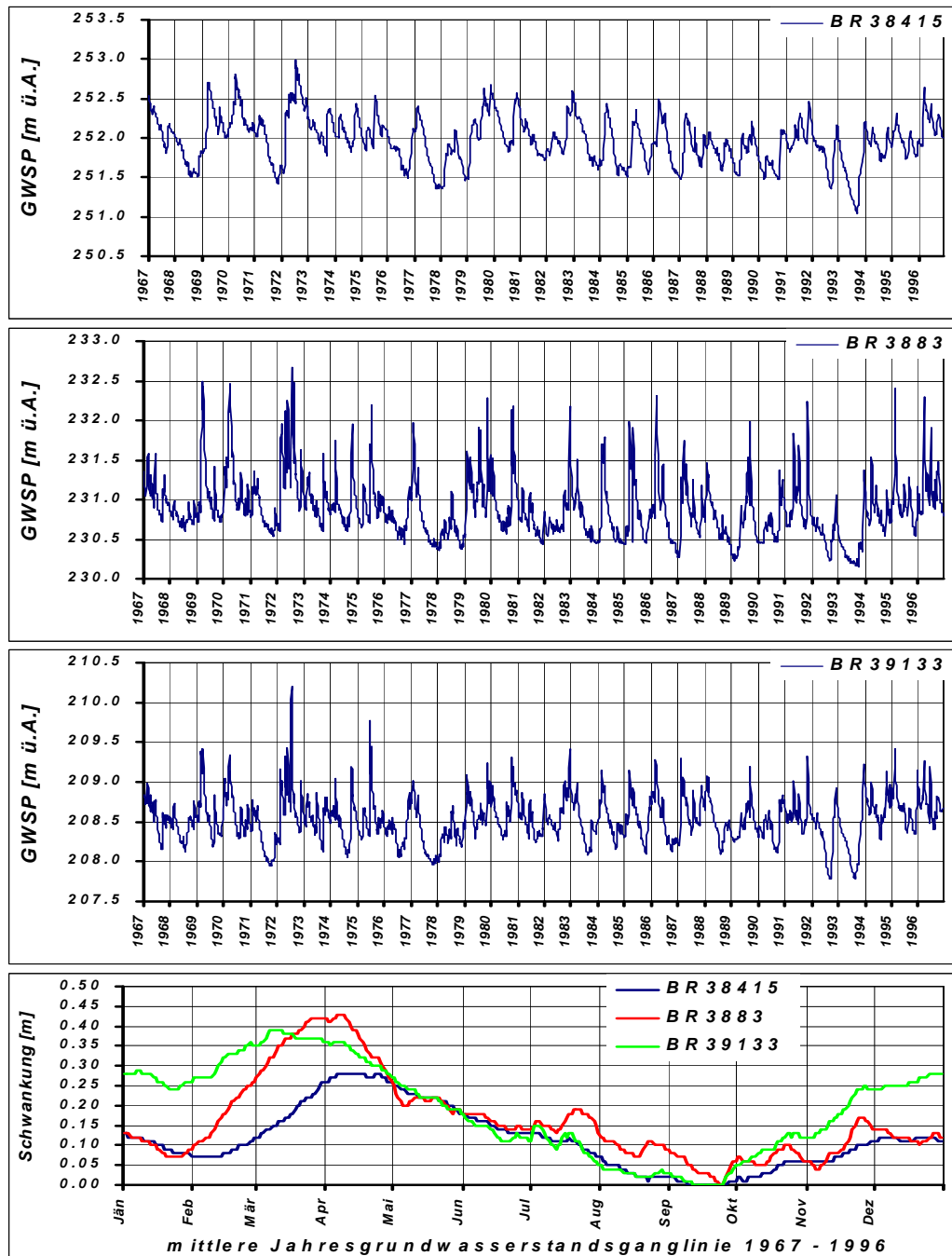


Fig. 34: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Unteres Murtal anhand der Brunnen BR38415 in Strass, BR3883 in Gosdorf und BR39133 in Altneudörfel von 1967 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

der Grundwasserstandsverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Unteres Murtal anhand von Brunnen in Strass, Gosdorf und Altneudörfel dargestellt.

Die Grundwasservorkommen im Unteren Murtal werden durch bestehende kommunale Brunnen in landwirtschaftlichen Bewässerungsanlagen in einem solchen Ausmaß genutzt, dass **keine weiteren umfangreichen Entnahmen** möglich sind.

4.2.2 Mürztal

4.2.2.1 Oberes Mürztal (bis Mürzzuschlag)

Im Oberen Mürztal strömen beträchtliche Wassermengen von Seiten des Kalkgebirges zu. Trotzdem sind nur geringe Entnahmen von jeweils 5–10 l/s möglich, da die Wässer größtenteils oberflächlich zufließen.

4.2.2.2 Mittleres Mürztal (Mürzzuschlag – Wartberg)

Das Grundwasserdargebot im mittleren und unteren Mürztal ist auf Grund der wesentlich größeren Talbreite höher einzuschätzen. Die Grundwassermächtigkeiten in beiden Abschnitten werden mit 3–15 m angegeben. Die Überdeckung ist mit Ausnahme einiger erhaltener Terrassenreste allgemein gering.

Neun Bohrungen zwischen Krieglach und Hafendorf zur Bestimmung der Schottermächtigkeiten förderten Mischkiese und Sande bis in Tiefen zwischen 14–18 m (W. TRONKO, 1962).

4.2.2.3 Unteres Mürztal (Wartberg – Einmündung in die Mur)

Im Raum Kapfenberg – Oberpötschach wurden im Zuge von Untersuchungen deutliche Inhomogenitäten des Grundwasserleiters aufgezeigt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf Grund der günstigen Durchlässigkeiten und der vielerorts relativ hohen Grundwassermächtigkeiten das mittlere und untere Mürztal als ergiebige Grundwasserfelder zu bezeichnen sind.

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Unteres Mürztal wird in Fig. 35 am Beispiel zweier Bohrungen in Hafendorf und Scheibigraben dargestellt.

Inwieweit neben den bereits bestehenden kommunalen Wasserversorgungsanlagen noch überregionale Grundwasserreserven vorhanden sind, ist bei momentanem Kenntnisstand

nicht zu beantworten. Neben flächendeckenden Informationen zur Aquifergeometrie und Grundwasserströmung fehlen weiters Untersuchungen über den Einfluss von Oberflächengewässern und Randzuflüssen auf den Grundwasserstrom im Mürztal.

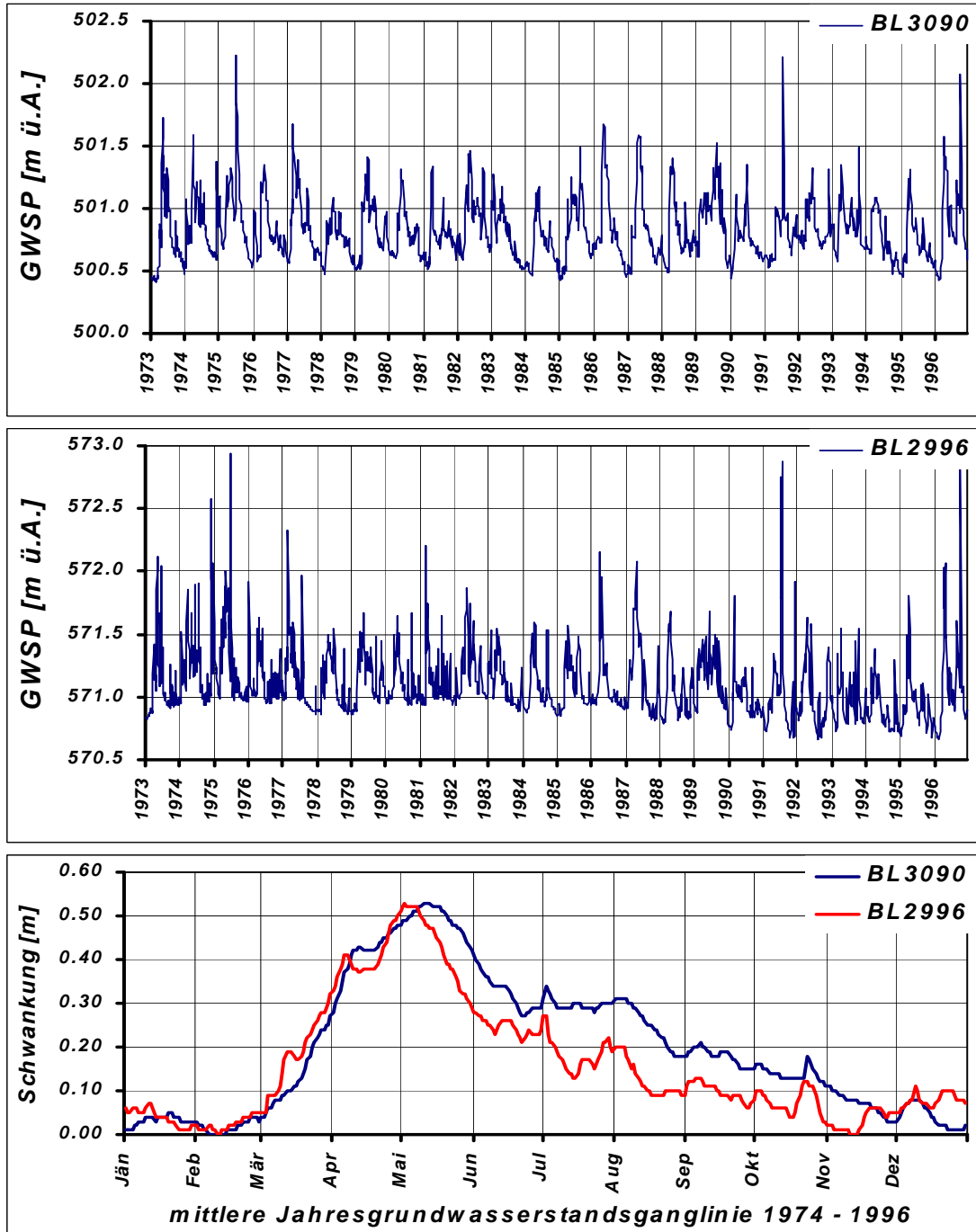


Fig. 35: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Unteres Mürztal anhand der Bohrungen BL3090 in Hafendorf und BL2996 in Scheibigraben von 1974 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

4.2.3 Ennstal

Das steirische Ennstal gliedert sich in das obere Ennstal (Enge von Mandling bis Stainach), das Mitterrennstal (Stainach bis Gesäuseeingang), das Gesäuse und das untere Ennstal (Hieflau bis Altenmarkt). Neben dem oberen Murtal und dem Paltental stellt das Ennstal im oberen und mittleren Abschnitt ein ebenfalls glazial überformtes Tal dar.

Der Taluntergrund des Ennstales wurde durch eine am Talrand bei Wörschach 1903 niedergebrachte Bohrung in 189 m Tiefe erreicht und dürfte demnach durchschnittlich tiefer als 200 m unter dem heutigen Talboden liegen.

4.2.3.1 Oberes Ennstal (Mandling – Stainach)

Das obere Ennstal unterscheidet sich deutlich vom Mitterrennstal durch seine geringere Breite. In diesem Talabschnitt westlich von Stainach-Irdning wurden bis 80 m Tiefe durchgehend wasserführende Kiese und Sande nachgewiesen (Niederöblarn 77 m und Niederstuttern 80 m). Die Ergiebigkeit des quartären Porengrundwasserleiters ist trotz fehlender Kenntnisse über seitliche Zuströme und Interaktionen mit Oberflächenwässern auf Grund der hohen glazialen Übertiefung als hoch einzuschätzen. Sichere Aussagen sind jedoch nur durch zusätzliche Untersuchungen möglich.

Die Fig. 36 gibt Auskunft über die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Ennstal am Beispiel zweier Bohrungen in Haus und Niederöblarn.

4.2.3.2 Mittleres Ennstal (Stainach – Gesäuseeingang)

Seichtliegendes ungespanntes Grundwasser spielt im Mitterrennstal eine untergeordnete Rolle. Grund dafür ist, dass unmittelbar unter den jüngeren Ablagerungen der Enns und den Moorschichten eine von Stainach bis zum Gesäuseeingang verfolgbare 2–3 m mächtige Schluffschichte als Aquiclude fungiert. Darunter konnten bis 120 m Tiefe durchgehend sandige Kiese nachgewiesen werden. Talab von Wörschach folgt nach einer geringmächtigen Kiesschichte eine zweite, ab Liezen in 25–35 m Tiefe eine dritte, bis zum Gesäuse durchgehende Schluffschichte. Ab Selzthal werden die Schluffschichten gegen das Gesäuse hin mächtiger und die Kiese feinkörniger. Ab einer Tiefe von 40–45 m gehen die Kiese in Feinsande über. Der Druckspiegel der gespannten Grundwässer steigt je nach Horizont von Wörschach (1,5 m) lokal bis über 14 m zum Gesäuseeingang hin an.

Eine Gewinnung von einigen 10 l/s gespannten Grundwassers im Mitterrennstal ist sowohl von der Qualität als auch vom Durchfluss her wahrscheinlich. Für eine genauere Abschätzung der Ergiebigkeiten wären zusätzliche Untersuchungen notwendig (Grundwasserneubildungsmechanismen).

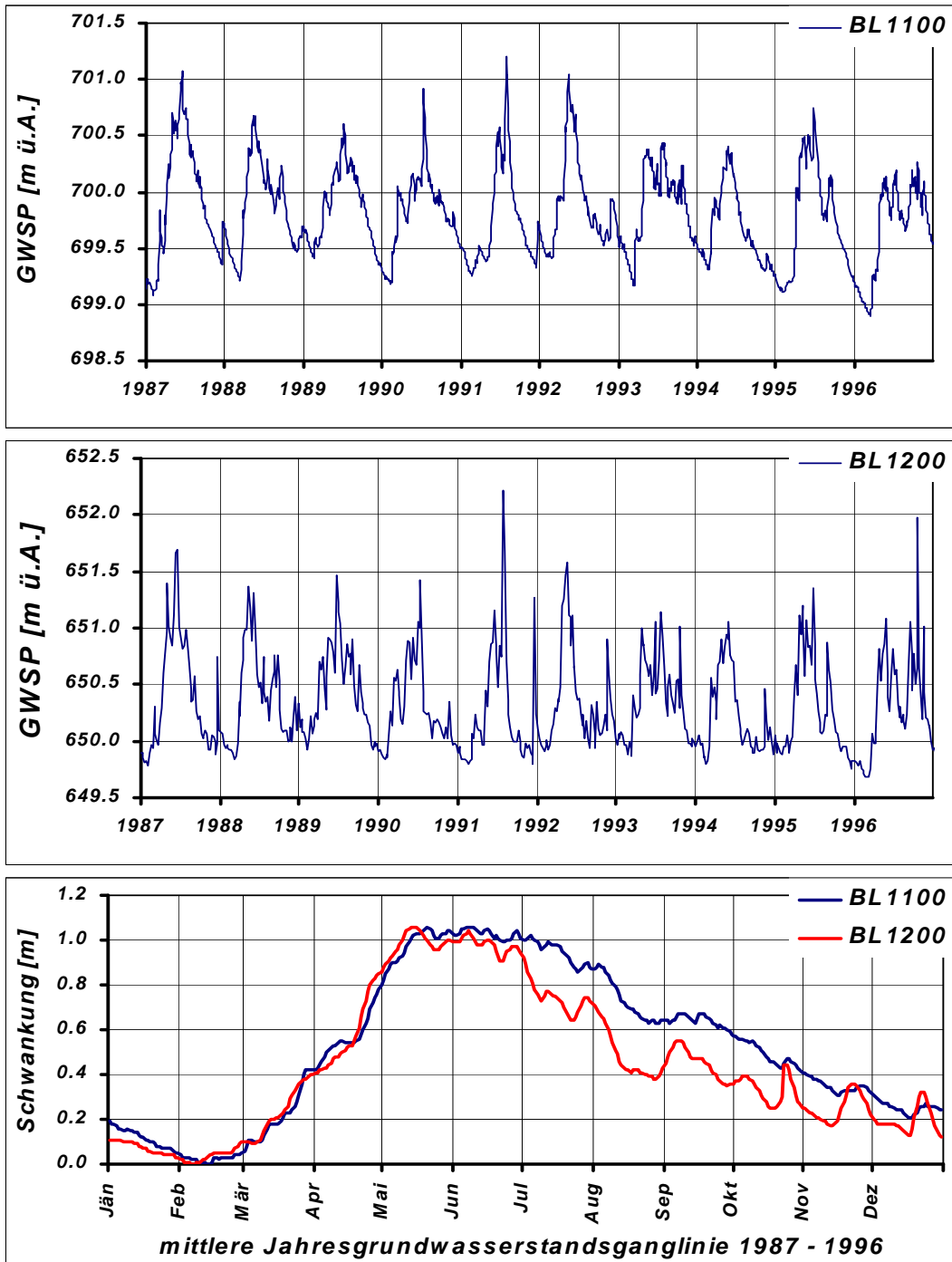


Fig. 36: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Ennstal anhand der Bohrungen BL1100 in Haus und BL1200 in Niederöblarn von 1987 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwanungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

Auf Grund der sehr engen Talform ist das Grundwasserdargebot des **Gesäuses** als wasserwirtschaftlich nicht interessant einzustufen. Über Interaktionen mit der Enns als entscheidender Mechanismus für das Grundwassersystem dieses Abschnittes liegen ebenso keine Untersuchungen vor.

4.2.3.3 Unteres Ennstal (Hieflau – Altenmarkt)

Die Basis der quartären Talfüllung (meist Kalke und Dolomite) liegt im Talbodenbereich zwischen 20–35 m unter dem Niveau der Flusssohle. Die Terrassen überragen den Talboden im Schnitt mit rund 50–60 m.

Erwähnt werden muss, dass sich zwischen Hieflau und Altenmarkt mehrere Wehre befinden (Wehr Wandaubücke, Wehr Großreifling, Wehr Eßling), die naturgemäß auf das quartäre seichtliegende Grundwassersystem Einfluss nehmen.

Im unteren Ennstal wird der quartäre Porengrundwasserkörper durch keine kommunalen WVA genutzt.

4.2.4 Weitere bedeutende Täler in der Obersteiermark

4.2.4.1 Pölstal

Nur der unterste Abschnitt ab der Einmündung des Gföllbaches bei Unterzeiring verfügt über einen rund 1 km breiten mit quartären Lockerablagerungen verfüllten Talboden. Es handelt sich dabei hauptsächlich um würmeiszeitliche Kiese, Sande und Schluffe.

Die Mächtigkeit der quartären Schotterfüllungen, bekannt aus den Bohrungen in Pöls, Gasselsdorf, Ritzersdorf und Fohnsdorf, weist Werte von 2,4–41 m auf.

Pumpversuche bei Gasselsdorf erbrachten einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die nutzbare Porosität abgeleitet nach MAROTZ beträgt 17 %, die mittlere Abstandsgeschwindigkeit 4,7 m. Weiters wurde der maximale Grundwasserabstrom mit 42 l/s angegeben.

Kommunale Wasserversorgungsanlagen bestehen in Pöls (14 l/s), Fohnsdorf (59 l/s) und Zeltweg (53 l/s). Um Aussagen über noch verbleibende Grundwasserreserven treffen zu können, wären weitere hydrogeologische Untersuchungen notwendig.

4.2.4.2 Liesingtal

Auf Grund der breiten Talfläche, des wasserreichen Einzugsgebietes und einer über zahlreiche Schwemmkegel möglichen Infiltration, ist mit einem hohen Grundwasserdargebot zu rechnen. Während etwa bis Mautern sehr unterschiedliche Verhältnisse mit einem Wechsel von seichtliegenden Grundwasservorkommen und mächtigen Schwemmkegeln herrschen, folgt gegen das Murtal hin mit Einschneiden der Liesing und zunehmender Überdeckung des Grundwasserspiegels eine breitflächige Entwicklung des Tales.

Zahlreiche Grundwasseraustritte bei St. Michael in die Mur deuten auf einen Grundwasserüberschuss hin. Schottergruben zeigen einen sich in das Murtal fortsetzenden, teilweise grobschottrigen Aufbau des Liesingschwemmfächers.

4.2.4.3 Paltental

Die Entwicklung des Paltentales im Quartär ist auf Grund der Ausbreitung des Ennsgletschers mit jener des Ennstales eng verbunden. Der Würmgletscher überfuhr das Ennstal bis zum Gesäuse und teilte sich in drei Arme, dessen südlichster über die Senke von Lassing in das Paltental floss und dieses bis Furth erfüllte, jedoch den Schoberpaß nicht mehr überschritt.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Talfüllungen im Wesentlichen aus einer intensiven Wechsellagerung von grob- und feinklastischen Sedimenten bestehen, die in Abhängigkeit von ihrer Korngrößenverteilung unterschiedliche Wasserleitsysteme darstellen.

Spezielle Untersuchungen über die ungespannten Grundwasservorkommen im Paltental liegen nicht vor. Auf Grund der vielerorts seichtliegenden Schluffschichten ist die Verbreitung ungespannten Grundwassers, ähnlich wie im Mitterennstal, vermutlich gering.

4.2.4.4 Täler des südlichen Hochschwabmassives

In den Kaltzeiten konnten sich in vier nach Süden bzw. Westen entwässernden Tälern des südlichen Hochschwabmassives (**Seebachtal, Ilnertal, Lamingtal, Seeaubachtal**; von Ost nach West) 4–12 km lange Talgletscher entwickeln, welche trotz ihres relativ bescheidenen Ausmaßes zu einer Übertiefung von 80–200 m unter dem heutigen Talboden führten.

Wesentlich ist, dass die Übertiefung dieser Täler teilweise innerhalb verkarstungsfähiger Kalke erfolgte. Die Kalke liegen über undurchlässigen, eine langgestreckte Mulde bildenden Schiefen und werden durch diese übertieften Täler einerseits gleichsam drainagiert, ande-

rerseits ist durch die mächtigen Lockersedimentfüllungen der Täler eine gute Speicherung und Filterung gegeben. Ausdruck dieser Funktionen sind ergiebige und sehr gleichmäßig schüttende Grundwasserquellen im Bereiche dieser Becken. Der Aufbau der Beckenfüllungen ist in diesen Tälern sehr unterschiedlich.

Das östlichste Tal, das **Seebachtal**, weist eine nur 60–80 m mächtige Talfüllung durch teils gut durchlässige, teils jedoch auch schluffige Kiese auf. Durchlässigkeit und Ergiebigkeit sind somit recht unterschiedlich. Die Quellaustritte am Ende des glazialen Troges lassen auf ein Dargebot von minimal 500, im Durchschnitt etwa 1000 l/s schließen.

Im **Ilgenertal** konnte ein nur 6 km langer Talgletscher eine Übertiefung des Tales von mehr als 200 m bewirken. Eine Bohrung im Bereich des Talschlusses verblieb in 122 m Tiefe in Kiesen, eine Bohrung in der Mitte des Tales durchörterte bis 200 m Tiefe durchgehend teils konglomerierte Kiese.

Im **Lamingbachtal** (Tragöß) erweist sich der erwartete Grundwasserspeicher der Talfüllung als nur beschränkt nutzbar.

In der **Seeau bei Eisenerz**, wo der **Leopoldsteinersee** als noch nicht verschütteter Rest eines ehemaligen Gletscherbeckens erhalten ist, wurden im Talschluss bis 120 m Kiese und von dort bis 150 m Endteufe Moränen und Schluff erbohrt. Eine in Talmitte angesetzte Bohrung ergab bis 160 m Tiefe gut durchlässige Kiese.

Der zwischen 600 und 6000 l/s schwankende Abfluss des Leopoldsteinersees lässt auf ein gutes Grundwasserdargebot schließen.

Das **Vordernbergertal** verfügte über keinen größeren Talgletscher. Auf Grund eines Zusammenhanges mit lokalen eiszeitlichen Vergletscherungen und dem Rückstau durch das Murtal erreichen die gut durchlässigen Schotter im unteren Talabschnitt Mächtigkeiten von 18 bis über 26 m. Der 10–13 m mächtige Grundwasserkörper wird nicht nur durch Oberflächengewässer im Bereich des Talbeckens von Trofaiach, sondern vermutlich auch im Bereich St. Peter-Freienstein durch Karstwässer reichlich alimentiert.

Ein Teil des Grundwasserdargebots in den Tälern des südlichen Hochschwabmassives wird durch den Wasserverband Hochschwab-Süd genutzt.

4.2.5 Haupttäler der Oststeiermark

Die wichtigsten Porengrundwassergebiete der Oststeiermark sind das Raabtal (Porengrundwasserfeld von 110 km²; kleiner Teil im Burgenland), das Feistritztal (50 km²) und das Lafnitztal (155 km²; Großteil Burgenland), das Ilztal (25 km²), das Rittschein- und das Safental.

In den Einzugsgebieten der Täler der Oststeiermark gab es in den Kaltzeiten so gut wie keine Vergletscherungen. Die deshalb geringere Transportkraft der Flüsse führte dazu, dass die quartären Ablagerungen in den Tälern vergleichsweise geringmächtig sind und einen höheren Schluff- und Tonanteil aufweisen. Der hohe Feinanteil in den Ablagerungen bedingt einen geringen nutzbaren Speicherkoeffizienten und ungünstige Durchlässigkeiten. Durch die geringe Mächtigkeit der Grundwasserleiter ist die Grundwasserüberdeckung im Talboden meist gering.

Die Fig. 37 zeigt die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Raabtal anhand zweier Brunnen in Mühldorf und Fehring.

4.2.5.1 Unteres Feistritztal (St. Johann b. Herberstein – Landesgrenze)

Die quartären Ablagerungen des Feistritztales, mit seinem periglazialen Einzugsgebiet, weisen einen vergleichsweise hohen Anteil an Tonen und Schluffen auf. Dies bedingt allgemein geringere nutzbare Porenvolumina, Durchlässigkeiten und Fließgeschwindigkeiten.

Die **Quartärmächtigkeit** zeigt starke Inhomogenitäten (3–14 m), die, wie aus anderen Bohrprofilen ober- und unterhalb dieses Talabschnittes ersichtlich, vermutlich im gesamten Unteren Feistritztal gegeben sind. Die **Grundwassermächtigkeit** schwankt im Talboden meist zwischen 2 und 6 m.

Aus Fig. 38 wird die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse und das mittlere jährliche Grundwasserschwankungsverhalten im Grundwassergebiet Feistritztal anhand zweier Brunnen in Obgrün und Großwilfersdorf ersichtlich.

Die **Grundwasserneubildung** erfolgt im Unteren Feistritztal im überwiegenden Maße aus dem Niederschlag. Die mittleren Jahressummen der Grundwasserneubildung (1980 bis 1996), beträgt im Bereich der Grundwassermessstelle BR5823 (Altenmarkt) 221 mm und bei BR5699 (Großwilfersdorf) 226 mm (im Nahbereich dieser Messstellen kommt es zu keinem Oberflächenabfluss). Grundwasserganglinien an Messstellen nahe der Feistritz weisen auf Interaktionen des Grundwassers mit der Feistritz hin.

Das quartäre seichtliegende Grundwasser des Unteren Feistritztales wird durch mehr als 650 private Hausbrunnen genutzt, die jedoch nur teilweise zu Trinkwasserzwecken verwendet werden. Bei einer angenommenen Entnahme von $0,5 \text{ m}^3/\text{Tag}$ (3 Personen á 165 l/Tag) beträgt die Gesamtentnahme $325 \text{ m}^3/\text{Tag}$ bzw. $3,76 \text{ l/s}$.

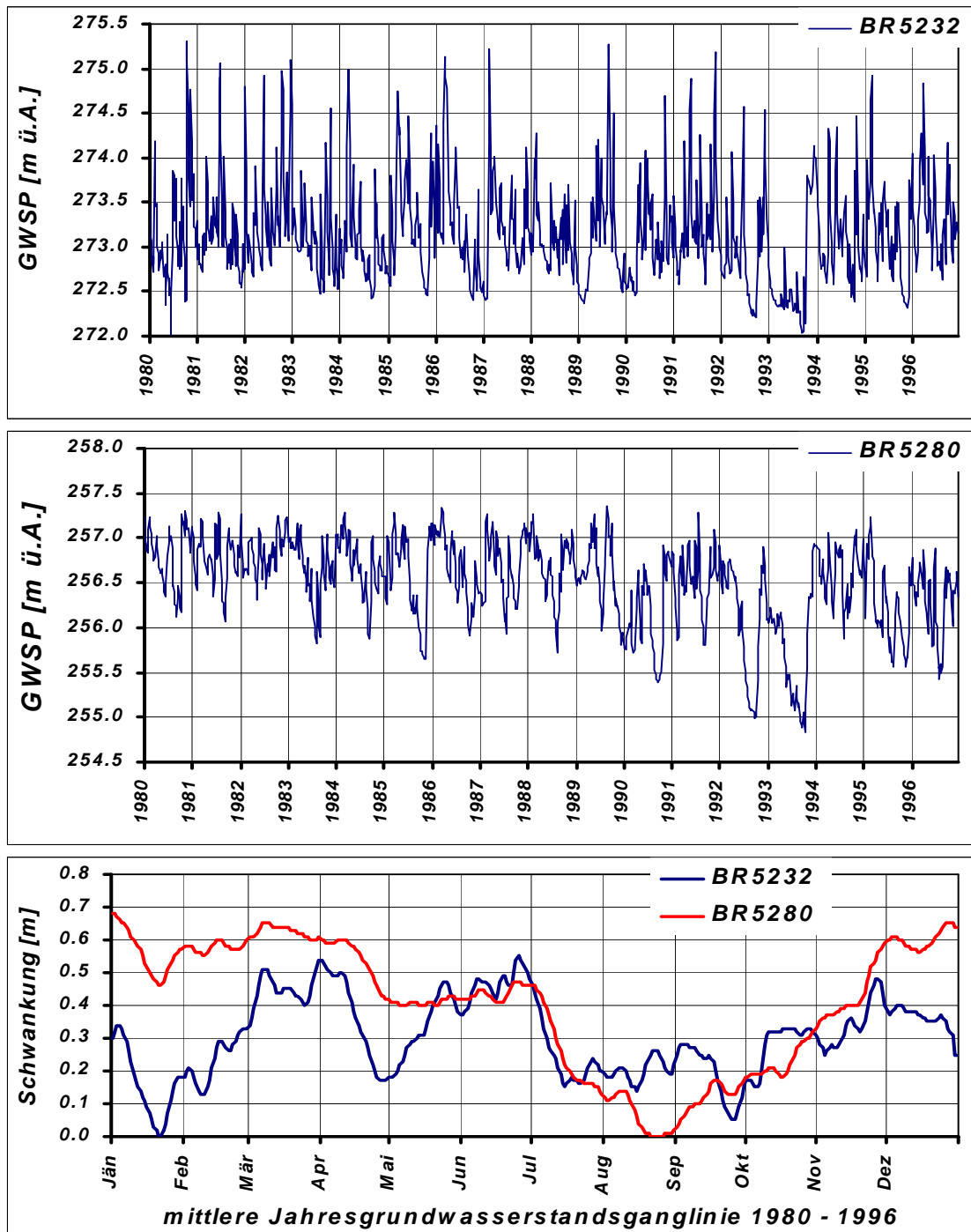


Fig. 37: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Raabtal anhand der Brunnen BR5232 in Mühdorf und BR5280 in Fehring von 1980 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasserschwan-
kungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

Öffentliche Wasserversorger greifen im Feistritztal und anderen Tälern der Oststeiermark wegen der vielerorts schlechten Qualität des seichtliegenden Grundwassers auf tieferliegende artesische Wässer und teils auch Quellen zurück.

Zusammenfassend sei festgestellt, dass die Ergiebigkeiten der Porengrundwasserfelder in der Oststeiermark (vgl. Unteres Feistritztal) vergleichsweise gering sind und auch qualitativen Probleme gegen eine überregionale Nutzung sprechen.

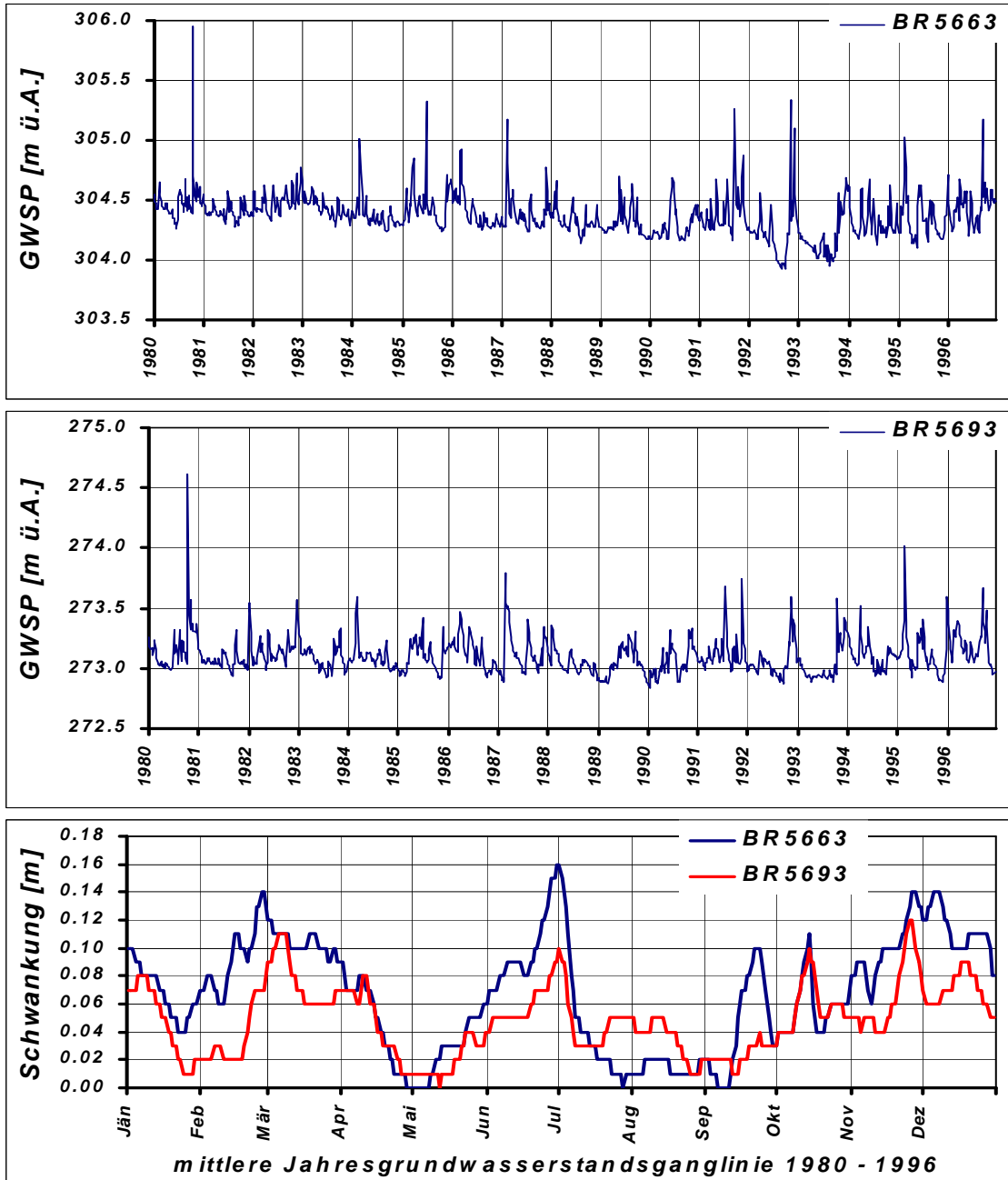


Fig. 38: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstandsverhältnisse im Grundwassergebiet Feistritztal anhand der Brunnen BR5663 in Obgrün und BR5693 in Großwilfersdorf von 1980 bis 1996 sowie das mittlere jährliche Grundwasser-schwankungsverhalten an den Messstellen im Vergleich.

4.2.6 Haupttäler der Weststeiermark

4.2.6.1 Kainachtal

Der Grundwasserleiter wird vor allem aus Schottern und Sanden aufgebaut, die im allgemeinen von einer feinklastischen Deckschicht überlagert werden.

Die bedeutendsten Zuflüsse ins Kainachtal stammen vom **Liebochbach**, vom **Södingbach** und vom **Gradenbach**. Im Gradenbachtal befinden sich mehrere kommunale Trinkwasserversorgungsanlagen, die aus der karbonatischen Talsohle Karstwasser fördern, welches mit einer nicht trennbaren Menge von Talgrundwasser vermischt ist.

4.2.6.2 Laßnitz- und Stainzbachtal

Ein aus vier Bohrungen bestehendes Querprofil im **Laßnitztal**, im Bereich Freidorf – Frauental, zeigt einen sehr inhomogenen Aufbau der quartären Ablagerungen. Sand- und Kies-schichten mit einer Mächtigkeit zwischen 4 und 6 m wurden in allen Bohrungen angefahren. Diese waren in zwei Fällen von 1–6 m mächtigen Lehmschichten überlagert. Weiterführende wasserwirtschaftliche Planungen wurden auf Grund der minderen Qualität des Grundwassers nicht realisiert.

4.2.6.3 Sulm- und Saggaubachtal

Der Grundwasserleiter im **Sulmtal** setzt sich aus sandig-schluffigen Kies mit einzelnen Grobgeröllen zusammen. Der Grundwasserstauer, der nur im Bereich von St. Peter i.S. mittels eines Brunnens erschlossen ist, befindet sich in einer Tiefe von 5,2 m. Bohrungen im **Saggautal** (Gündorfbrücke) zeigten Sand-Kies-Wechselagerungen mit einer Mächtigkeit von rund 11 m. Im Saggaubachtal selbst befinden sich die kommunalen Wasserversorgungsanlagen von Arnfels b. St. Johann, St. Johann und Großklein. Im **Pößnitztal**, welches bei Saggau in Saggautal einmündet, besteht eine kommunale WVA in Leutschach. In keinem der oben genannten Tälern bestehen Grundwassermessstellen der Hydrographischen Landesabteilung.

Das Grundwasserdargebot der weststeirischen Haupttäler ist im Vergleich zu Mur-, Enns- und Mürztal gering, obgleich zahlreiche kommunale Trinkwasserversorgungsanlagen bestehen. Durch das Angebot an Quellen im Einzugsgebiet ist man hier weniger auf Talgrundwasser angewiesen. Inwieweit und wo zusätzliche Nutzungen von Talgrundwasser möglich sind, wäre nur durch weitere hydrogeologische Untersuchungen zu klären.

4.2.7 Die numerische Modellierung von Porengrundwassersystemen als Prognoseinstrument

Die Verwendung von mathematischen Grundwassermodellen zur Untersuchung von Grundwassersystemen ist heute weit verbreitet. Das mathematische Grundwassermodell beschreibt die im Grundwassersystem stattfindenden Prozesse mit Hilfe von mathematischen Gleichungen.

Die drei wesentlichen Komponenten eines Modells sind (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1990):

- das Erkennen der maßgeblichen Prozesse
- das zu lösende Gleichungssystem
- der Modelloutput

Erst durch die Verwendung der problemspezifischen Daten wird das Modell an das zu untersuchende Objekt angepasst. Notwendige Daten sind:

- Angaben bezüglich Form und Geometrie des Gebietes
- Parameter des Gleichungssystems
- modellspezifische Kontrollparameter

Die Grundwassermodellierung beschäftigt sich mit der dynamischen Simulation von Aquifersystemen, wobei der Zusammenhang zwischen Aquifer und äußeren Einflüssen (Umgebung) von Interesse ist. Im Grundwassermodell werden fragmentarisches Wissen über Teile des Aquifersystems und bekannte anthropogene Einflüsse (Nutzungen) zu einem Gesamtsystem zusammengefasst.

Mit Hilfe der numerischen Modellierung von Grundwassersystemen wird versucht, folgende Hauptziele zu erreichen:

- Erkennen der Zusammenhänge in einem Grundwassersystem und Verbindung der physikalischen Prozesse mit quantitativen Aussagen
- Identifizierung von Bereichen, die weiterer theoretischer oder Felduntersuchungen bedürfen
- Erklärung und Illustration von Problemen für fachlich nicht intensiv befasste Personen (Modelloutput)

- Simulation von vergangenen oder zukünftigen Ereignissen als Reaktion von geänderten Randbedingungen oder Nutzungen
- Selektion eines optimalen Standortes für weitere Untersuchungen

Einige ausgeprägte Besonderheiten von Grundwasserleitern machen die Anwendung von Modellen erforderlich:

1. Die relative Unzugänglichkeit. Der Untergrund ist meist nur „nadelstichweise“ aus wenigen Bohrungen und Aufschlüssen bekannt. Die Rekonstruktion des vollständigen Grundwasserleiters geht wegen dieses Informationsmangels nicht ohne Modellvorstellungen und Hypothesen. Jede die Bohrdaten interpolierende Vorstellung über die Beschaffenheit des Untergrundes ist ein Modell, das Züge der Wirklichkeit inkorporiert, ohne je den Anspruch auf absolute Wahrheit stellen zu dürfen. Dies gilt auch für mathematische Aquifermodelle. Diese bauen auf dem strukturellen Konzeptmodell des Hydrogeologen auf und belegen es mit quantitativen Angaben z.B. zur Durchlässigkeit oder Grundwasserneubildungsrate. Auf dieser Basis ist dann die Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen im Grundwasserleiter möglich.
Ohne Modellvorstellungen gibt es keine Dateninterpretation in den Geowissenschaften. Oft werden Modellvorstellungen unbewusst verwendet, ohne dass man sich über deren Beschränkungen Rechenschaft ablegt. So verwendet der Hydrogeologe, der einen Pumpversuch nach dem Verfahren von THEIS auswertet, implizit die Modellvorstellung, dass der betreffende Aquifer zweidimensional, homogen, isotrop und unendlich ausgedehnt ist. Ein numerisches Aquifermodell kann kompliziertere Topographie und Randbedingungen, Heterogenität, vertikale Struktur etc. berücksichtigen.
2. Die relative Langsamkeit von Prozessen im Untergrund. Die langen Zeitskalen schränken die Möglichkeit für Experimente stark ein und erfordern für praktische Entscheidungen Aussagen und Prognosen, die, wenn überhaupt, nur über Modelle gewonnen werden können.
3. Die für wasserwirtschaftliche und ökologische Fragestellungen interessierenden Größen wie Fließgeschwindigkeit oder Abfluss sind nicht direkt messbar. Sie müssen indirekt aus den messbaren Größen wie Piezometerhöhen bzw. Grundwasserhöhen bestimmt werden. Das numerische Modell vermittelt zwischen messbaren und benötigten Größen.
4. Die Erstellung von Grundwassermessstellen ist in den meisten Fällen sehr teuer und rechtfertigt deshalb einen größeren Aufwand in der Auswertung der erhaltenen Mess-

ergebnisse. Eine alleinige Auswertung mittels analytischer Modelle reicht im allgemeinen aufgrund der dabei angenommenen einfachen Bedingungen nicht aus.

Grundwassermodelle werden eingeteilt in Strömungsmodelle, die die wasser- bzw. Fluidbewegung im Boden beschreiben und Transportmodelle, die hingegen die Verfrachtung und Vermischung von im Wasser gelösten Stoffen beschreiben. Jedes Transportmodell hat ein Strömungsmodell als Grundlage. Physikalische Modelle von Aquiferen aufgrund der Elektroanalogie zur Potentialströmung spielen heute nur noch eine untergeordnete Rolle. In der Regel versteht man unter Grundwassermodellen numerische Modelle.

4.2.7.1 Anwendungsbeispiele von numerischen Modellen in Porengrundwassergebieten der Steiermark

In der Steiermark wurde die Notwendigkeit der Anwendung numerischer Modelle als Hilfsmittel bei der Prognose von Auswirkungen geplanter Maßnahmen seitens der wasserwirtschaftlichen Planung frühzeitig erkannt und deren Einsatz seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts bei der Erstellung von technischen Projekten aber auch bei der Abgrenzung von Schutz- und Schongebieten forciert. In den 90er Jahren wurde die numerische Modellierung verstärkt auch zur Erfassung regionaler Grundwasserströmungs- und -qualitätsverhältnisse eingesetzt.

Die in der Steiermark bisher gerechneten numerischen Grundwasserströmungsmodelle lassen sich im Großen in 3 Gruppen gliedern:

- **Grundwasserströmungsmodelle** zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen
In dieser Gruppe haben die Modelle, die im Rahmen der Prognose der Auswirkung der Errichtung von Kraftwerken auf die Grundwasserströmungssituation erstellt wurden besondere Bedeutung. Auch für die Prognose der Auswirkung geplanter Nassbaggerungen auf die Grundwasserstands- und Strömungsverhältnisse werden in der Steiermark verstärkt numerische Grundwassermodelle zum Einsatz gebracht. Bei sehr spezifischen Fragestellungen, wie z.B. der Auswirkung von Versickerungsanlagen auf das räumlich zeitliche Verhalten des Grundwasserspiegels liefern numerische Modelle die Entscheidungsgrundlagen. Eine Koppelung von Modellen der ungesättigten und gesättigten Strömung wurde erfolgreich auch bei der Frage der Bilanzierung von Wasser- und Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone und dessen Auswirkung auf die Grundwasserqualitätssituation z.B. im Leibnitzer Feld angewandt .

- **Regionale Grundwasserströmungsmodelle** als wasserwirtschaftliche Planungsgrundlage

Zielsetzung der Erstellung regionaler Strömungsmodelle ist die Aufarbeitung und Dokumentation von Datengrundlagen für gesamte Grundwasserfelder und andererseits die Verknüpfung der Datenbestände unterschiedlicher fachlicher Bereiche und regionaler Teilgebiete zu einem in sich geschlossenen komplexen Gesamtbestand über ein numerisches Modell.

Durch derartige Modelle können auftretende gegenseitige Beeinflussungen von Maßnahmen mit großen Wirkradien (z.B. Wasserentnahmen für regionale und überregionale Wasserversorgungen) erkannt und in Planung und Betrieb von Anlagen berücksichtigt werden. Durch regionale Grundwasserströmungsmodelle kann damit auch eine außerordentlich gute Grundlage für die Abgrenzung von Grundwasserschongebieten bzw. von besonders schützenswerten Bereichen zur Verfügung gestellt werden.

- **Transportmodelle**

In den bisherigen Arbeiten im Bereich der Steiermark werden ausschließlich Fälle beleuchtet, die den Stofftransport über die Verlagerung von konservativen Tracern nachbilden, d.h. Adsorption und Abbau von Stoffen werden nicht berücksichtigt. Desgleichen werden in den bisherigen Anwendungen ausschließlich 2D-tiefengemittelte horizontale Strömungsmodelle entweder stationär oder instationär kalibriert als Grundlage für die Transportmodelle herangezogen. Diese Vorgangsweise ist für punktuelle oder lineare Eintragsquellen und Aussagen über die Konzentrationsverteilung in großer Entfernung vom Eintragsherd durchaus zulässig (da eine entsprechende Durchmischung über die Aquifermächtigkeit aufgrund dispersiver Prozesse angenommen werden kann), bei Fragen der Modellierung diffuser Stoffeinträge und Prognosen der Veränderung der Stoffverteilung in Abhängigkeit von der Veränderung der Inputverteilungen im Prognosegebiet erscheint aus heutiger Sicht aber möglicherweise ein 3D-Ansatz notwendig zu sein. Dies betrifft jedenfalls die numerische Modellierung des flächenhaften Eintrages von Stoffen aus der Landwirtschaft (Nitrat, Chlorid) und der Auswirkung von Landnutzungsänderungen auf die Grundwasserqualität.

Transportmodelle bieten grundsätzlich folgende zielführende Lösungsansätze:

- Interpretation und Interpolation von Schadstoffkonzentrationen
- Prognose des zukünftigen Verhaltens von Kontaminationsherden und -fahnen
- Folgeabschätzungen von aktuellen und potentiellen Schadstoffeinträgen
- Planung und Bemessung von Abwehr und Sanierungsmaßnahmen

- Planung von Bewirtschaftungs- und entsprechenden Schutzmaßnahmen
- Planung von Mess- und Überwachungsnetzen.

4.2.8 Qualitätssituation der Porengrundwässer

Die Grundwasserbeschaffenheit wird durch natürliche und eine Vielzahl von menschlichen Einflüssen bestimmt. Negative Veränderungen der Grundwasserqualität in Form von Verunreinigung und Belastungen des Grundwasserkörpers resultieren in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten in erster Linie aus dem flächenhaften Eintrag von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln selbst bzw. den damit verbundenen Prozessen. Neben dem Eintrag von Stoffen aus landwirtschaftlicher Nutzung gibt es noch weitere Eintragspfade für Verunreinigungen des Grundwassers. Diese resultieren im Wesentlichen aus gewerblich-industriellen Produktionsprozessen einschließlich der Lagerung und Entsorgung anfallender Abfallstoffe (Deponien und Altlasten). In vielen Grundwassergebieten ist es durch die dominierende Überprägung des Grundwassers durch landwirtschaftliche Einflüsse schwierig aus anderen Quellen stammende anthropogene Verunreinigungen abzugrenzen. Durch eine methodische Erweiterung des Bewertungsalgorithmus kann bei Vorliegen detaillierter Analysenbefunde (WGEV) jedoch eine bedingte Zuordnung der anthropogenen Belastungen zu nicht landwirtschaftlichen Emittenten vorgenommen werden.

Hinsichtlich einer Bewertung der Qualitätssituation des Porengrundwassers in der Steiermark sind mehrere Belastungsquellen von Bedeutung: einerseits eher punktuelle und lineare Quellen – in erster Linie aus dem Bereich der Besiedlung, der Industrie und des Verkehrs, andererseits flächenhaft diffuse Belastungen, die in erster Linie aus dem Bereich der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung stammen. Eine dritte Quelle der Belastungen stellen auch geogene Besonderheiten dar, die sich bei einigen Parametern durchschlagen. Basierend auf der Zielsetzung des Messnetzes der WGEV sind naturgemäß Belastungssituationen aus punktuellen oder linearen Quellen eher zufällig detektiert, die flächenhafte Belastungssituation aus diffusen Einträgen und auch die geogene Hintergrundbelastung ist aber sehr gut erfassbar.

Im Folgenden sollen daher die Auswertergebnisse für die Parameter *Nitrat*, *Atrazin*, *Desethylatrazin* – als beispielhaft für flächenhaft diffusen Eintrag in erster Linie aus der Landwirtschaft – *Eisen*, *Mangan* – als beispielhafte Parameter für geogene Hintergrundbelastungen – und die flächenhafte Bewertung der *Gesamthärte* – als Summenparameter für die Gesamtmineralisierung des Grundwassers aufgezeigt werden.

Die Tab. 6 fasst die Anzahl aller WGEV-Messstellen, die Zahl der insgesamt durchgeführten Nitrat-, Atrazin- und Desethylatrazinanalysen und den jeweiligen prozentuellen Anteil derjenigen Analysen, an denen die zulässige Höchstkonzentration (ZHK) überschritten wurde, nach Porengrundwassergebieten zusammen.

Tab. 6: Anzahl der Messungen der Parameter Nitrat, Atrazin und Desethylatrazin und der jeweilige prozentuelle Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK: Nitrat 50 mg/l, Atrazin 0,1 µg/l und Desethylatrazin 0,1 µg/l) an WGEV-Messstellen von 1992 bis 2000, zusammengefasst nach Porengrundwassergebieten.

Grundwassergebiet	Messstellen	Nitrat – Messungen	Nitrat – Anteil > ZHK	Atrazin – Messungen	Atrazin – Anteil > ZHK	Desethylatrazin – Messungen	Desethylatrazin – Anteil > ZHK
Oberes Ennstal	11	215	0 %	139	0 %	139	0 %
Mittleres Ennstal	7	158	1 %	105	0 %	105	4 %
Unteres Ennstal	3	63	0 %	39	0 %	39	0 %
Oberes Murtal	10	177	0 %	110	0 %	110	0 %
Aichfeld Murboden	31	877	3 %	875	5 %	875	5 %
Mittleres Murtal	16	353	2 %	353	6 %	353	6 %
Murdurchbruchstal	12	365	1 %	365	6 %	365	12 %
Grazer Feld	43	1191	28 %	1189	57 %	1189	71 %
Leibnitzer Feld	29	887	41 %	887	42 %	887	64 %
Unteres Murtal	24	765	35 %	752	45 %	752	72 %
Muerztal	16	487	0 %	487	1 %	487	5 %
Dobreintal	1	12	0 %	8	0 %	8	0 %
Seckau – Rachau	4	52	0 %	52	2 %	52	2 %
Katsch Mur	2	26	0 %	26	38 %	26	46 %
Poelstal	9	237	0 %	237	1 %	237	0 %
Liesingtal	8	187	0 %	123	0 %	123	2 %
Vordernbergerbachtal	6	124	1 %	77	0 %	77	0 %
Tragoess	1	13	0 %	9	0 %	9	0 %
Paltental	5	70	0 %	70	0 %	70	0 %
Olsabach	1	13	0 %	8	0 %	8	0 %
Lainsach – Schladnitz	3	39	0 %	38	0 %	38	0 %
Raabtal	17	309	5 %	308	28 %	308	37 %
Feistritztal	25	381	22 %	381	47 %	381	58 %
Ilztal	4	127	11 %	127	6 %	127	28 %
Lafnitztal	15	251	1 %	249	6 %	249	9 %
Pinkatal	3	73	0 %	73	5 %	73	3 %
Lendvatal	3	71	20 %	71	51 %	71	54 %
Grabenland	4	55	20 %	55	49 %	55	47 %
Kainachtal	13	251	2 %	239	11 %	239	20 %
Lassnitztal	12	236	4 %	236	11 %	236	19 %
Sulmtal	13	280	19 %	280	19 %	280	35 %
Saggautal	8	190	3 %	190	5 %	190	16 %
Steiermark-Gesamt	359	8535	14 %	8158	24 %	8158	34 %

Die Nitratkonzentrationen im Porengrundwasser divergieren. In den untersuchten Tälern der Obersteiermark gibt es nur eine Messstelle (Mittleres Murtal) an der die mittlere Nitratkonzentration von 1992 bis 2000 über 50 mg/l lag. Außer im östlichen Bereich von Aichfeld-Murboden befinden sich in der Obersteiermark auch keine größere Zahl von Messstellen an denen die mittlere Nitratkonzentration über der Richtzahl von 25 mg/l lag.

Die Porengrundwasserfelder mit den höchsten Nitratkonzentrationen sind das Leibnitzer Feld und Grazer Feld, das Untere Mur- und Feistritztal. Im Grazer Feld wurde im Rahmen der WGEV bei 28 % aller Nitratanalysen eine Überschreitung der ZHK festgestellt. An 11 von 43 WGEV-Messstellen liegt die mittlere Nitratkonzentration über der ZHK, an 24 weiteren Messstellen über der Richtzahl.

In Fig. 39 und Fig. 40 ist die räumliche Verteilung der WGEV-Messstellen mit dem prozentuellen Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration an Nitrat und Atrazin an allen Messterminen im Zeitraum 1992 bis 2000 dargestellt. Die räumliche Verteilung der Messstellen mit dem prozentuellen Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentrationen an Atrazin (Fig. 40) zeigt eine ähnliche Verteilung wie bei Nitrat.

In den intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten, wie dem Grazer Feld, dem Leibnitzer Feld, dem Unteren Murtal und Feistritztal, sowie in den übrigen untersuchten Gebieten der Ost- und Weststeiermark wurden am überwiegenden Teil der Messstellen an mehr als einem Viertel der Untersuchungen die zulässige Höchstkonzentration überschritten (vgl. Tab. 6).

In den oben angesprochenen Grundwassergebieten ist die Nitratbelastung des Grundwassers auch heute noch ein zentrales Thema bezüglich der Trinkwasserversorgung der Bevölkerung. Es zeigt sich jedoch sehr deutlich die Wirkung der zur Sanierung des Nitratproblems gesetzten Maßnahmen (Fig. 41). Die Einrichtung von Schutz- und Schongebieten und die Umsetzung der darin enthaltenen Bewirtschaftungseinschränkungen im Zusammenhang mit begleitenden wissenschaftlichen Programmen führten dazu, dass in den meisten Trinkwassergewinnungsanlagen heute einwandfreie Trinkwasserqualität unter Einhaltung der Trinkwassergrenzwerte gewonnen werden kann.

Noch eindeutiger als die Gehalte des Grundwassers an Nitrat sind die Konzentrationen von Pflanzenschutzmitteln in den Analyseergebnissen der intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zuzuordnen. Die zulässige Höchstkonzentration bei Atrazin (für Trinkwasser) beträgt 0,1 µg/l. Aufgrund des Verbotes von Atrazin zeigen die Zeitreihen der Atrazinkonzentration naturgemäß in den meisten Fällen eine deutlich rückläufige Tendenz (Fig. 42).

102. Seite links vakat

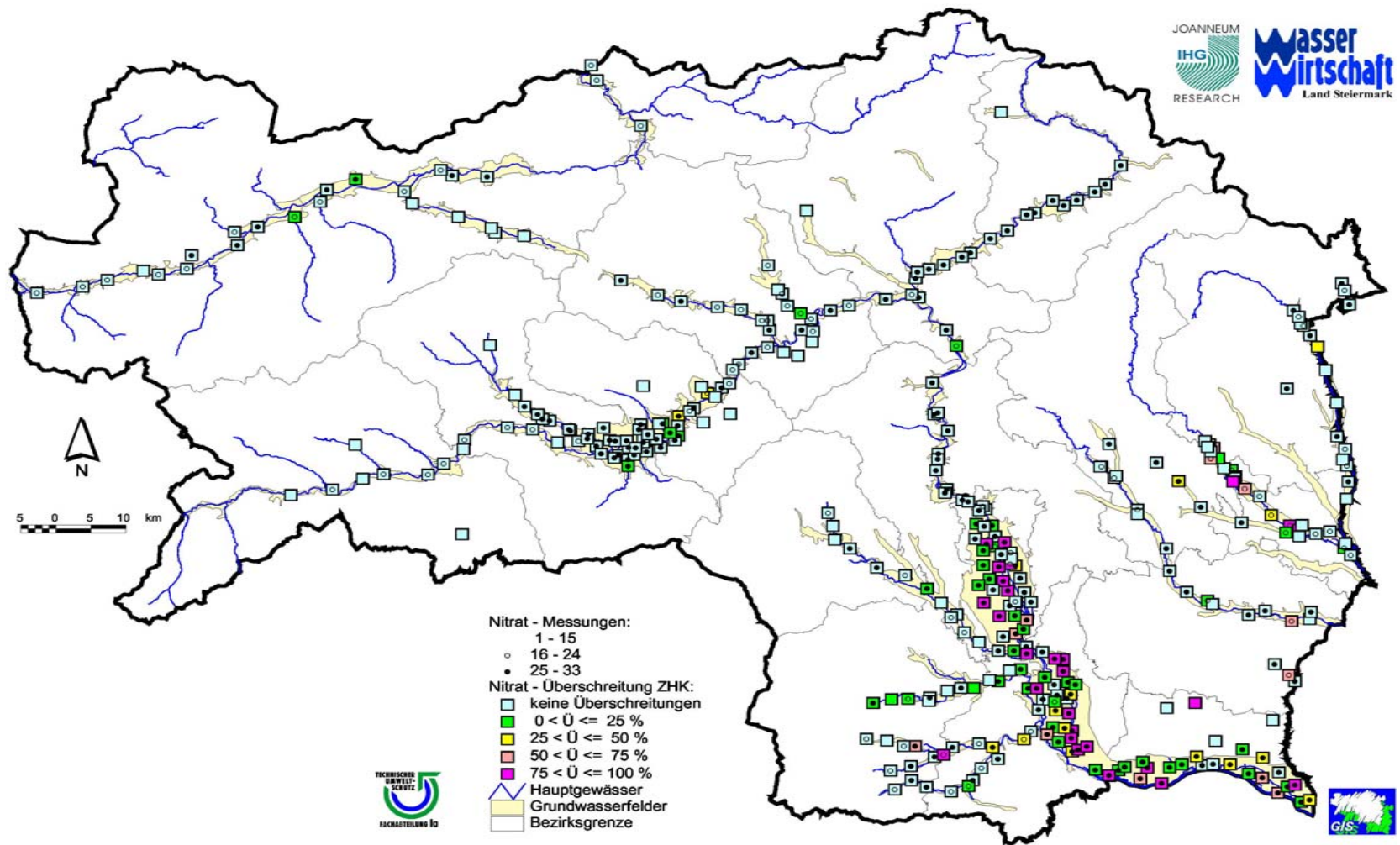


Fig. 39: Wasserversorgungsplan Steiermark – Grundwasserqualität: Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von

Nitrat (50 mg/l) an den WGEV-Messstellen im Porengrundwasser (1992 bis 2000).

104. Seite links vakat

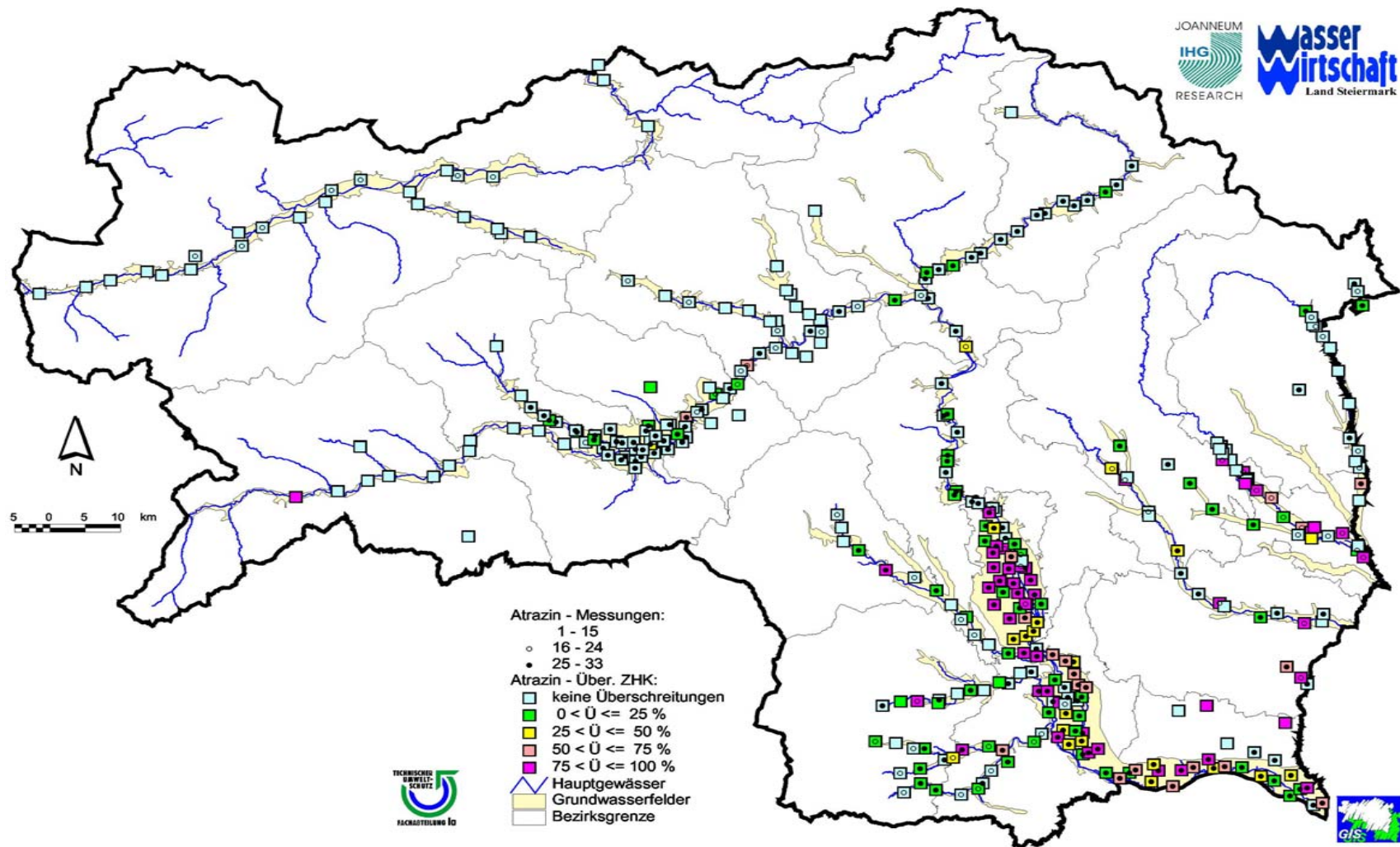


Fig. 40: Wasserversorgungsplan Steiermark – Grundwasserqualität: Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentration von

Atrazin (0,1 µg/l) an den WGEV-Messstellen im Porengrundwasser (1992 bis 2000).

106. Seite links vakat

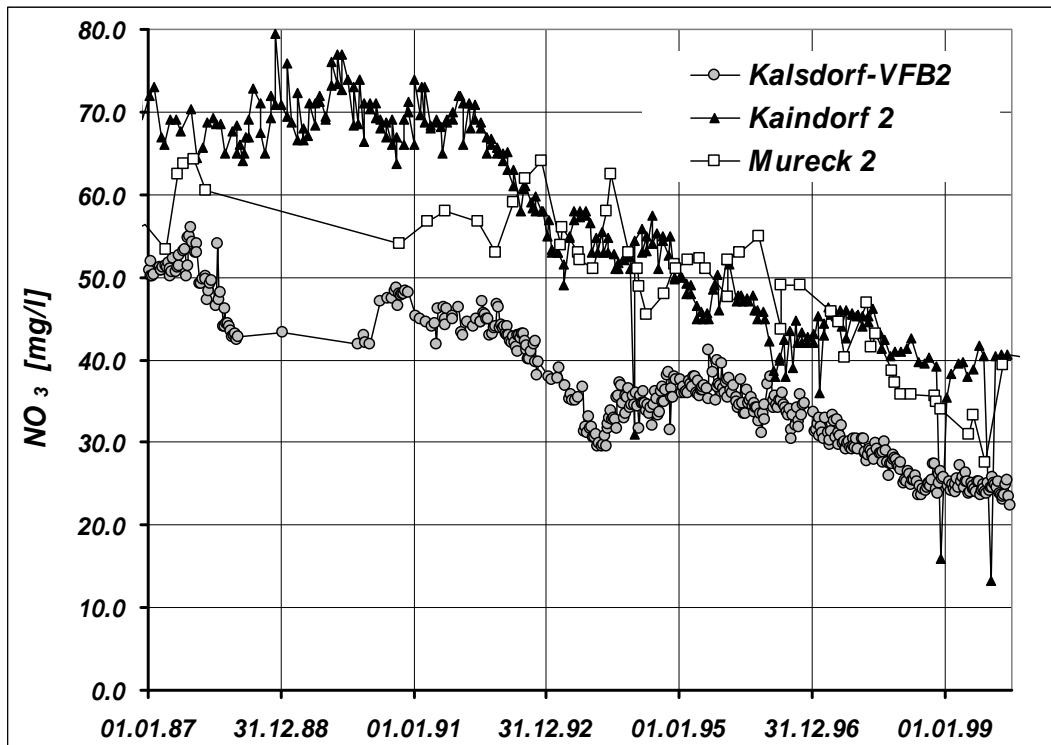


Fig. 41: Entwicklung der Nitratkonzentration im Wasser der Wasserversorgungsanlagen Kalsdorf (Grazer Feld), Kaindorf a.d. Sulm (Leibnitzer Feld) und Mureck (Unteres Murtal) von 1987 bis 2000.

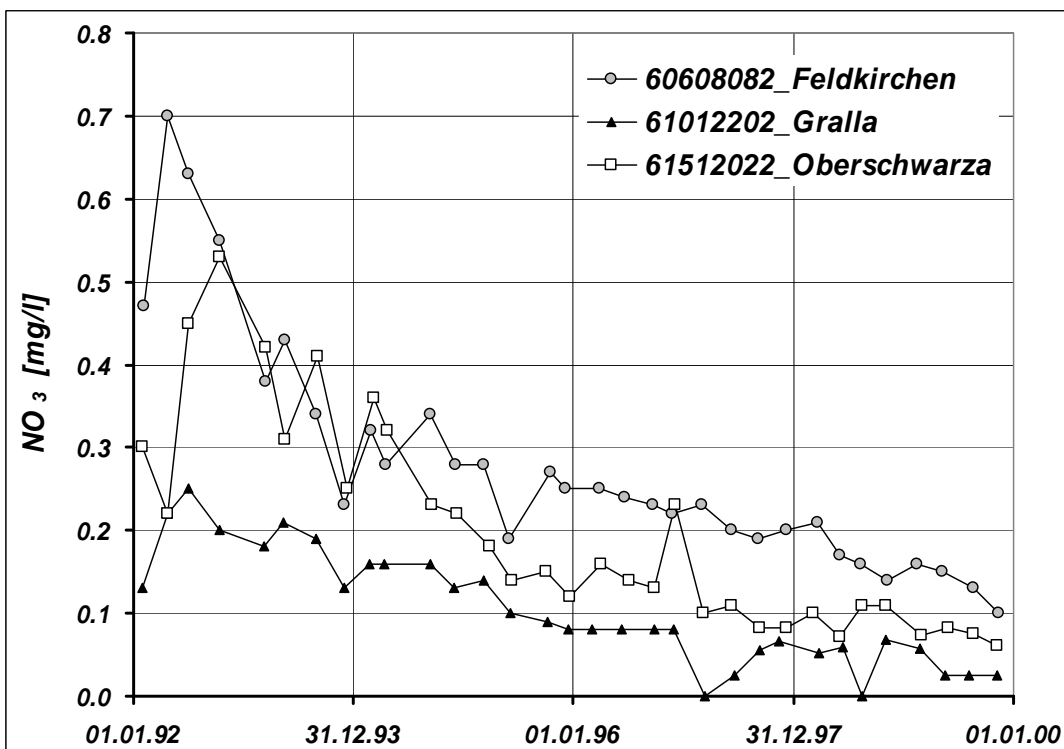


Fig. 42: Entwicklung der Atrazinkonzentration im Grundwasser des Grazer Feldes (60608082_Feldkirchen), des Leibnitzer Feldes (61012202_Gralla) und des Unteren Murtales (61512022_Oberschwarza) von 1992 bis 2000.

In Teilbereichen wird auch in den zentralen Bereichen der Grundwasserefelder mit intensiver landwirtschaftlicher Bewirtschaftung die ZHK bereits unterschritten.

Wie bei Atrazin beträgt die zulässige Höchstkonzentration von Desethylatrazin 0,1 µg/l. Da es sich bei Desethylatrazin um ein Abbauprodukt von Atrazin handelt, ist eine beinahe deckungsgleiche räumliche Verteilung der mit diesem Herbizid belasteten Messstellen zu erwarten. Die Anzahl der Analysen auf Desethylatrazin und der prozentuelle Anteil der Analysen, an denen der Gehalt am angesprochenen Wirkstoff über der ZHK im Zeitraum 1992 bis 2000 gelegen war, geordnet nach den Grundwassergebieten der Steiermark ist aus Tab. 6 ersichtlich.

Wie aus Fig. 43 deutlich erkennbar, ist auch die zeitliche Entwicklung der Belastungssituation des Grundwassers im Grazer Feld, im Leibnitzer Feld und im Unteren Murtal bezüglich des Parameters Desethylatrazin sehr gut mit derjenigen von Atrazin vergleichbar, allerdings sind hier in größeren Teilbereichen auch heute noch Werte über der ZHK anzutreffen.

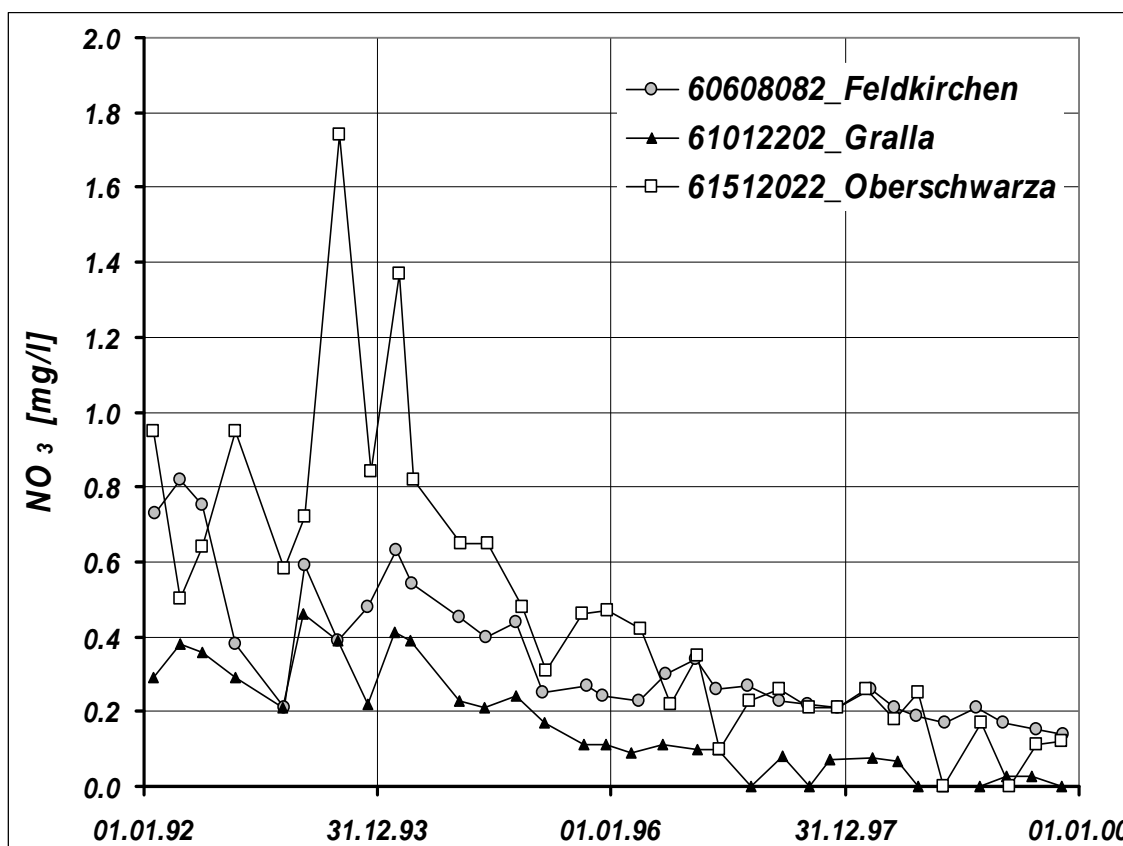


Fig. 43: Entwicklung der Desethylatrazinkonzentration im Grundwasser des Grazer Feldes (60608082_Feldkirchen), des Leibnitzer Feldes (61012202_Gralla) und des Unteren Murtales (61512022_Oberschwarza) von 1992 bis 2000.

Eisen und Mangan liegen im Untergrund als weitgehend unlösliche Fe III- und Mn III- bzw. Mn IV-Verbindungen vor. Bei der Eisen- und Manganreduktion und Oxidation sind Eisen- und Mangan-Mikroben beteiligt. Die Tab. 7 gibt die Anzahl der WGEV-Messstellen, untergliedert nach Grundwassergebieten, mit deren prozentuellen Anteil an Überschreitung der ZHK von 0,2 mg/l Eisen bzw. der ZHK von 0,05 mg/l Mangan wieder.

Tab. 7: Anzahl der Messungen der Parameter Eisen und Mangan und der jeweilige prozentuelle Anteil der Überschreitungen der zulässigen Höchstkonzentrationen (ZHK: Eisen 0,2 mg/l und Mangan 0,05 mg/l) an WGEV-Messstellen von 1992 bis 2000, zusammengefasst nach Porengrundwassergebieten.

Grundwassergebiet	Messstellen	Eisen – Messungen	Eisen – Anteil > ZHK	Mangan – Messungen	Mangan – Anteil > ZHK
Oberes Ennstal	11	214	17 %	214	18 %
Mittleres Ennstal	7	158	13 %	158	13 %
Unteres Ennstal	3	63	0 %	63	0 %
Oberes Murtal	10	168	5 %	168	5 %
Aichfeld Murboden	31	823	7 %	823	4 %
Mittleres Murtal	16	351	7 %	351	4 %
Murdurchbruchstal	12	346	8 %	346	8 %
Grazer Feld	43	1117	3 %	1117	4 %
Leibnitzer Feld	29	835	3 %	835	5 %
Unteres Murtal	24	717	16 %	717	21 %
Mürztal	16	453	7 %	453	2 %
Dobreintal	1	12	8 %	12	0 %
Seckau – Rachau	4	52	12 %	52	15 %
Katsch Mur	2	26	46 %	26	50 %
Poelstal	9	225	2 %	225	11 %
Liesingtal	8	187	1 %	187	3 %
Vordernbergerbachtal	6	124	2 %	124	2 %
Tragoess	1	13	8 %	13	0 %
Paltental	5	70	20 %	70	19 %
Olsabach	1	13	8 %	13	0 %
Lainsach – Schladnitz	3	39	0 %	39	0 %
Raabtal	17	309	30 %	309	42 %
Feistritztal	25	358	33 %	358	42 %
Ilztal	4	119	28 %	119	33 %
Lafnitztal	15	251	51 %	251	54 %
Pinkatal	3	73	7 %	73	29 %
Lendvatal	3	71	1 %	71	1 %
Grabenland	4	55	5 %	55	51 %
Kainachtal	13	251	15 %	251	25 %
Lassnitztal	12	233	6 %	233	30 %
Sulmtal	13	279	13 %	279	20 %
Saggautal	8	189	6 %	189	9 %
Steiermark-Gesamt	359	8194	11 %	8194	14 %

Erhöhte Eisen- und Mangankonzentrationen sind meist geogen bedingt und treten deshalb im Grundwasser vor allem bei reduzierenden Verhältnissen auf. Dies ist vor allem dort der Fall, wo dichte und mächtige Böden die Sauerstoffzufuhr ins Grundwasser verringern. Dies ist besonders in den Tälern der Oststeiermark mit seinen periglazialen Einzugsgebieten der Fall. Die durch das feinere Sedimentdargebot dichtere Bodenmatrix (Pseudogleye, Gleye, Auböden) führt zu reduzierenden Verhältnissen im Grundwasser und die wiederum zu erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen.

Im Feistritz-, Ilz-, Raab- und Lafnitztal lag der Anteil der Überschreitungen der ZHK von Eisen, zwischen 28 und 51 %. Auch die Seetonablagerung im Oberen und Mittleren Ennstal sowie im Paltental schaffen reduzierende Verhältnissen, die vielerorts zu erhöhten Eisen- und Mangankonzentrationen führen.

Die Betrachtung der Verteilung der Gesamthärte im Porengrundwasser der Steiermark als Maß für die Gesamtmineralisierung – eruiert als Mittelwert der Beobachtungen an den WGEV-Messstellen – ergab flächenhaft die höchsten Gesamthärten vor allem im Grazer- und Leibnitzer Feld (Mittelwerte zwischen 14 und 26 ° dH). In den Tälern der Obersteiermark, aber auch in den Tälern der Ost- und Weststeiermark liegt die Wasserhärte deutlich darunter.

4.3 Tiefengrundwasser

4.3.1 Überblick

Die Ablagerungen aus dem Neogen und Pliozän im Steirischen Becken weisen einen Wechsel von minderdurchlässigen (tonig-schluffigen) und durchlässigen (sandig-kiesigen) Sedimenten auf. Durch die stärker marin betonten Ablagerungen in der Südweststeiermark und den damit verbundenen feinklastischen Sedimenten ist dort das Vorkommen gespannter Grundwasserhorizonte sowohl von der lateralen Ausdehnung als auch von der Mächtigkeit begrenzt. Das Interesse auf artesische Aquifere ist daher in erster Linie auf die Oststeiermark, Flussgebiete der Raab, Feistritz und Lafnitz ausgerichtet. Eine Sonderstellung nimmt das Grabenland ein, wo durch den miozänen und pliozänen Vulkanismus die Tiefenwässer örtlich hoch mineralisiert, durch CO₂ angereichert und dadurch für eine kommunale Trinkwasserversorgung nicht geeignet sind.

Eine Bewertung der Vorkommen gespannter Grundwässer im Steirischen Becken muss nach dem heutigen Kenntnisstand noch sehr unvollständig sein, wiewohl in den letzten Jah-

ren große Anstrengungen über die Abteufung neuer Erschließungsbohrungen, geophysikalische Struktur- und Bohrlochmessungen sowie chemisch-isotopenhydrologische Einzelanalysen unternommen wurden. Generell ist dazu auszuführen, dass eine Vielzahl von ineinander verzahnten Horizonten vorliegt, wobei deren Einzugsgebiet und Grundwasserneubildung nur in lokalem oder regionalem Rahmen bekannt ist (Raum Grafendorf – Seibersdorf bei Hartberg, unteres Safental).

4.3.2 Versuchsbohrungen

Die für Versuchs- und Untersuchungszwecke abgeteuften Bohrungen sind in erster Linie im nördlichen Abschnitt des Oststeirischen Beckens situiert. Für das Weststeirische Becken weisen bereits die bestehenden Unterlagen auf die äußerst geringe Höffigkeit gespannter Grundwässer hin, ein Ausdruck vornehmlich mariner Verhältnisse im unteren und mittleren Miozän. In diesem Teil des Beckens wurden daher keine neuen Aufschlüsse angesetzt.

Der Untersuchungsansatz für den südlichen Teil des Oststeirischen Beckens beschränkt sich auf einige wenige Bohrungen im Weizbachtal (St. Ruprecht), im Rabnitztal (Kumberg) und im Raabtal (St. Margarethen, Höflach). Eine Korrelation von Horizonten ist trotz des Vorliegens einiger Bohrprofile aus kommunalen Versorgungsbohrungen nicht möglich. Es existieren wohl einige chemische Analysen, sie sind aber nicht aussagekräftig, wohl auch, weil die analytische Parameterreihe zum großen Teil unvollständig ist.

Unter Berücksichtigung der Sedimentationsgenese, in mehreren Abhandlungen ausführlich beschrieben, den vorliegenden geologischen Bohrprofilen an den Erkundungsaufschlüssen und der chemischen Zusammensetzung der Tiefenwässer ist es lokal und regional möglich, die Verbreitung von Leithorizonten nachzuvollziehen (Fig. 44).

Die tiefer gelegenen Aquifere wurden wahrscheinlich alle im Sarmat angelegt. Sie neigen im Gegensatz zu den seichteren zu einer stärker flächenhaften Verbreitung. In der Grafendorfer Bucht sind die tieferen Aquifere durch eine NNW-SSE-Erstreckung gekennzeichnet, wahrscheinlich durch die Anreicherung aus dem Reibersbach, der vom Masenberg kommend, Sarmatsande quert und dort Wasser verliert.

Die nächsten Ansätze für Tiefenaquifere sind am Übertritt großer Flusstäler in das Vorland zu suchen. Im Tal der Pöllauer Safen ist an Bohrungen bei Kaindorf ein Grundwasserkörper in 270–250 m Sh aufgeschlossen, der nach Südosten geneigt ist. Beim Austritt des Feistritztales aus dem Grundgebirge ist bei Hirnsdorf ein Aquifer in 300–290 m Sh angefahren wor-

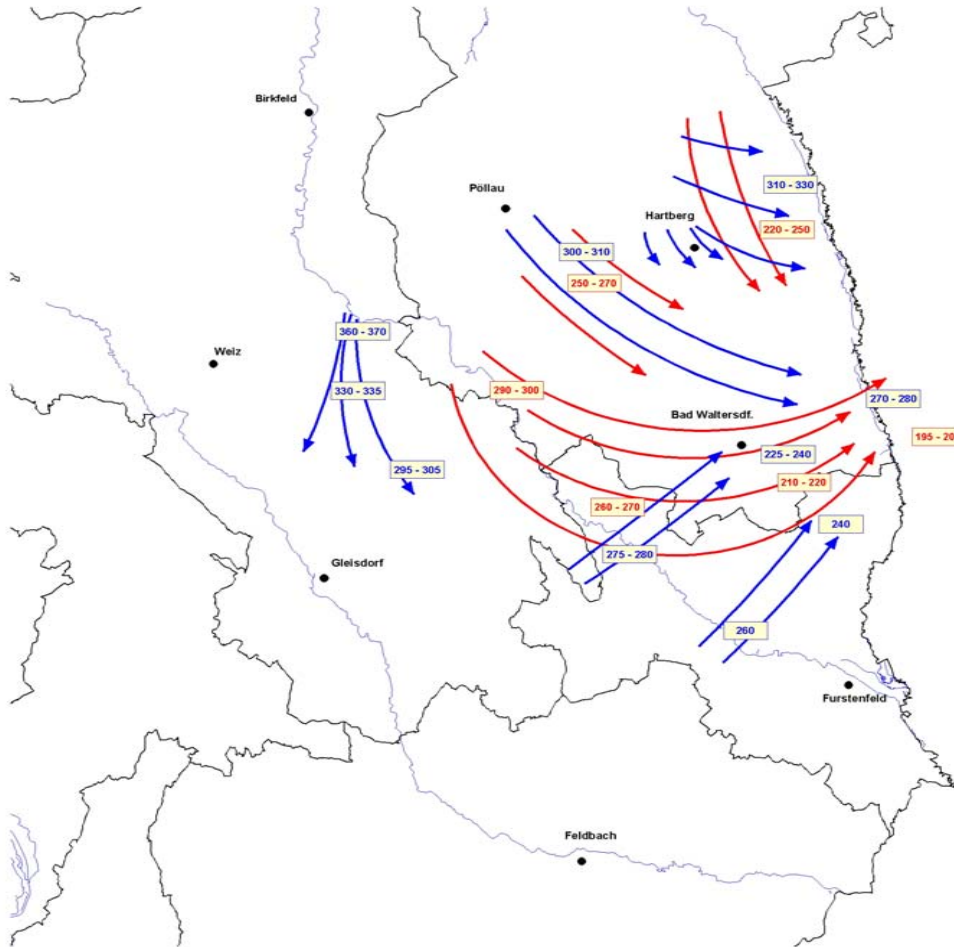
den, der weiter im Südosten bei Kroisbach, Großsteinbach und Großhartmannsdorf in 270–260 m Sh anzutreffen ist. Aus der Sedimentationsanalyse erweitert er sich von hier nach Osten, im Safental bei Waltersdorf und Leitersdorf liegt er in 220–210 m Sh und noch weiter im Osten, bei Neudau in 205–195 m Sh. Ob er sich in diesem Raum mit dem Tiefenaquifer von Kaindorf vereinigt, ist nicht nachweisbar.

Schließlich ist es auch möglich, die Sedimentation der „Urfeistritz“ zwischen dem alluvialen Becken von Unterfeistritz und dem oberen Ilztal zu hinterfragen. In Unterfeistritz besteht ein Horizont in 370–360 m Sh, der in seiner Süderstreckung bei Puch/Weiz etwa 20 m tiefer liegt. Bei Rollsdorf im oberen Ilztal wurde er bei 330 m Sh angefahren, er senkt sich ilzabwärts bis Neudorf auf ca. 300 m Sh ab.

Die seichteren gespannten Grundwasserhorizonte in diesem Großraum sind großteils rinnenförmig angelegt, gemäß dem fluviatilen Sedimentationszyklus im Pannon. Das bekannteste Rinnensystem liegt zwischen dem unteren Feistritz- und Safental, das auf eine Länge von etwas mehr als 5 km durch drei Bohrungen in der Längsachse aufgeschlossen ist. Aus einer Aquiferteufe von 240–235 m Sh in Blumau und einem Gefälle von ca. 4 ‰ lässt sich das Infiltrationsgebiet in Großwilfersdorf deutlich ausmachen. Etwas überraschend ist die Richtung des Aquifers nach Nordosten, sie weist auf ein Senkungsfeld im unteren Lafnitztal hin. Ähnliches gilt für den Horizont von Obgrün, im Feistritztal in 280–275 m Sh gelegen. Die Rinne erstreckt sich ENE in Richtung Waltersdorf (240–230 m Sh). Der seichte gespannte Aquifer von Kaindorf (310–300 m Sh) dürfte sich etwas weiter im Osten, im Bereich von Wörth – Neudau, in etwa 280–270 m Sh wiederfinden.

Weiter im Norden sind auch die seichteren Aquifere durch sarmatische Ablagerungen geprägt. Rund um den Hartberger Ringkogel bestehen lokale Grundwasserkörper. Aus dem Masenberg, im Einzugsgebiet von Grein- und Stambach, haben sich auch lokale und kleinregionale Aquifere gebildet (etwa 330–310 m Sh), die durchwegs zum Beckentieferen nach Osten einfallen.

Generell ist der **Chemismus** der Wässer nicht auffallend. Signifikante Unterschiede bietet von den gemessenen Stoffen lediglich das Natrium. Die seichtliegenden gespannten Wässer der pannonen Schichtfolge erreichen die Grenze von 10 mg/l durchwegs nicht, während der größte Aquifer, der sich vom Feistritztal nach Osten über das Safen- zum Lafnitztal erstreckt, einen Na-Gehalt von örtlich über 100 mg/l aufweist. Die meisten Wässer liegen zwischen 70 und 90 mg/l.



Legende

seichte Aquifere
 Sedimentationsrichtung
 Höhenangabe (mSh)

tiefe Aquifere
 Sedimentationsrichtung
 Höhenangabe (mSh)

 Bezirksgrenze
 Gewässernetz

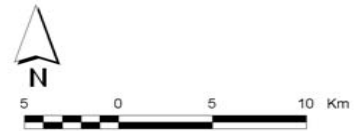


Fig. 44: Wasserversorgungsplan Steiermark – Tiefenwässer im Oststeirischen Becken.

114. Seite links vakat

Die **Ergiebigkeit** im nördlichen Abschnitt ist durch die Auslaufversuche im Grafendorf und Seibersdorf einigermaßen bekannt, sie dürfte im Osten und Südosten in der Größenordnung von mehreren l/s liegen. Der Raum Wörth – Neudau ist durch eine beachtliche Ergiebigkeit gekennzeichnet. Eine Dauerentnahme von mehr als 10 l/s ist durchaus denkbar, zumal hier in der Tiefenverteilung beide Systeme, sowohl das seichte Rinnensystem als auch das tiefere Flächensystem nachgewiesen sind. Auch grundwasserstromaufwärts könnten z.B. im Safental 7–8 l/s und im Feistritztal etwa 10 l/s entnommen werden. Kaum ergiebig sind die Rinnenaquifere des Pannon, weniger wegen einer geringen Permeabilität sondern wegen ihrer Kleinräumigkeit. Als Beispiel hierfür dient Blumau, wo kaum 1 l/s entnommen werden kann. In dasselbe Bild passt auch der Aquifer von Obgrün und die unterirdische Verbindung zwischen dem mittleren Feistritz- und dem oberen Ilztal.

4.3.3 Wasserwirtschaftliche Bedeutung von Tiefengrundwässern

Die Neubildung von Tiefengrundwässern erfolgt entweder über die direkte flächenhafte Infiltration aus dem Niederschlag, über seichtliegende Talgrundwässer, wenn diese in Kontakt mit auskeilenden wasserführenden Schichten stehen, oder über Oberflächengerinne, wenn diese in einen abtauchenden Horizont Wasser abgeben. Wenngleich alle diese drei Möglichkeiten im Steirischen Becken bestehen, bieten die letzten beiden Ansätze die Garantie einer laufenden Grundwasseralimentation, während die Neubildung aus der Versickerung von Niederschlägen den stark schwankenden meteorologischen Bedingungen ausgesetzt ist. Einen Nachweis hierfür bieten Druckspiegelmessungen, die bei der flächenhaften Infiltration größere Spiegelschwankungen mit sich bringen als bei der Versickerung von Oberflächen- und seichtliegendem Grundwasser.

Aus diesen Gründen wird eine wasserwirtschaftliche Relevanz für die Nutzung von Tiefengrundwässern dort zu suchen sein, wo Einzugsgebiet und Neubildungsrate bekannt sind und die Gewähr für eine laufende Auffüllung eines genutzten Horizontes gegeben ist. Es ist daher dafür zu sorgen, Tiefengrundwässer sowohl in qualitativer als auch in mengenmäßiger Hinsicht zu schützen. Bei einer starken quantitativen Beanspruchung von Tiefenwässern ist ein Schutz des Druckgebietes vorzusehen. Mit der Einrichtung eines Schongebietes über das flächenhaft ausgedehnte Druckgebiet könnte damit eine Übernutzung des Vorkommens verhindert werden. Die Einrichtung von Schongebieten wird als geeignetes Instrument zum Schutz der Tiefengrundwässer sowie zur Sicherung der künftigen Wasserversorgung angesehen. Die besonderen Eigenschaften der Wässer, vor allem ihre lange Verweildauer im Untergrund und die Abdeckung nach oben mit minder durchlässigen Schichten eignen sie zwar vortrefflich für eine Nutzung als Trinkwasser, doch sind die Kenntnisse über ihre Neubildung

aufgrund der komplizierten geologischen und hydraulischen Verhältnisse vielerorts noch nicht ausreichend, um eine gesicherte Wasserversorgung zu betreiben. Trotzdem haben die in den letzten Dezennien abgeteufte und getesteten Aufschlussbohrungen gezeigt, dass örtlich und auch regional Ressourcen nutzbar sind und die Trinkwasserversorgung in der Oststeiermark durchaus substituiert und eine Notwasserversorgung voll abgedeckt werden kann.

4.4 Zusammenfassung und Bewertung der Wasservorkommen

Den überwiegenden Anteil der **Karstwasservorkommen** in der Steiermark bilden schon aufgrund der flächenmäßigen Verbreitung der Aquifergesteine die Vorkommen der Obersteiermark nördlich der Enns bzw. weiter nach Osten fortschreitend die bekannten Vorkommen des Hochschwabmassivs. In diesen Bereichen gibt es fast ausschließlich Quellwasserversorgung und hier wiederum in vielen Fällen Karstwassernutzung, wobei das Beispiel der II. Wiener Hochquellenleitung aus dem Salzatal bzw. die später errichteten Nutzungseinrichtungen des Wasserverbandes Hochschwab-Süd besonders hervorzuheben sind. Die großen Quellen sind meistens genutzt oder sie bieten sich für eine Verwendung als Trinkwasser wegen qualitativer Probleme oder großer Schüttungsschwankungen (bis zum Trockenfallen bei Niederwasser) nicht an. Nur wenige Unterlagen in Form von Publikationen und anderen Studien bei vergleichsweise hoher Regenerierung aufgrund der Untersuchung der Abflussspende bei MoMNQ liegen für nachstehende Karstwasserbereiche vor:

- Haller Mauern und Buchstein: Karstwasserneubildung 600–800 mm/a
- Veitschalpe und Tonion: Karstwasserneubildung 500–600 mm/a

Entsprechend der Reihenfolge ihrer Bedeutung sind dann alle Karstwasservorkommen aus den paläozoischen Karbonatgesteinen zu nennen und schließlich mit im Vergleich untergeordneter Bedeutung die an tertiäre Karbonatgesteine gebundenen Vorkommen. Eine nähere nutzungsorientierte Betrachtung ist nur für lokale Problemstellungen zielführend.

Die **Kluftwasservorkommen** der Steiermark sind meist sehr stark mit der guten Speicherung im darüberliegenden Verwitterungsmantel oder in quartären Lockersedimenten verknüpft. Bezüglich der Wasserhöflichkeit sind hier vor allem die Blockgletscherquellen der Niederen Tauern und Seetaler Alpen zu nennen, die allerdings mit großen Schüttungsschwankungen behaftet sind. Es ist allerdings auffallend, dass die Kambereiche der Niederen Tauern mit Neubildungsraten von örtlich über 1000 mm/a ausgestattet sind und auch in den Talregionen 300 mm/a kaum unterschritten werden. Es empfiehlt sich daher, neben den

Blockgletscherquellen auch andere Bereiche hinsichtlich der Nutzbarkeit ihrer Quellen und Grundwässer zu überprüfen.

Im Bogen des Steirischen Randgebirges ist gegen Nordosten eine Abnahme der Neubildung unterirdischen Wassers aus der Betrachtung der MoMNq unverkennbar. Die höchste Versickerungsrate ist der südlichen Koralm eigen, einem Gebiet mit mächtigem Verwitterungsmantel und örtlichen Marmorzügen. Nimmt man die Gebirgsstöcke als Ganzes, so liegt die mittlere Neubildung auf der Koralpe bei etwa 300 mm/a, in den Fischbacher Alpen sinkt sie auf ca. 200 mm/a. Am Nordostrand des Randgebirges sind nennenswerte unterirdische Wasservorräte nur im Bereich des Hochwechsels gespeichert.

In qualitativer Hinsicht kann für den Großteil der Karst- und Kluftwässer aufgrund der extensiven Landnutzung in den Gebirgen und Mittelgebirgen von einem weitgehend befriedigenden Zustand gesprochen werden, in den tieferen Lagen ist naturgemäß der anthropogene Einfluss höher. Eine bakteriologische Gefährdung im Kristallin ist meist fassungsbedingt, bzw. in manchen Fällen durch Anreicherung aus einem Oberflächengerinne gegeben. Im Karst hingegen können sogar im Hochgebirge durch rasche Infiltration und Durchfluss zum Quellaustritt Verkeimungen auftreten. Eine Ausnahme stellt der Dolomitkarst dar, in dem meist eine gute Speicherung gegeben ist.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand lassen sich die Ressourcen der bedeutendsten **seicht-liegenden Porengrundwassergebiete** der Steiermark in drei Gruppen (Fig. 45) zusammenfassen:

1. **Bereiche mit geringen Reserven:**

In diese Bereiche fallen die Tallandschaften der Ost- und Weststeiermark und das Palten-tal in der Obersteiermark, in denen sich aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse keine geeigneten Speicher zur Retention größerer Grundwasserreserven ausgebildet haben. Die Grundwassernutzung erfolgt hier in erster Linie in Form von Einzelwasserversorgungen und zum Teil auch durch kommunale Wasserversorgungen.

2. **Porengrundwassergebiete mit großer Ergiebigkeit aber kaum verbleibenden Reserven:**

In diese Gruppe fallen die größten und ergiebigsten Porengrundwasserfelder der Steiermark, wie Aichfeld-Murboden, das Grazer Feld, das Leibnitzer Feld und das Untere Murtal.

Während in den südlichen Landesteilen (im Murtal südlich von Graz bis Radkersburg) die

Grundwasserreserven heute bereits an die Grenze der erschotbaren Mengen stoßen und dieses Trinkwasser zur überregionalen Versorgung der westlichen, östlichen und südlichen Bereiche der Steiermark genutzt wird, erscheinen in den Tallandschaften des Murtales nördlich von Graz unter Berücksichtigung konsentierter Entnahmemengen im Vergleich zur Bedarfssituation in der Region noch größere erschotbare Wassermengen vorhanden zu sein. Im Gegensatz zu den südlichen Landesteilen ist in diesen Gebieten auch die qualitative Situation des Porengrundwassers als ausgezeichnet zu bezeichnen.

3. Porengrundwassergebiete, in denen noch Reserven möglich erscheinen:

Zu dieser Gruppe gehört in erster Linie das Ennstal, das Mürztal, das obere Murtal und Seitenzubringer zum Murtal aus der Obersteiermark (Pölstal, Liesingtal, Vordernbergbachtal, Lamingbachtal) sowie einzelne inneralpine Tallandschaften, die durch Porengrundwasserleiter gefüllt sind (Ilgnerbachtal, Seebachtal).

Aufgrund der geologischen Situation und der bisher bekannten hydrogeologischen Kenngrößen wären hier durchaus noch weitere Trinkwasserentnahmen größerer Quantität bei hervorragender Qualität möglich. Zur Erfassung dieser Ressourcen sind aber durchwegs noch zusätzliche umfassende und flächendeckende Untersuchungen notwendig (vgl. auch Fig. 46).

Eine nachhaltige Nutzung von **Tiefengrundwässern** ist nur im Oststeirischen Becken möglich. Aufschlussbohrungen wurden hier vor allem im Einzugsgebiet der Feistritz und Lafnitz abgeteuft, was in lokalen und regionalen Abschnitten die Korrelation von Grundwasserhorizonten zulässt. Unter Berücksichtigung von Durchlässigkeit, Schichtmächtigkeit und Entnahmeversuchen liegen die größten Ergiebigkeiten im Raum

- Grafendorf
- Kaindorf – Ebersdorf
- Waltersdorf – Leitersdorf
- Wörth – Neudau

Diese Bereiche sollten durch Detailuntersuchungen hinsichtlich ihrer Ergiebigkeit quantifiziert werden. Weiters wird empfohlen, das Aufschlussprogramm der FA 3a weiterzuführen und im Einzugsgebiet der Raab zu intensivieren.

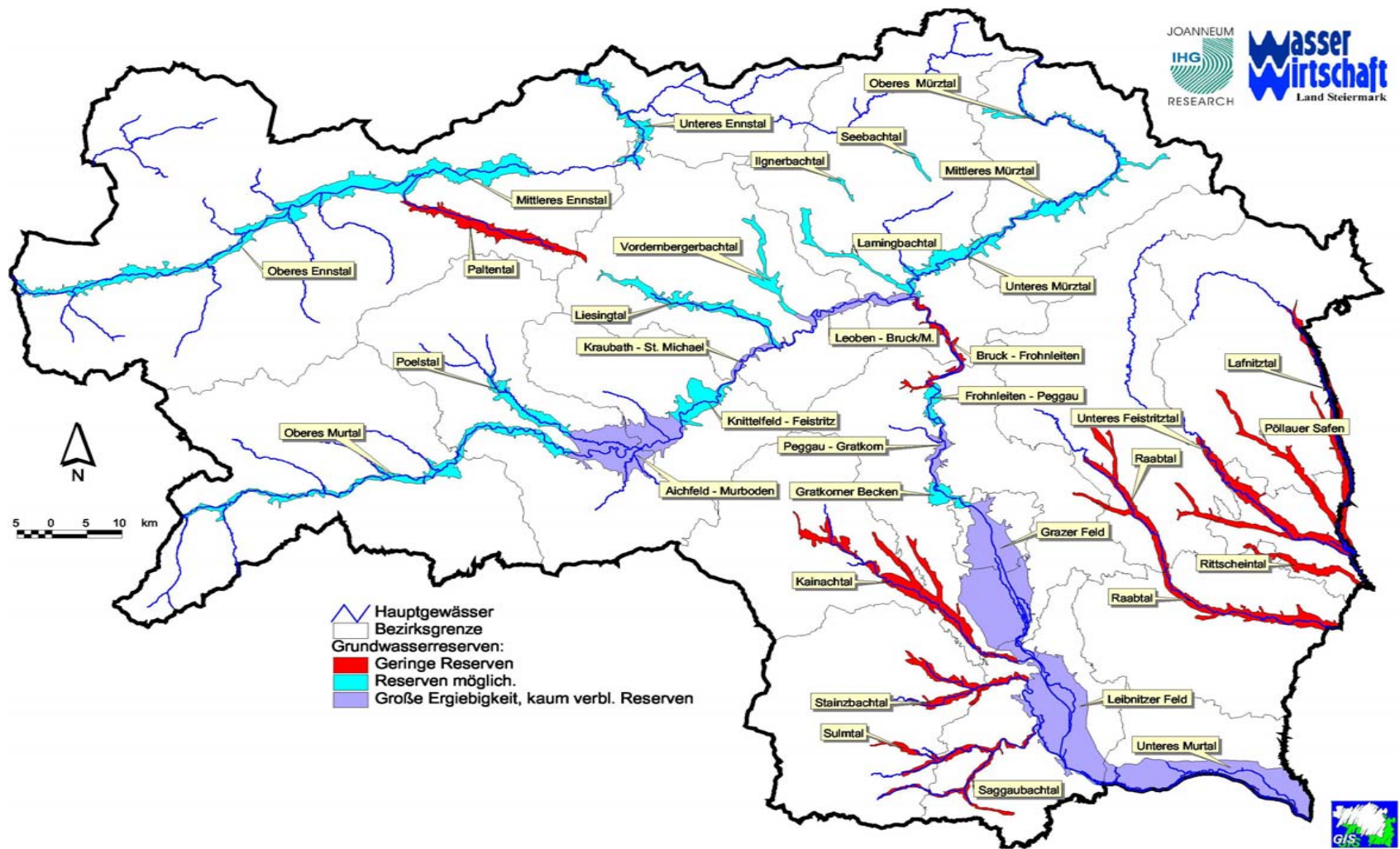


Fig. 45: Wasserversorgungsplan Steiermark – Porengrundwasser: Grundwasserressourcen der bedeutendsten Porengrundwasserfelder

der Steiermark.

120. Seite links vakat

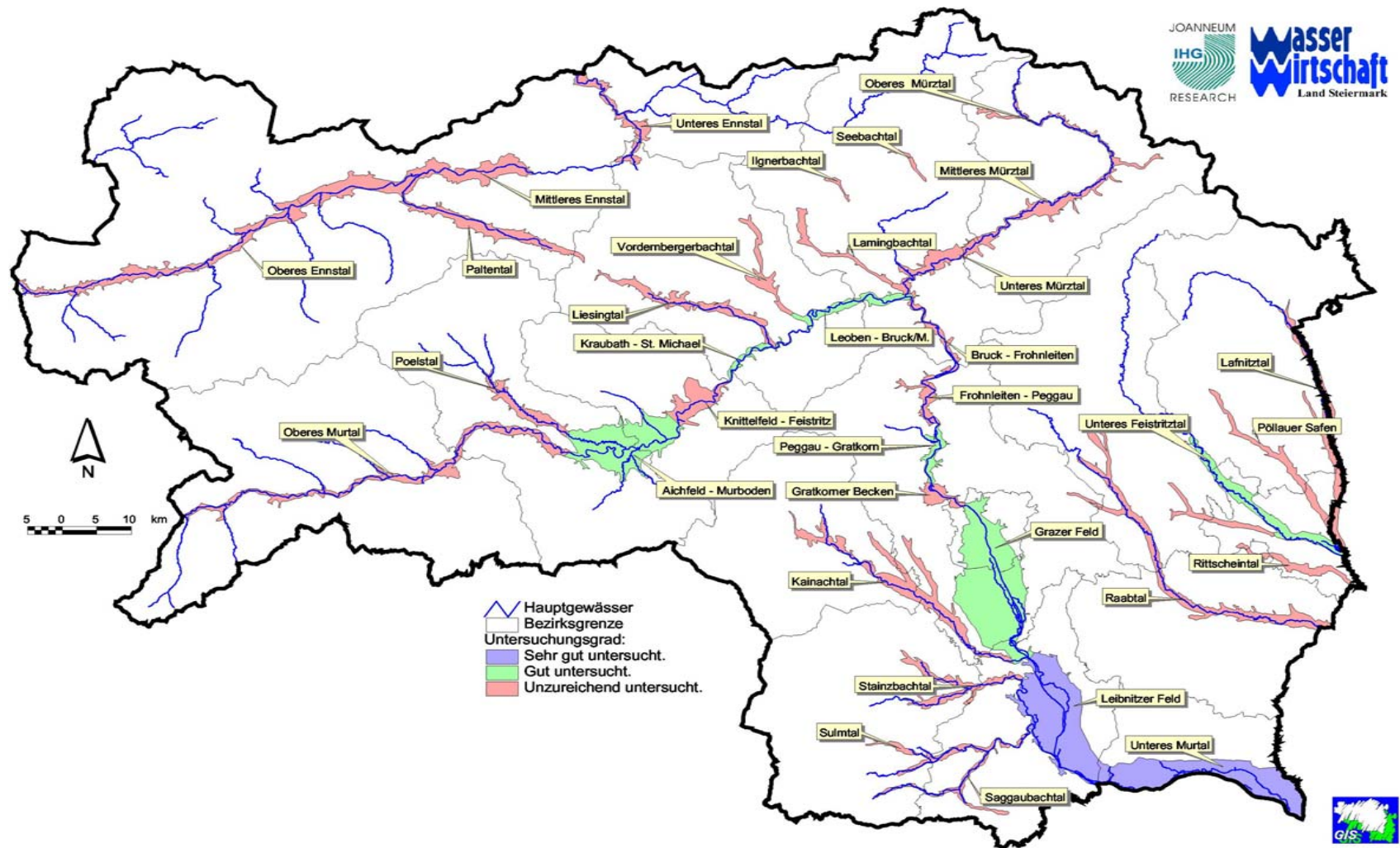


Fig. 46: Wasserversorgungsplan Steiermark – Porengrundwasser: Untersuchungsgrad der bedeutendsten Porengrundwasserfelder der

Steiermark.

122. Seite links vakat

Literatur

- AMBACH, W. & P. KIRCHLECHNER (1986): Nomographs for the determination of meltwater from ice- and snow surfaces by sensible and latent heat.– *Wetter und Leben*, **38**, 181–189.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1988): Die nutzbaren Wasservorkommen der Steiermark.– *Steiermark-Information*, 8. Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung & Institut f. Umweltgeologie und Angewandte Geographie, Graz.
- ANDERLE, N. (1964): Schlußbericht über die Quellenuntersuchungen im Tauplitz-Gebiet und in den angrenzenden Tälern des Salzabach-, Riesenbach-, Zauchenbach- und Grimmbachgrabens.– *Unveröff. Bericht*, 21 S., Anh. Quellenkataster, Ktn., Wien.
- BATLOGG, N. (1995): Niederschlag und Verdunstung im Einzugsgebiet der oberen Ill. – Diplomarbeit, Universität Innsbruck.
- BAUER, F. (1989): Die unterirdischen Abflußverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz.– *Umweltbundesamt, Reports, UBA-89-28*, 73 S., 7 Beil., Wien.
- BAUER, F., A. BERNHART, R. GUSCHLBAUER, Ch. KAISER, H. STADLBAUER, G. SUETTE & H. ZETINIGG (1995): Die neuen Grundwasserschutzgebiete 1990–1995.– *Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung*, **77**, Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- BAUMGARTNER, A., E. REICHEL (1983): *Der Wasserhaushalt der Alpen*.– Oldenburg.
- BENISCHKE, R. & PILZ, A. (1993): Endbericht Totes Gebirge – Vordernbachalm. Untersuchung von Quelleinzugsgebieten.– *Unveröff. Bericht*, 57 S., Anh., Graz.
- BERGMANN, H., A. LETTOWSKY, E. NIESNER, C. SCHMID, J. SCHÖN & F. ÜBERWIMMER (1993): Untersuchungen der gespannten Grundwasservorkommen im Feistritz- und Safental, Oststeiermark.– *Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung*, **75**, 112 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- BERGMANN, H., J. FANK, T. HARUM, W. PAPESCH, D. RANK, G. RICHTIG & H. ZOJER (1996): Abflusskomponenten und Speichereigenschaften, Konzeptionen und Auswertemethoden.– *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, **48**, H 1/2, 27–45, Wien/New York (Springer).
- BERNHART, L., E. FABIANI, E. KAUDERER, H. ZETINIGG & J. ZÖTL (1974): Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973).– *Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung*, **29**, 202 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- BERNHART, L., E. HÜBL, E. SCHUBERT, E. FABIANI, H. ZETINIGG, H. ZOJER, E.P. NEMECEK & E.P. KAUCH (1981): Grundlagen für wasserversorgungswirtschaftliche Planungen in der Südweststeiermark, 5. Teil: Ökologie, Morphologie, Quellaufnahmen, Abfluss, Auswertung.– *Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung*, **57**, 141 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- BIZEK, P. (1974): Vergleich der verschiedenen Berechnungsmethoden der Verdunstung mit dem Ziel Verdunstungskarten für Österreich zu erstellen.– *Diss. Universität Wien, Inst. f. Met. u. Geoph.*
- BLODNIG, M. J. (1906): Die Bauschwierigkeiten beim Bosrucktunnel.– *Zeitschr. D. Österr. Ing.- u. Architektenver.*, **LVIII (25)**, Wien.
- BOURJOT, L., J.M. BOISSIER, J.F. DOBREMEZ, J. FANK, J.C. FOURNEAUX, C. GALLET, C. HABSBURG-LOTHRINGEN, T. HARUM, P. MARMONIER, A. PARRIAUX, F. PELLISSIER, N. SCHAFFTER & W. STICHLER (1999): *Agreaualp – Agri-environmental measures and water quality in mountain catchments. Final report 1995–1998*.– *Unveröff. Bericht*, 74 S., Chambéry/Graz/Grenoble/Lausanne.
- BRADEN, H (1990): Modellierung der Wasser- und Stoffdynamik in Agrarökosystemen mit Hilfe des agrarmeteorologischen Modells AMBETI.– *Landw. Jb.* **1**, Sonderheft, 145–156.
- BRECHTEL, H.M. (1990): Interzeption.– In: BAUMGARTNER & LIEBSCHER (1990): *Lehrbuch der Hydrologie*.– Bd. **1**, 313–326, Berlin.
- BROOKS, R. H. & A. T. COREY (1966): Properties of porous media affecting fluid flow.– *J. Irrig. Div., Am. Soc. Civ. Eng.* **92 (IR2)**, 61–88.
- BRUTSAERT, W.H. (1982): *Evaporation in the Atmosphere. Theory, History and Applications*.– D. Reidl Publ. Comp.

- BURDINE, N.T. (1953): Relative permeability calculations from pore-size distribution data.– *Petrol. Trans., Am. Inst. Min. Eng.*, **198**, 71–77.
- CEPUDER, P & H. SUPPERSBERG (1991): Erfahrungen mit der Lysimeteranlage Gross-Enzersdorf.– Bericht der BAL über die Lysimetertagung „Art der Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation“, 25–35, Gumpenstein.
- CEPUDER, P. (1993): Versuchsergebnisse von Kleinlysimetern an unterschiedlichen Standorten.– Bericht der BAL über die 3. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, 35–48, Gumpenstein.
- CHOISNEL, E., O. DE VILLELE & F. LACROZE (1990): Rapport Final – Une approche uniformisée du calcul de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des pays de la Communauté Européenne.– Direction de la Météorologie Nationale, 69 pp+Appendix, Paris.
- DARCY, H. (1856): *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*.– Dalmont, Paris.
- DECKER, K., PERESSON, H. & FAUPL, P. (1993): Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der „lateralen Extrusion“ der Zentralalpen.– *Jb. Geol. B.-A.*, **137** (1), 5–18, Wien.
- DOBESCH, H. (1980): Die Parametrisierung der atmosphärischen Gegenstrahlung im Ostalpenraum.– *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A* **29**.
- DOBESCH, H. & E. KOCH (1992): MARGRID an areal evaporation model for operational use in the Austrian agrometeorological service.– *Proc. of Conf. on Met. for Agriculture*, 61–65, Ljubljana.
- DOBESCH, H. (1993a): Die Abschätzung der Regionalverdunstung in Ostösterreich.– *Arch. f. Lagerstättenforsch., Geol. B. A.*, Bd. **14**, 71–80.
- DOBESCH, H. (1993b): The Estimation of Areal Evapotranspiration Using Certain Land Surface Informations.– *WMO Proc. Sympos. on Precipitation and Evaporation*, Bratislava.
- DOBESCH, H. (1995): Gebietsverdunstung unter Berücksichtigung des Bodenwasserhaushaltes im Leibnitzer Feld.– *Österr. Wasser u. Abwasserwirtschaft. Heft 7/8*, 47, 135–141.
- DOMMERMUTH, H., TRAMPF W. (1995): Potentielle und tatsächliche Evapotranspiration, Bodenfeuchte und Wasserstressindex.– In: DEUTSCHER WETTERDIENST: Daten zu Bodenwasserhaushalt in Deutschland, Offenbach/Main (Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes).
- DOORENBOS, J. & W.O. PRUITT (1977): Crop water requirements.– *FAO Irrig. and Drain, Paper* **24**.
- DVWK (1995): Ermittlung der Verdunstung von Land und Wasserflächen.– *Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 192 S., Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Bonn.
- EICHER, H. (1975): *Hydrographische Studien im Gebiet St. Lambrecht – Neumarkt*.– Unveröff. Diss., KF-Universität Graz.
- EISENHUT, M., J. NOVAK, H. ZOJER, H. KRAINER, H. ERTL & H. ZETINIGG (1979): Die Grundwasserverhältnisse im Kainachtal (St. Johann o.H. – Weitendorf).– *Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung*, **43**, Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- ERHART-SCHIPPEK, W. (1998): Grundwassermodell Schongebietsentwurf für die WVA Hafendorf der Stadtwerke Kapfenberg.– INTERNET: Homepage von DI W. Erhart-Schuppek.
- FANK J. (1998): Nassbaggerung Mureck. Hydrogeologische Bewertung der Auswirkung auf die Grundwasserspiegellage.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 11 S., Graz.
- FANK J. (1998): Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodell für das westliche Leibnitzer Feld.– In: KLAGHOFER, E. & H. ZOJER (Eds.): Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone.– *Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft*, **7**, 131–154, Wien.
- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich).– *Beiträge zur Hydrogeologie*, **49/50**, 101–388, Graz.
- FANK J., B. YEHDEGHO & D. SCHEWIG (1993): Endbericht: Forschungsvorhaben Baggerseen und deren Wechselbeziehung zum Grundwasser.– Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, 109 S., 9 S. Anhang, Graz.

- FANK, J., A. JAWECKY, H.P. NACHTNEBEL & H. ZOJER (1993): Hydrogeologie und Grundwassermodell des Leibnitzer Feldes.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **74/I** und **74/II**, 1–255, Anhang A bis I, 90 Abb., 119 Tab., 35 Kartenbeilagen, Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Wasserwirtschaft und Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft – Wasserwirtschaftskataster, Graz, Wien.
- FANK, J. & G. ROCK (1994): Hydrogeologie und Grundwassermodell Kalsdorf.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **76**, 3–114, Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Wasserwirtschaft und Wasserverband Umland Graz, Graz, Hausmannstätten.
- FANK, J. & G. ROCK (1995): Grundwassermodell „Haslacher Au“; Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch die Entnahme „Haslach II“.– Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, 26 S., Graz.
- FANK, J. & T. HARUM (1996): Agri-environmental measures and water quality in mountain catchments; report AGREAUALP (Austria) January 1995–December 1995.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 79 S., Graz.
- FANK, J. & T. HARUM (1997): Stoffaustrag aus einem extensiv genutzten Einzugsgebiet.– Bericht der BAL über die 7. Lysimetertagung „Lysimeter und nachhaltige Landnutzung“ vom 7. bis 9. April 1997, 65–69, Gumpenstein.
- FANK, J., W. POLTNIIG, G. ROCK & E. STENITZER (1998): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach – Grundwassersimulation (Endbericht).– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, der JOANNEUM RESEARCH und Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalts des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 139 S., Graz/Petzenkirchen.
- FANK, J. & G. ROCK (1999): Freizeitanlage mit sanfter Badenutzung St. Veit am Vogau. Hydrogeologische Bewertung der Auswirkung auf die Grundwasserspiegellage.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 15 S., Graz.
- FANK J., W. POLTNIIG & A. LEIS (1999): Terminal Werndorf (Bauplanungsphase). Endbericht.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 60 S., Graz.
- FANK, J., T. HARUM, C. HABSBURG-LOTHRINGEN & W. STICHLER (1999): Agri-environmental measures and water quality in mountain catchments. Final report Agreeualp (Austria).– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie und Institut für Technologie und Regionalpolitik der JOANNEUM RESEARCH, 55 S., Graz.
- FANK, J. & G. ROCK (2000): Grundwasserströmungs- und -transportmodell „Unteres Murtal“ zur Erfassung der regionalen Strömungsverhältnisse und der Interaktion von Oberflächengewässern mit dem Grundwasser in einem rezenten Auegebiet. Proj. STA 28C/96. Endbericht 3. Projektjahr, Teil 1.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 110 S., Graz.
- FAO (1991): Report on the Expert Consultation on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements.– United Nations, Rome.
- FEICHTINGER, F. (1992): Erste Erfahrungen beim Einsatz eines modifizierten Feldlysimeters.– Bericht der BAL über die 2. Gumpensteiner Lysimetertagung „Praktische Ergebnisse aus der Arbeit mit Lysimetern“, 59–62, Gumpenstein.
- FEICHTINGER, F. (1997): Bericht über die Parametrisierung der stickstoffbezogenen Inputdaten und Stofftransportkennwerte für die Simulation mit STOTRASIM für 24 Bodenformen einer bodenkundlichen Detailkartierung aus dem Leibnitzer Feld.– Unveröff. Bericht, 21 S., Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- FREDE, H.-G., P. HUGENROTH & B. MEYER (1978): Eine Grundwasser-Lysimeteranlage zur Erfassung der Bodenwasserhaushaltsbilanz und pflanzlichen Wasserversorgung bei unterschiedlichem Grundwasserstand.– Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, **26**, 83–92.
- FRIEDRICH, W. & H. FRANZEN (1960): Ein neuer Versickerungsmesser (Lysimeter).– Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, **4**, 105–111, Koblenz/Rhein.
- GAMERITH, W. & H. STADLER (1997): Hydrologische Untersuchungen an der Hochreichartquelle, eine der größten Blockgletscherquellen in den Niederen Tauern.– Bericht der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **81**, 81–89, Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- GATTINGER, T. (1969): Hydrogeologische Karte der Republik Österreich, 1:1,000.000.– Geolog. Bundesanstalt, Wien.
- GEOTEAM (2001): Darstellung der Grundwasserverhältnisse im Murtal zwischen St. Stefan ob Leoben und Leoben-Göß.– Unveröff. Bericht, Gleisdorf.

- GOLDBRUNNER, J. & G. ROCK (1992): Neubau KW Kreml – Hydrogeologie – EDV-Grundwassersimulation.– Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.
- GOLF, W., K. LUCKNER & A. MÜNCH (1993): Berechnung der Waldverdunstung im Wasserhaushaltsmodell AKWA.– Meteorologische Zeitschrift, N.F. **2**, 99–107.
- GRIMM, F. (1968): Das Abflussverhalten in Europa – Typen und regionale Gliederung.– Wiss. Veröff. d. Inst. f. Länderk., N.F. **25/26**, 18–180.
- GUTKNECHT, D. (1996): Das interdisziplinäre Forschungsprojekt „Kleine Einzugsgebiete“.– Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, **48 (1/2)**, 1–5, Wien.
- HARUM, T. & F. GRAF (1991): Hydrogeologische Kartierung Winterleitenseen – Ochsenboden (Seetaler Alpen).– Unveröff. Bericht, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, 7 S., Anhang, Graz.
- HARUM, T. & J. FANK (1992): Hydrograph separation by means of natural tracers.– In: HÖTZL, H. & A. WERNER (Eds., 1992): Tracer Hydrology. Proceedings of the 6th International Symposium on Water Tracing, Karlsruhe, 21–26 September 1992, 143–148, Rotterdam (Balkema).
- HARUM, T. & J. FANK (1995): Determination of the Recharge Area of Springs in an Alpine Region by applying a Model using the Altitude Effects of Specific Discharge and Oxygene-18-Content.– In: GÜNAY, G., L. TEZCAN & Ö. ATTILA (Eds., 1995): Abstracts of the International Symposium and Field Seminar on Karst Waters & Environmental Impacts, September 10–20, 1995, 40–41, Antalya (Turkey).
- HARUM, T., G. ROCK & G. DOMBERGER (1996): Brunnen Wöllmerdorf, Pumpversuch und Neueichung des Grundwassermodells, April 1996.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- HARUM, T., G. ROCK, I. ENTNER, H.P. LEDITZKY & H. ZOJER (1996): Kraftwerk Puntigam Machbarkeits-, Standortstudie, Gutachten Geologie und Grundwasser – Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- HARUM, T., J. FANK & W. STICHLER (1997): Recharge area and hydrodynamics of a spring in an alpine dolomitic karst aquifer using the altitude effects of specific discharge and isotope content.– Annales Geophysicae. Part II: Hydrology, Oceans, Atmosphere & Nonlinear Geophysics, Vol **15**, Supplemet **II**, **C313**, European Geophysical Society.
- HARUM, T., J. FANK & W. STICHLER (1997): Tracer investigations in the unsaturated zone under different cultivation types in a mountainous catchment area.– In: KRANJC, A. (Ed., 1997): Tracer Hydrology 97.– Proceedings of the 7th International Symposium on Water Tracing in Portorož (Slovenia), 153–160, Rotterdam (Balkema).
- HARUM, T., G. ROCK & P. SACCON (1997): Unterwassereintiefung KW Deutscheitz. Überprüfung geplanter Maßnahmen zum Schutz des Wasserwerks Friesach.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- HARUM, T., G. ROCK & H.P. LEDITZKY (1997): Zum Einfluss der großen Murregulierung 1874–1891 auf das Grundwasser im Stadtgebiet von Graz – eine historisch-hydrologische Betrachtung.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung, **81**, 125–154, Graz. (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- HARUM, T. & A. LEIS (2000): Untersuchung der prinzipiellen Eignung der Fuchsquellen für eine erweiterte Nutzung.– Unveröff. Bericht Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 36 S., Graz.
- HARUM, T., C. HOLLER, P. SACCON, I. ENTNER & J. HOFRICHTER (2001): Abschätzung des nachhaltig nutzbaren Quellwasserdargebots im alpinen Raum Österreichs.– Wasserwirtschaftskataster, 77 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- HARUM, T. & M. PROBST (2001): Untersuchung des Speichervermögens verschiedener Gesteinskomplexe in ausgewählten Typuseinzugsgebieten der Steiermark.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise.– Mitt. d. Deutschen Wetterdienstes, Nr. **11**, Offenbach.
- HERLICKSKA, H. & G. LORBEER (Red., 1994): Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“, Bd. 1: Karstwasserqualität.– Monographien, **41**, 233 S., Umweltbundesamt, Wien.
- HÖTZL, H. (1992): Grundwasserabstrom im westlichen Grazer Feld. Neubewertung des Schongebietes für das Wasserwerk Feldkirchen.– Unveröff. Bericht, Institut für Angewandte Geologie, Universität Karlsruhe.
- HOFMANN, G. (1963): Zum Abbau der Schneedecke.– Arch. Met. Geoph. Biokl. B, Bd. **13**, H. **1**, 1–20.

- HOYNIGEN-HUENE, J.V. (1983): Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen.– DVWK-Schriften, H. **57**, Teil **1**, 1–53.
- HUBBERT, M. K. (1940): The theory of groundwater motion.– J. Geol. **4**, 785–944.
- JENSEN, M.E., R.D. BURMAN & R.G. ALLEN (Eds., 1990): Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.– Am. Soc. of Civil Engineers, ASCE-Manuals and Reports on Engineering Practices No.70, ISBN 0-87262-763-2.
- KLAGHOFER, E. (1991a): Bodenphysikalische Aspekte bei der Erfassung von gelösten Stoffen mit Hilfe von Lysimetern.– Bericht der BAL über die Lysimetertagung „Art der Sickerwassergewinnung und Ergebnisinterpretation“, 19–23, Gumpenstein.
- KLAGHOFER, E. (1991b): Grundwasserbelastungen durch flächenhafte Nitrateinträge. In: Grundwassersanierung und Nitrat – Wasserwirtschaftliche Fachtage 1991.– Sonderausgabe der Zeitschrift „Förderungsdienst“, 29–42, Wien.
- KÖHNLEIN, J. & M. ÖHRING (1965): Zur Problematik der Wasserbewegung in Ackerkrumenlysimetern.– Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, **109**, 1–17.
- KOLLMANN, W. (1975): Hydrologie der nördlichen Gesäuseberge.– Diss. Phil. Fak. KF-Univ. Graz, 300 S., XI, 10 Taf., Graz.
- KOLLMANN, W. (1983): Hydrogeologische Untersuchungen in den nördlichen Gesäusebergen.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **66**, 298 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- KRIEGL, Ch., HEISS, H.P. & J.E. GOLDBRUNNER (1999): Hydrogeologie des Semmeringmesozoikums zwischen Fuschtgraben und Veitschtal.– Unveröff. Bericht, 30 S., Ktn., Geoteam Ges.m.b.H., Gleisdorf.
- KÜPFER, T. & H.P. WEISS (1983): Kraftwerk Rabenstein – Wasserversorgung Frohnleiten. Hydrogeologie II.– Geotechnisches Institut, Bern.
- KUPFERSBERGER, H. (1999): Hydrogeologische Beurteilung der Auswirkungen durch die vertikale Umschließung der Altlast Jöb.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- KUPFERSBERGER H. & M. RESCH (2001): Bewirtschaftungsplan mit Grundwasserpumpen für das Demonstrationsgebiet westliches Leibnitzer Feld (Grundwassermodell-Wärmetransportmodell).– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH sowie PLAN.T, Graz.
- LECHNER, J. (1947): Quellengeologische Beobachtungen aus dem Ostrand des Toten Gebirges. – Verh. Geol. B.-A., **1945**, Wien.
- LEDITZKY, H.P. (1991): Kraftwerk Pöls: Erneuerung der bestehenden Anlage – Hydrogeologisches Gutachten.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- LEDITZKY, H.P. (1992): Brauchwasser KW Pöls I und II – Hydrogeologischer Zwischenbericht über den Pumpversuch im März 1992.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- LEDITZKY, H.P. & R. BENISCHKE (1993): Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der Baugrube des KW Pöls der Stadtwerke Judenburg.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- LEDITZKY, H.P. (1995): KW Ritzersdorf – Hydrogeologische Vorstudie.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- LINZER, H.-G., RATSCHBACHER, L. & W. FRISCH (1995): Transpressional collision structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps.– Tectonophysics, **242**, 41–61, Amsterdam.
- LÖPMEIER, F.J. (1983): Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung.– Beiträge zur Agrarmeteorologie, Deutscher Wetterdienst, Braunschweig.
- LÖPMEIER, F.J. (1991): Die Bestimmung der realen Evapotranspiration unter besonderer Berücksichtigung von Fernerkundungsmethoden.– Beiträge zur Agrarmeteorologie, **6/91**, Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- MADER, H., T. STEIDL & R. WIMMER (1996): Abflussregime österreichischer Fließgewässer – Beitrag zu einer bundesweiten Fließgewässertypologie.– Monographien, **82**, 192 S., Umweltbundesamt, Wien.
- MAILLET, E. (1905): Mécanique et physique du globe. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale.– 218 S., Paris.
- MATHERON, G. (1965): La Theorie des Variables Regionalisees et ses Applications.– Paris (Masson).

- MATTHESS, G. & K. UBELL (1983): Allgemeine Hydrogeologie. Grundwasserhaushalt.– Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1, 438 S., Berlin/Stuttgart (Borntraeger).
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **1959 (1/2)**, 111–137, Graz.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1964): Hydrogeologie und Verkarstung der Steiermark.– Atlas der Steiermark, 1:300.000, Graz.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1964): Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge mit besonderer Berücksichtigung der versorgungswasserwirtschaftlichen Belange im Tauplitzgebiet.– Österr. Wasserwirtschaft, **16 (5/6)**, 112–123, Wien.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1969): Hauptverkarstungsgebiete der Steiermark. – Atlas der Steiermark, 1:120.000, Graz.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL (1972): Der Andritzursprung.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **24**, 111–137, Graz.
- MAYR, A. (1953): Blütenpollen und pflanzliche Sporen als Mittel zur Untersuchung von Quellen und Karstwässern.– Anz. d. math.-naturwiss. Kl., Österr. Akad. Wiss., **1953 (6)**, Wien.
- MAYR, A. (1954): Neue Wege zur Erforschung von Quellen und Karstwässern. – Mitt. d. Höhlenkommission, **1953 (1)**, 90–96, Wien.
- MEINZER, O. E. (1942): Hydrology.– Dover/New York.
- MORITZ, C., G. SÄMISCH & R. SPENGLER (1991): Die Basislysimeterstation Brandis bei Leipzig – Einrichtung und erste Untersuchungsergebnisse.– Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, **35**, H. **5/6**, 149–160.
- MUALEM, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media.– Water Resourc. Res., **12**, 513–522.
- MÜLLER, W. (1967): Ergebnisse zehnjähriger Beobachtungen der potentiellen Verdunstung mit der US-Weather-Bureau Class-A Wanne in Österreich.– Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. **A 16**, 344–370.
- NACHTNEBEL, H.P., J. FÜRST, S. HAIDER & G. STORCH (1984): Grundwassermodell Unteres Murtal.– Unveröff. Bericht der Universität für Bodenkultur, Wien.
- NACHTNEBEL, H.P. & J. FÜRST (1986): Grundwasserstudie Mittleres Murtal.– Unveröff. Bericht der Universität für Bodenkultur, Wien.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1990): Ground Water Models, Scientific and Regulatory Applications.– Water Science and Technology Board, Committee on Ground Water Modelling Assessment, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Resources, National Research Council, National Academy Press.
- NEMES, F., PAVLIK, W. & M. MOSER (1995): Geologie und Tektonik im Salztal (Steiermark) – Kinematik und Paläospannungen entlang des Ennstal-Mariazell-Blattverschiebungssystems in den Nördlichen Kalkalpen.– Jb. Geol. B.-A., **138 (2)**, 349–367, Wien.
- NEUWIRTH, F. (1973): Die Bestimmung der Verdunstung aus einer Class-A-Wanne durch empirische Verdunstungsformeln.– Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. **B 22**, 47–70.
- NEUWIRTH, F. (1978a): Messungen der potentiellen Verdunstung mittels Verdunstungswannen in Österreich.– Wetter und Leben, Jg. **30**, 87–92.
- NEUWIRTH, F. (1978b): Die Bestimmung der Verdunstung einer freien Wasserfläche aus längerfristigen Mittelwerten.– Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. **B 25**, 337–344.
- NEUWIRTH, F. (1982): Beziehung zwischen den kurzwelligen Strahlungskomponenten auf die horizontale Fläche und der Bewölkung an ausgewählten Stationen in Österreich.– Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. **B 30**, 29–43.
- NOWY, W. & R. LEIN (1984): Zur Geologie des Bosruck-Autobahntunnels (Pyhrnautobahn, Österreich).– Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **30/31**, 45–94, Wien.
- OBERHAUSER, R. (Red., 1980): Der geologische Aufbau Österreichs.– 700 S., Wien (Springer).
- OTT, R. & G. SCHICKOR (1990): Quantifizierung der Ausbreitung von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) im Grundwasser mit Hilfe eines numerischen Modells, erläutert am Beispiel des Grazer Feldes.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **41**, 149–178, Graz.
- OTTO, R. (1978): Quellenaufnahmen im Gebiet des Toten Gebirges (Südabfälle des Tauplitzplateaus und des Röthelsteins, Einzugsgebiet der Salza N' Bad Mitterndorf).– Unveröff. Bericht f. Ref. f. wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Quellenkataster, Graz.
- PANNATIER, Y. (1996): Variowin – Software for Spatial Data Analysis in 2D.– 91 S., New York/Berlin/Heidelberg (Springer).

- PARDE, M. (1947): Fleuves et rivières.– 3. Aufl., Paris.
- PENMAN, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass.– Proc. Roy. Soc. London.
- PENMAN, H.L. (1956): Evaporation: An introductory survey.– Neth. J. Agr. Sc. **4**.
- PLASS, N. (1996): Der Quellkataster der Steiermark, zusammenfassende Darstellung.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **79/2**, Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- PRENCK, J. (1959): Überblick über den Stand der Lysimetermessungen in Deutschland.– Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ., **49**, 166–169.
- PRENCK, J. & A. FLENDER (1965): Die Großlysimeteranlage St. Arnold bei Rheine.– Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, **9**, 132–135.
- RAMSPACHER, P. (1993): Erste Erfahrungen mit tensiometergesteuerten Unterdrucklysimetern zur Erstellung von Sickerwasserbilanzen (Lysimeterstation Wagna).– Bericht der BAL über die 3. Gumpensteiner Lysimeter-tagung „Lysimeter und ihre Hilfe zur umweltschonenden Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen“, 67–72, Gumpenstein.
- REICHL, P. & H. ZOJER (1999): Hydrogeologischer Bericht über die Dauerbeobachtung 1998 Projekt „Semmering Basistunnel“.– Unveröff. Bericht, Institut für Hydrogeologie und Geothermie der JOANNEUM RESEARCH, 47 S., Graz.
- RENGER, M. & G. WESSOLEK (1990): Auswirkung der Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung.– Mitt. Inst. f. Wasserwesen, Univ. d. Bundeswehr München, H. **386**, 295–307.
- RICHARDS, L. A. (1931): Capillary Conduction of liquids through porous mediums.– Physics., **1**, 318–333.
- RIESS, F. (1993): Untersuchungen zur Nitratauswaschung nach mineralischer und organischer Düngung von Acker- und Grünland mittels der Saugkerzen-Methode.– Diss., TU München-Weihenstephan, 211 S.
- ROTH, D., R. GÜNTHER & S. KNOBLAUCH (1994): Technische Anforderungen an Lysimeteranlagen als Voraussetzung für die Übertragbarkeit von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftliche Nutzflächen.– Bericht der BAL über die 4. Lysimetertagung „Übertragung von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftlich genutzte Flächen und Regionen“, 9–22, Gumpenstein.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE & U. SCHWERTMANN (1992): Lehrbuch der Bodenkunde.– 491 S., Stuttgart (Enke).
- SCHICKOR, G. (1983): Hydrogeologie und Hydrochemie von Graz-Nord.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **34/35**, Graz.
- SCHICKOR, G. (1988): STEWEAG-Kraftwerk Deutscheitz. Unterwassereintiefung Auswirkungen und Maßnahmen.– Bericht, Geotechnisches Institut, Bern.
- SCHROEDER, M. (1989): Interzeptionsmessungen an der Großlysimeteranlage St. Arnold in den Jahren 1984 bis 1987 und die Extrapolation der Meßwerte mit Hilfe eines Rechenmodells.– Deut. Gewässerkundl. Mitt., **33**, H. **2**, 56–64.
- SCHRÖDTER, H. (1985): Verdunstung. Anwenderorientierte Messverfahren.– Hochschultext (Springer).
- SPONAGEL, H. (1980): Zur Bestimmung der realen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.– Geologisches Jahrbuch, Reihe **F**, H. **9**.
- STADLER, H. (1991): Beitrag zur Hydrologie des Hochlantschgebietes (Mittelsteiermark).– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **42**, 61–102, Graz.
- STADLER, H. (1992): Karsthydrogeologische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Mixnitzbaches.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **73**, 148 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- STAMPLER, J. & E. HANDEL (1989): Grundwassermodell KW Faching/Farrach, Teil 1: Horizontales Grundwassermodell.– Unveröff. Bericht, TDV Ges.m.b.H., Graz.
- STEIDL, T. (1991): Typologie und Abflussverhalten österreichischer Fließgewässer – Hydrologisch-hydrographische Einteilung und regionale Gliederung.– Dipl.-Arb., Institut für Wasserwirtschaft, BOKU Wien.
- STENITZER, E. (1996): Simulation der Grundwasserneubildung an der Lysimeteranlage in Wagna (Steiermark). Zwischenbericht zum Projekt KB 2.4/95 Modellierung von Transportprozessen in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone, Teilbereich: Bodenwasserhaushalt.– Unveröff. Bericht, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.

- STENITZER, E. (1988): SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes.– Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, **31**, Petzenkirchen.
- STENITZER, E. (1988a): Irrigation scheduling with gypsum blocks to save water and prevent leaching of nitrate.– Proc. of the 5th European Regional Conf. on Agr. Water Management, Vol. **4**, Dubrovnik (Yugoslavia).
- STRAUSS, R. (1969): Energiebilanz und Verdunstung eines Fichtenwaldes.– Münchner Universitätsschriften, Nr. **22**.
- SUETTE G. & H. ZETINIGG (1988): Beiträge zur Kenntnis der gespannten Grundwässer im Mitterennstal und Paltental.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **69**, Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- TAJCHMAN, S. (1967): Energie- und Wasserhaushalt verschiedener Pflanzenbestände bei München.– Wiss. Mitt. d. Met. Inst. Univ. München, Nr. **12**.
- TERZAGHI, K. (1925): Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage.– Wien (Deuticke).
- THOMPSON, N., I.A. BARRIE & M. AYLES (1981): The meteorological office rainfall and evaporation calculation system.– Morec. Hydrological Memorandum, No. **45**.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich (Außerzentralalpiner Teil).– Bd. **2**, 680 S., Wien (Deuticke).
- TRONKO, W., 1962: Die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Mürztal. Ein Bericht über die Vorarbeiten zur Gründung des Mürzverbandes und der Beitrag der Hydrogeologie zur Erstellung dieser Planung.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, N.F. **1962 (14)**, Graz.
- UNTERSWEIG, Th. & A. SCHWENDT (1995): Die Quellen der Blockgletscher in den Niederen Tauern.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **78**, 76 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- UNTERSWEIG, Th., H. BERGHOLD, N. PLASS, H. PROSKE, M. PÖSCHL & A. SCHWENDT (2000): Die wasserwirtschaftliche Bedeutung der Blockgletscher in den Niederen Tauern.– Unveröff Bericht, Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung der JOANNEUM RESEARCH, 127 S., Graz.
- VAN DER HEIJDE, P.K.M. (1993): Identification and Compilation of Unsaturated/Vadose Zone models.– Robert S. Kerr Environ. Res. Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environ. Protection Agency.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.– Soil Sci. Soc. Am. J. **44**, 892–898.
- WAKONIGG, H. (1970): Witterungsklimatologie der Steiermark.– Dissertationen der Universität Graz 3, Wien (Verlag Notring).
- WAKONIGG, H. (1978): Witterung und Klima in der Steiermark.– Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz, H. **23**, 473 S., Graz.
- WALTON, W. C. (1991): Principles of Groundwater Engineering.– Lewis Publishers.
- WESSOLEK, G. (1989): Einsatz von Wasserhaushalts- und Photosynthesemodellen in der Ökosystemanalyse.– Schriftenreihe des FB Landschaftsentwicklung der TU Berlin, Nr. **61**, 170 S.
- WITTICH, K.P. (1994): Zur Abschätzung des Pflanzenbedeckungsgrades mit Hilfe von NOAA-Satellitendaten.– Beiträge zur Agrarmeteorologie, **5/94**, 21 S., Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- WMO TECHNICAL NOTE No. 83 (1966): Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration.– WMO, No. **201**.
- WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen.– In: GRAHMANN: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung.– Forsch. Dtsch. Landeskunde, **104**, 47–54, Remagen.
- ZETINIGG, H. (1982): Die artesischen Brunnen im steirischen Becken.– Mitt. Abt. Geol., Paläont. u. Bergbau, Landesmuseum Joanneum, **45**, 211 S., Graz.
- ZETINIGG, H. (1988): Grundwasserschutz und -nutzung in der Steiermark.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Sonderband **1**, 29 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- ZETINIGG, H. (1999): Die Bedeutung artesischen Wassers für die Wasserversorgung in Österreich.– Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, **51**, **11/12**, 320–332, Wien.

- ZETINIGG, H., W. GRIEBLER, Th. UNTERSWEIG, V. WEIßENSTEINER & Ch. MEIDL (1982): Die Quellen des Schöcklgebietes.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **60**, 121 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- ZETINIGG, H., W. AICHELSEDER, H. DUSCHEK, M. EDER-PAIER, G. FIGALA, H. FRISCHHERZ, P. GORTAN, E. HEMMERS, F. HOHENSINN, M. KANATSCHNIG, H. KRAINER, C. MILOTA, R. PHILIPPITSCH, C. SCHMID, P. SCHURL, F. ÜBERWIMMER, O. VOLLHOFER, T. WEIHS, A. ZODERER & H. ZOJER (2000): Nutzung artesischer und gespannter Grundwässer.– ÖWAV-Regelblatt **211**, 60 S., Wien.
- ZETINIGG, H., E. FABIANI & H. STADLBAUER (1996): Der Quellskataster der Steiermark, die systematische Kartierung von Quellen.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **79/1** 155 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- ZOJER, H. (1981): Abflussspendenkarte der Koralpe.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **29**, 202 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- ZOJER, H. & H. ZETINIGG (1987): Beiträge zur Kenntnis der artesischen Wässer im Steirischen Becken.– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **68**, 181 S., Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).
- ZOJER, H., H. BERGMANN, J. FANK, T. HARUM, W. KOLLMANN & G. RICHTIG (1996): Charakterisierung des hydrologischen Versuchsgebietes Pöllau.– Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, **48**, H 1/2, 5–14, Wien/New York (Springer).
- ZOJER, H., J. FANK, T. HARUM, W. PAPESCH & D. RANK (1996): Erfahrungen mit dem Einsatz von Umwelttracern in der Abflußanalyse.– Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, **48**, H. 5/6, 145–156, Wien/New York (Springer).
- ZÖTL, J. (1957): Hydrologische Untersuchungen im östlichen Dachsteingebiet.– Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **87**, 182–205, 2 Taf., Graz.
- ZÖTL, J. (1961): Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **1960/61** (2), 66 ff, Graz.
- ZÖTL, J. (1971): Wässer und Gewässer der Steiermark.– In: Die Steiermark; Land, Leute, Leistung.– S. 96–141, Graz.
- ZÖTL, J. (1974): „Die meteorologischen Verhältnisse der Steiermark“.– In: Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973).– Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, **29**, Graz (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung).