

Projekt „Prozesse der Grundwasserneubildung in der Traun- Enns-Platte“

Endbericht

Dezember 2014

Gerhard Schubert

Inhalt

1.	Einleitung	3
2.	Übersicht zu den durchgeführten Arbeitspakete und ihren Ergebnissen	4
	<i>Arbeitspaket 1 – Koordination</i>	4
	<i>Arbeitspaket 2 – Datenakquisition</i>	4
	<i>Arbeitspaket 3 – Geologisches Modell</i>	4
	<i>Arbeitspaket 4 – Morphologie</i>	6
	<i>Arbeitspaket 5 – Grundwasserhydraulik</i>	6
	<i>Arbeitspaket 6 – Trockenwetterfalllinie</i>	8
	<i>Arbeitspaket 7 – Abflussmessungen</i>	10
	<i>Arbeitspaket 8 – Geoelektrische Messungen</i>	10
	<i>Arbeitspaket 9 – Hydrochemie</i>	10
	<i>Arbeitspaket 10 – CO₂-Partialdruck</i>	11
	<i>Arbeitspaket 11 – Hydroisotope</i>	13
	<i>Arbeitspaket 12 – Bodenwasserhaushalt</i>	14
	<i>Arbeitspaket 13 – Konzeptionelles hydrogeologisches Modell</i>	15
3.	Projektziele und Ergebnisse.....	17
3.1.	Entwicklung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells.....	17
3.2.	Darstellung, Quantifizierung und zeitliche Differenzierung der wesentlichen Grundwasserneubildungsprozesse.....	20
3.3.	Ansätze einer Grundwasserbilanzierung, gegebenenfalls differenziert nach Teilbereichen	22
3.4.	Betrachtung der hydrochemischen Verhältnisse insbesondere in Hinblick auf die räumliche Verteilung des Parameters Nitrat.....	23
3.5.	Klärung einzelner Fragen zur Grundwasserdynamik und zur Grundwasserchemie anhand von Ganglinien (Peak-Interpretation).....	25

1. Einleitung

Am 28. Dezember 2011 erfolgte durch die Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft des Amtes der OÖ. Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, mit dem Geschäftszeichen GTW-040083/8-2011-Kol/Pc die Auftragserteilung für das Projekt „Prozesse der Grundwasserneubildung in der Traun-Enns-Platte“.

In der Gruppe von Grundwasserkörpern Traun-Enns-Platte (TEP) führte die landwirtschaftliche Flächennutzung zu einer Belastung hinsichtlich des Stoffes Nitrat. Diese wurde auf Grund der Belastungsintensität als Beobachtungsgebiet im Sinne des §33f WRG ausgewiesen. Der Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan setzt bei der Sanierung von Grundwasserkörpern auf die Umsetzung von Beratungsinitiativen und Förderung der grundwasserverträglichen Landwirtschaft. Zur Verbesserung der Grundlagen für Beratung und Förderung und damit der Grundwasserqualität ist die Ursache für die Nitratbelastung zu ermitteln. Das gegenständliche Projekt soll die hydrogeologischen Grundlagen ergänzen, verdichten und zusammenfassend darstellen.

In der Vergangenheit wurden überwiegend jene Prozesse dargestellt und untersucht, die von einem flächenhaften Stickstoff-Eintrag über die Deckschichten ausgehen. Aus diesem Ansatz ist eine Reihe von Phänomenen, die die zeitliche und räumliche Verteilung von Grundwasserständen und -qualität betreffen, mit diesem Modell nur eingeschränkt erklärbar. Wesentliches Ziel dieses Projektes ist es daher, die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen dahingehend zu verdichten, als dass die wesentlichen Prozesse, die zur Grundwasserbildung beitragen, untersucht und beschrieben werden, um eine quantitative und zeitliche Abschätzung der einzelnen Teilströme vornehmen zu können.

2. Übersicht zu den durchgeführten Arbeitspakete und ihren Ergebnissen

Die vorliegende Studie hatte folgende Arbeitspakete, zu denen – wenn man von Arbeitspaketes 1 (Koordination) absieht – Berichte vorliegen; diese sind dem Endbericht angeschlossen:

Arbeitspaket 1 – Koordination

Dieses Arbeitsgebiet umfasst die Kommunikation mit dem Auftraggeber, Subauftragnehmern und hinzugezogenen Beobachtern.

Arbeitspaket 2 – Datenakquisition

Im Rahmen der Datenakquisition wurden vom Amt der OÖ. Landesregierung umfangreiche digitale Datensätze zur Verfügung gestellt. Diese umfassen Datenreihen des Hydrographischen Dienstes (Niederschlag, Lufttemperatur, Schneehöhe, Grundwasserstände, Abflussmessungen an Gerinnen), Datenreihen zu den GZÜV-Messstellen (Hydrochemie), digitale Höhenmodelle, das digitale Wasserbuch und die GeoloGIS-Bohrlochdatenbank. Diese Datenebenen sind vor allem im Arbeitspaket 13 dokumentiert. Weiters wurde eine Liste mit hydrogeologisch relevante Berichten, Studien und Publikationen erstellt und diese gescannt. Die Liste und die Scans sind im Bericht zu Arbeitspaket 2 enthalten. Die in den Berichten enthaltenen hydrogeologisch relevanten Messwerte wurden in eine GIS-Datenbank aufgenommen, die ebenfalls dem Bericht zu Arbeitspaket 2 beiliegt.

Arbeitspaket 3 – Geologisches Modell

Um die Geometrie der „Gefäße“, in denen sich das unterirdische Wasser bewegt, zu erfassen, wurde ein vereinfachtes geologisches 3D-Modell der Traun-Enns-Platte erstellt. Folgende Ebenen wurden als Rasterdatensätze zusammengestellt und liegen den Berichten zu Arbeitspaket 3 und 13 bei:

- Top und Basis Alluvium
- Top und Basis Lösslehm
- Top und Basis Terrassenschotter
- Top und Basis Moräne
- Top und Basis Deckenschotter ohne Lösslehm
- Oberkante Schlier (im Süden auch Flysch)

Abb. 1 vermittelt einen Überblick zur Verbreitung der modellierten geologischen Einheiten. Abb. 2 zeigt als Beispiel die modellierte stauende Basis des Projektgebiets 10-fach überhöht und aus der Vogelperspektive, nämlich die Schlieroberkante, die ganz im Süden an die Oberkante des Flyschs als stauende Basis anschließt.

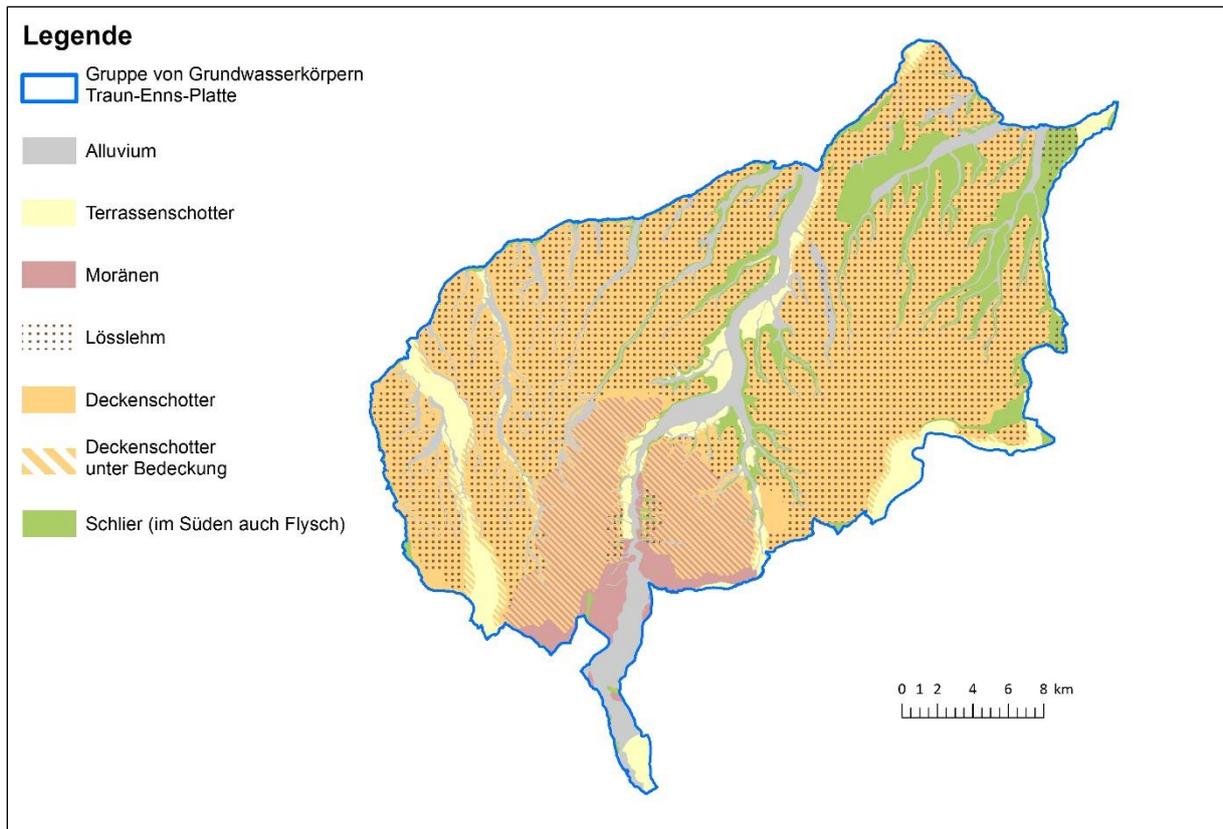


Abb. 1: Geologisches 3D-Modell: Verbreitung der modellierten geologischen Einheiten

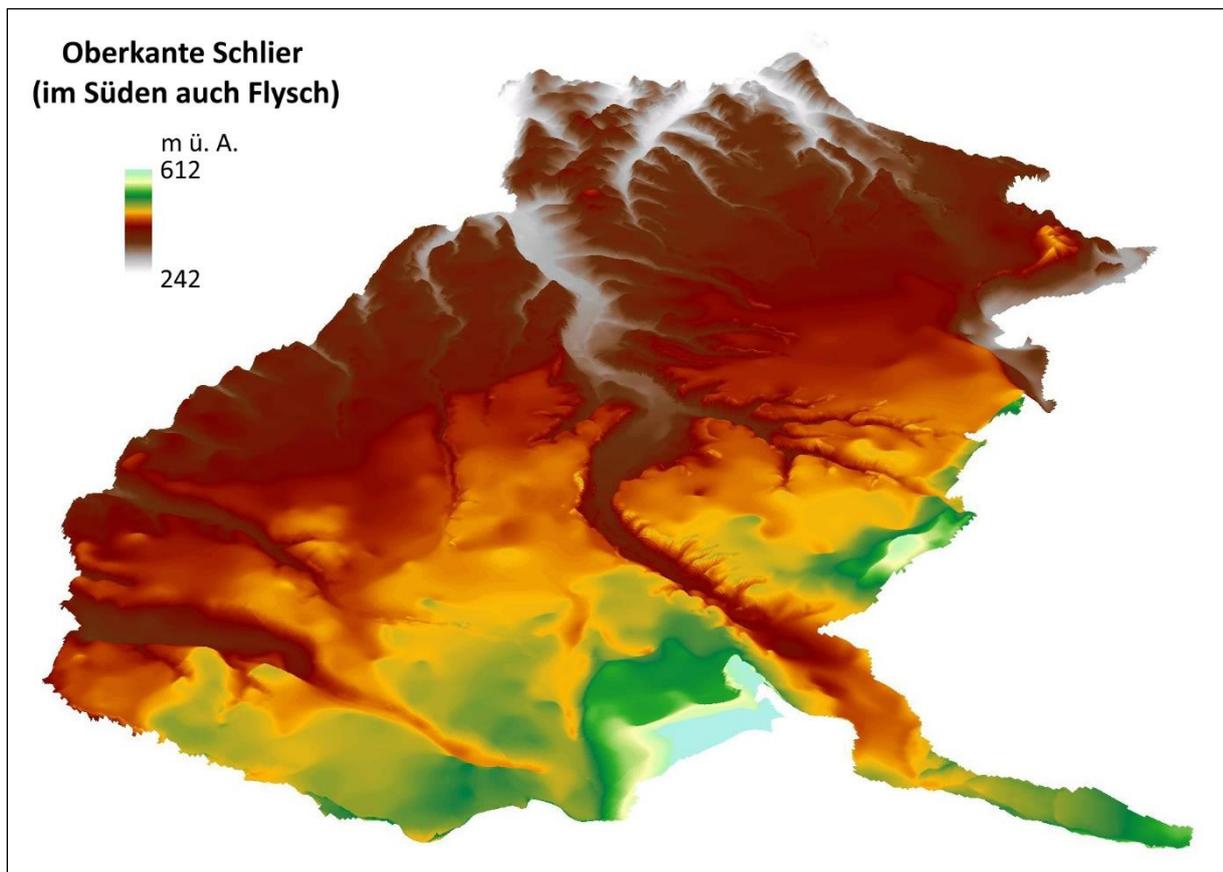


Abb. 2: Geologisches 3D-Modell: Oberkante Schlier (im Süden auch Flysch) aus der Vogelperspektive aus Richtung Südwesten, 10-fach überhöht

Arbeitspaket 4 – Morphologie

Das vom Amt der OÖ. Landesregierung zur Verfügung gestellte Laserscann-Höhenmodell wurde auf Trockentäler (Dellen) und abflusslose Senken hin ausgewertet, wobei das Gewässernetz der ÖK 50 in die Bewertung der Trockentäler miteinbezogen wurde. Das Ergebnis der geomorphologischen Bearbeitung liegt dem Bericht zu Arbeitspaket 4 in Form von GIS-Datensätzen bei. Trockentäler und abflusslose Senken sind ein weit verbreitetes Phänomen auf der Traun-Enns-Platte (siehe Abb. 3).

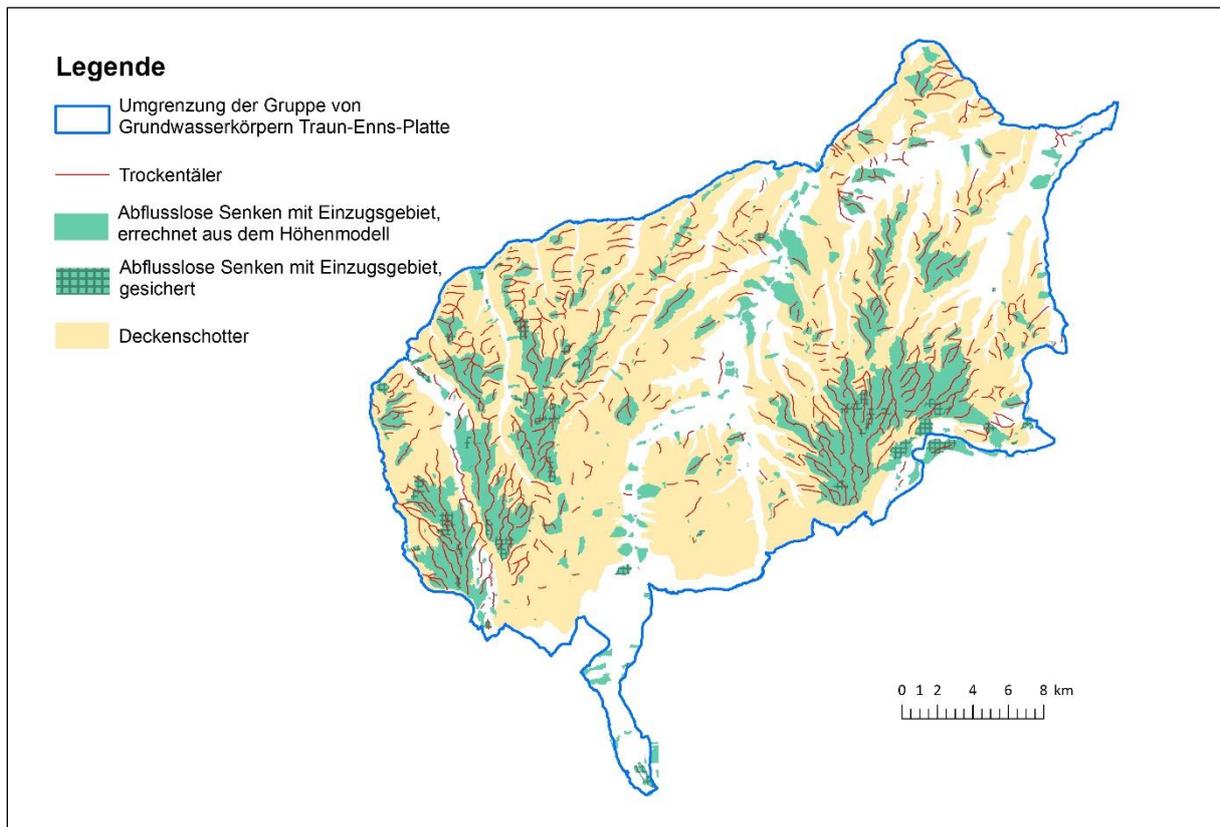


Abb. 3: Trockentäler und abflusslose Senken auf der Traun-Enns-Platte, berechnet von Manuel Ecker aufgrund der zur Verfügung gestellten Laserscandaten; bei den gesicherten abflusslosen Senken sind Bauwerke (z. B. Straßendämme) als Ursache für die Senke auszuschließen.

Arbeitspaket 5 – Grundwasserhydraulik

Basierend auf den Grundwasserständen aus den diversen im Rahmen des Arbeitspaketes 2 erhobenen schriftlichen Unterlagen und den Messungen des Hydrographischen Dienstes wurde ein Grundwassergleichenplan konstruiert, der die generelle Grundwasserfließrichtung und das Gefälle zeigt. Basierend auf dem kf-Wert und der Porosität wurden für verschiedene Grundwassergefälle Abstandsgeschwindigkeiten errechnet (siehe Bericht zu Arbeitspaket 5). Der Grundwassergleichenplan (siehe Abb. 4) liegt dem Bericht zu Arbeitspaket 5 als GIS-Datensatz bei.

Arbeitspaket 6 – Trockenwetterfalllinie

Basierend auf den vom Hydrographischen Dienst zur Verfügung gestellten Abflussmessreihen wurden von GEOCONSULT in Salzburg für die acht Abflussmessstellen der Auslaufkoeffizienten und die MoMNQ-Werte nach WUND bestimmt (vgl. Tab. 1 und Abb. 5).

Tab. 1: Auslaufkoeffizient α , mittlerer A_u und MoMNQ (nach Wundt) zu den Abflussmessstellen des Hydrographischen Dienstes; Lage der Messstellen siehe Abb. 5. Die wiedergegebenen Werte stammen aus dem Bericht zu Arbeitspaket 6. Das orographische Einzugsgebiet der durch einen Stern gekennzeichneten Messstellen reicht über die Traun-Enns-Platte hinaus. Im Gegensatz zu den anderen Messstellen standen zum Pegel Schleißheim Messwerte aus nur 8 Jahren zur Verfügung.

Messtation	HZB-Nummer	Oberflächen-gewässer	Orographisches Einzugsgebiet (km ²)	Auslauf-koeffizient α	Mittlerer A_u (l/s pro km ²)	MoMNQ (m ³ /s)
Oberschauersberg	205534	Aiterbach	68,3	0,05	7,17	0,46
Schleißheim	206862	Schleißbach	12,1	0,02	19,76	0,24
Holzermühle	205609	Sipbach	22,9	0,04	10,29	0,24
St.Florian bei Linz	205690	Ipfbach	86,2	0,05	7,73	0,67
Unterrohr*	206813	Sulzbach	74,80	0,06	6,99	0,52
Kirchdorf a.d.Krems*	205633	Krems	40,5	0,03	15,75	0,64
Kremsmünster (Ort)*	205641	Krems	147,2	0,05	—	—
Kremsdorf*	340574	Krems	363,5	0,03	8,60	3,12

* Das orographische Einzugsgebiet der durch einen Stern gekennzeichneten Messstellen reicht über die Traun-Enns-Platte hinaus.

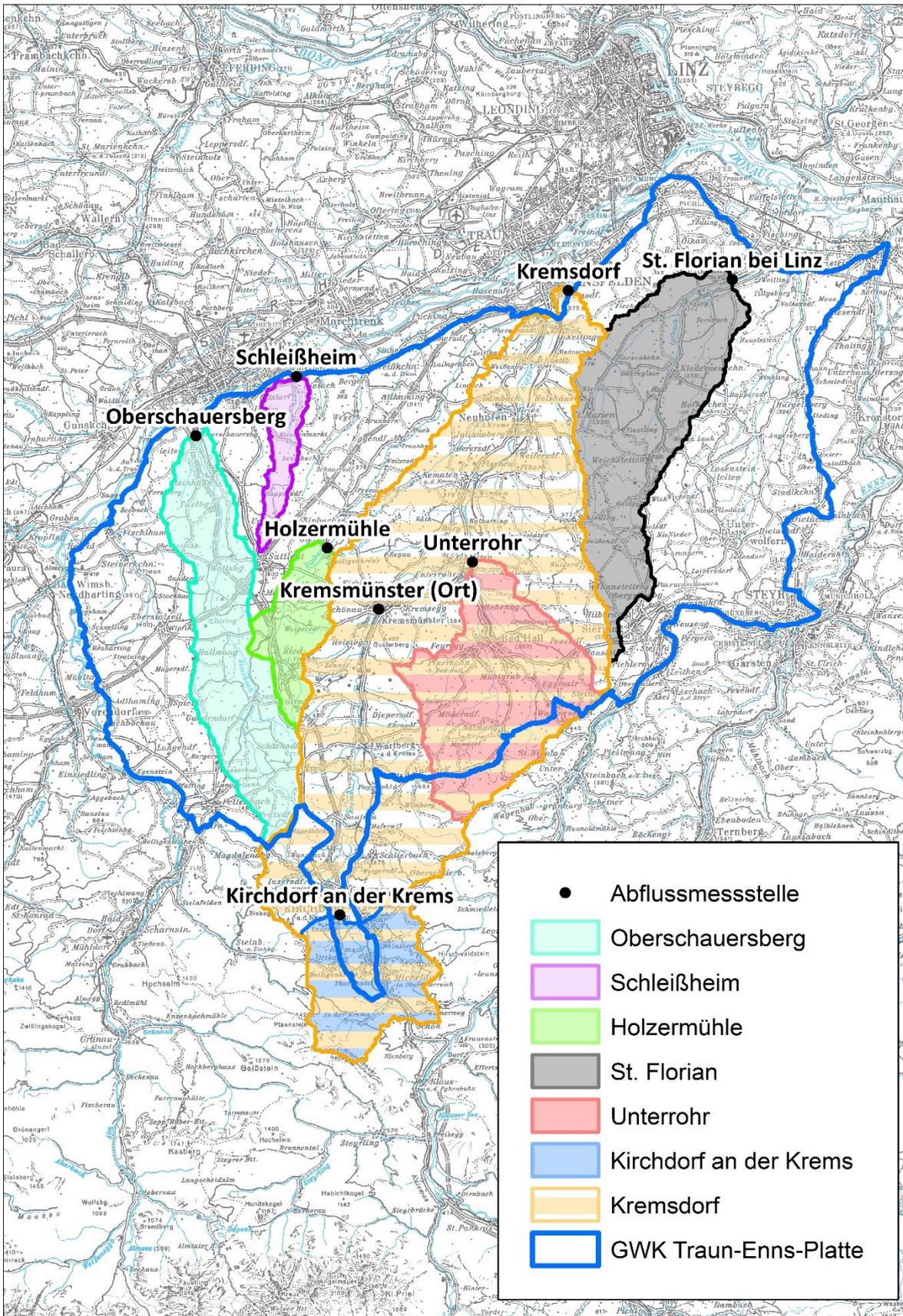


Abb. 5: Abflussmessstellen des Hydrographischen Dienstes und ihre orographische Einzugsgebiete. Diese wurden als GIS-Datensätze vom Amt der OÖ. Landesregierung bereitgestellt. Zum Pegel Kremsmünster (Ort) lag der Umriss des orographischen Einzugsgebiets in digitaler Form nicht vor.

Arbeitspaket 7 – Abflussmessungen

Dieses Arbeitspaket wurde auf Wunsch des Auftraggebers nicht durchgeführt.

Arbeitspaket 8 – Geoelektrische Messungen

Im Umfeld von abflusslosen Senken/Dellen wurden geoelektrischer Profile gemessen, die die Mächtigkeit der Lößlehmedecke erfassten. Bei dieser Leistung handelte es sich um eine Eigenleistung der GBA, die Großteiles aus Mitteln zum Vollzug des Lagerstättengesetzes erbracht wurden. Bezüglich der detaillierten Messergebnisse sei auf den Bericht zum Arbeitspaket verwiesen. Diese wurden als Grundlage für die Auswahl jener drei Standorte herangezogen, an denen in der Folge die Deckschichten mit einem Bohrgerät der GBA beprobt wurden (siehe Bericht zu Arbeitspakets 12).

Arbeitspaket 9 – Hydrochemie

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden die Messreihen der GZÜV-Messstellen (nur vierteljährliche Beprobung) in Hinblick auf die vor der Probenahme herrschenden Niederschlagsverhältnisse ausgewertet, um gegebenenfalls einen Verdünnungseffekt durch rasch versickernde Oberflächenwässer feststellen zu können. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Interpretation des Nitratgehalts gelegt.

Bei der statistischen Auswertung der vorliegenden Messreihen war bei wenigen Messstellen eine signifikante Korrelation festzustellen (siehe Abb. 6 und 7). Im Gegensatz dazu geht jedoch aus Arbeitspaket 10 und 12 hervor, dass die Grundwasserneubildung vorwiegend über eine flächenhafte Versickerung mit langen Verweilzeiten in der Sickerzone vonstatten geht und eine derartige Korrelation unwahrscheinlich ist. Im diesen Widerspruch zu klären wird vorgeschlagen, jene Messstellen, die eine Korrelation von Niederschlagsverhältnissen und Nitratgehalt zeigten, näher zu untersuchen, d. h. zeitlich begrenzt den Nitratgehalt enger zu beproben. Eine Betrachtung sämtlicher hydrologischer Parameter in Form von Ganglinien in Kapitel 3.4 des vorliegenden Berichts ist als Ergänzung dazu zu sehen.

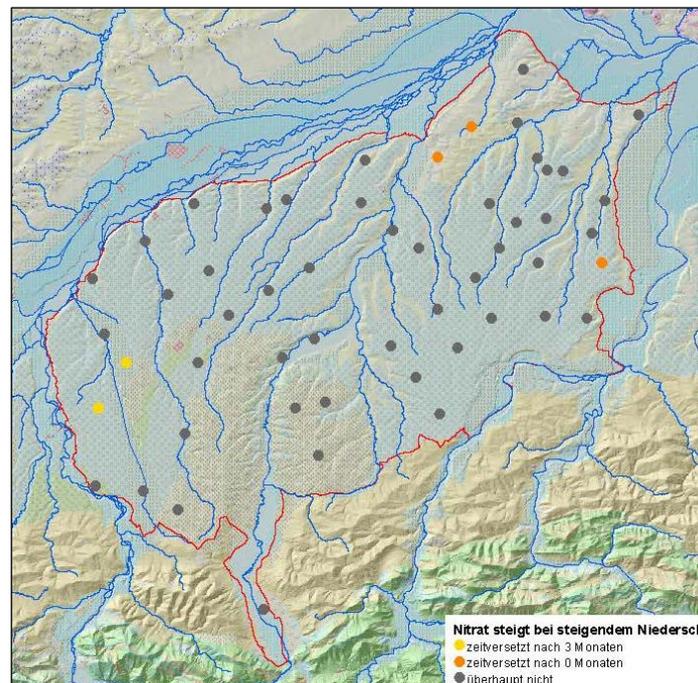


Abb. 6: Auswertung der Nitratwerte der GZÜV-Messstellen in Hinblick auf die vor den Probenahmen herrschenden Niederschlagsverhältnissen – Messstellen mit einem Anstieg des Nitratgehalts nach Niederschlägen (siehe Bericht Arbeitspaket 9, Bearbeiter Dr. Sebastian Pfeleiderer, GBA)

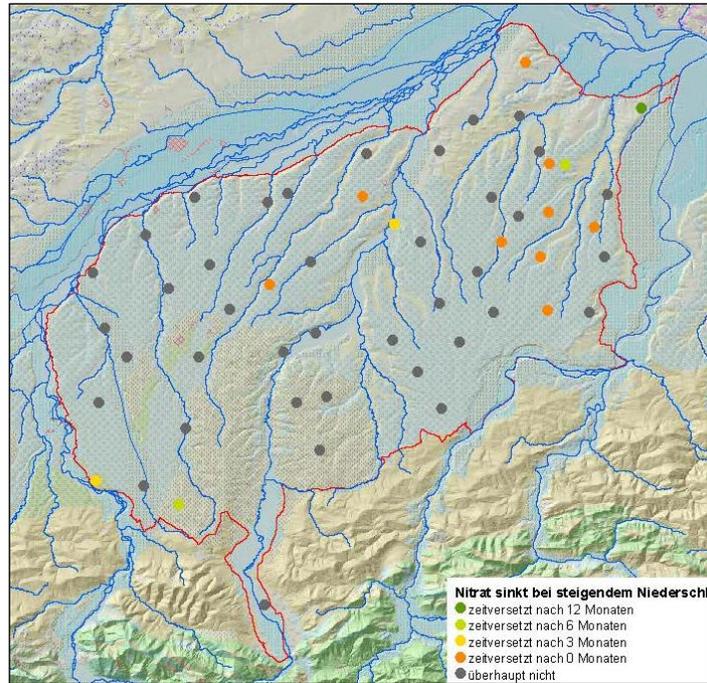


Abb. 7: Auswertung der Nitratwerte der GZÜV-Messstellen in Hinblick auf die vor den Probenahmen herrschenden Niederschlagsverhältnissen – Messstellen mit einem Rückgang des Nitratgehalts nach Niederschlägen (siehe Bericht Arbeitspaket 9)

Arbeitspaket 10 – CO₂-Partialdruck

In diesem Arbeitspaket wurden für die einzelnen hydrochemischen Analysen der GZÜV-Messstellen mit dem hydrochemischen Modellierungsprogramm PHREEQC der CO₂-Partialdruck und der Kalzitsättigungsindex errechnet werden, um gegebenenfalls einen Einfluss durch rasch versickernde Oberflächenwässer zu erkennen.

Für die einzelnen Messstelle wurden die errechneten Kalzitsättigungsindizes (SI Calcite) gegen den Gleichgewichts-CO₂-Partialdruck geplottet und der CO₂-Partialdruck bei Kalzitsättigung (SI Calcite = 0) berechnet; Abb. 8 enthält ein Beispiel. Abb. 9 zeigt die jeweiligen CO₂-Partialdrucke bei Kalzitsättigung. Demnach handelt es sich bei allen untersuchten Wässern um Grundwässer, die bei ihrer Neubildung zum überwiegenden Großteil eine längere Bodenpassage durchsickerten. D. h. in den vorliegenden chemischen Analysen zeichnete sich sich bedeutender Anteil an rasch versickernden Oberflächenwässern ab. Dass im Einzelnen vorübergehend wenige Zehnerprozent an rasch versickerten Oberflächenwasser beigemischt sein können, kann im Kapitel 3.4 des vorliegenden Berichts anhand von zwei Messstellen aufgezeigt werden.

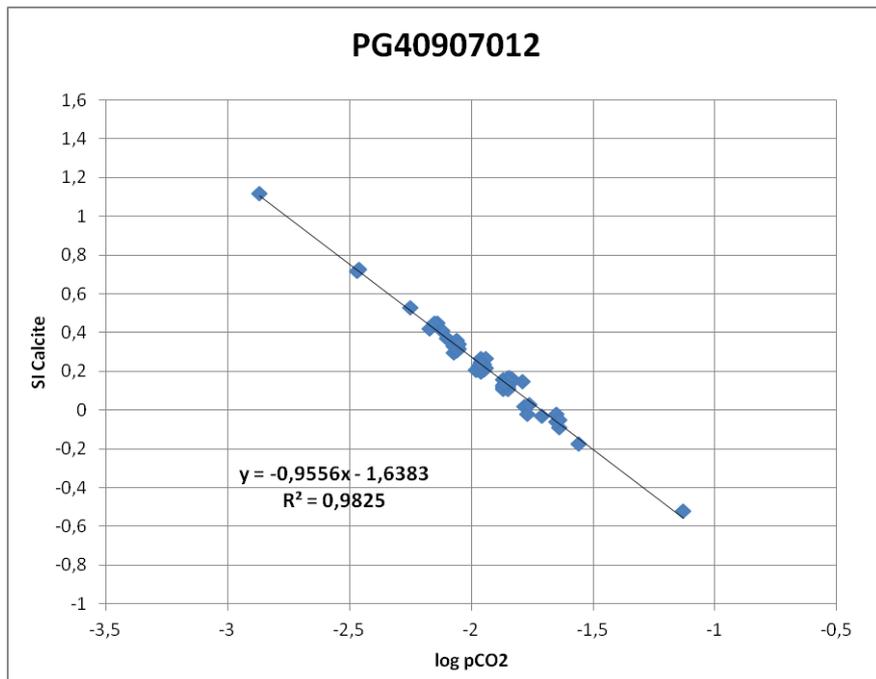


Abb. 8: Diagramm Kalzitsättigungsindex (SI Calcite) gegen log CO₂-Partialdruck in atm (log pCO₂) zur GZÜV-Messtelle PG40907012; der Trend ergibt sich aus dem mit zunehmender Karbonatlösung steigenden Kalzitsättigungsindex und sinkenden CO₂-Partialdruck. Der Beginn der Linie bei Werten um -1 bis -2 zeigt auf, dass hier die Grundwasserneubildung im Wesentlichen über eine langsame Versickerung durch einen belebten Boden erfolgt. Bei rasch versickerndem Oberflächenwasser würde hingegen dieser Trend etwa bei einem log CO₂-Partialdruck von -3,5 (entspricht der Erdatmosphäre) beginnen.

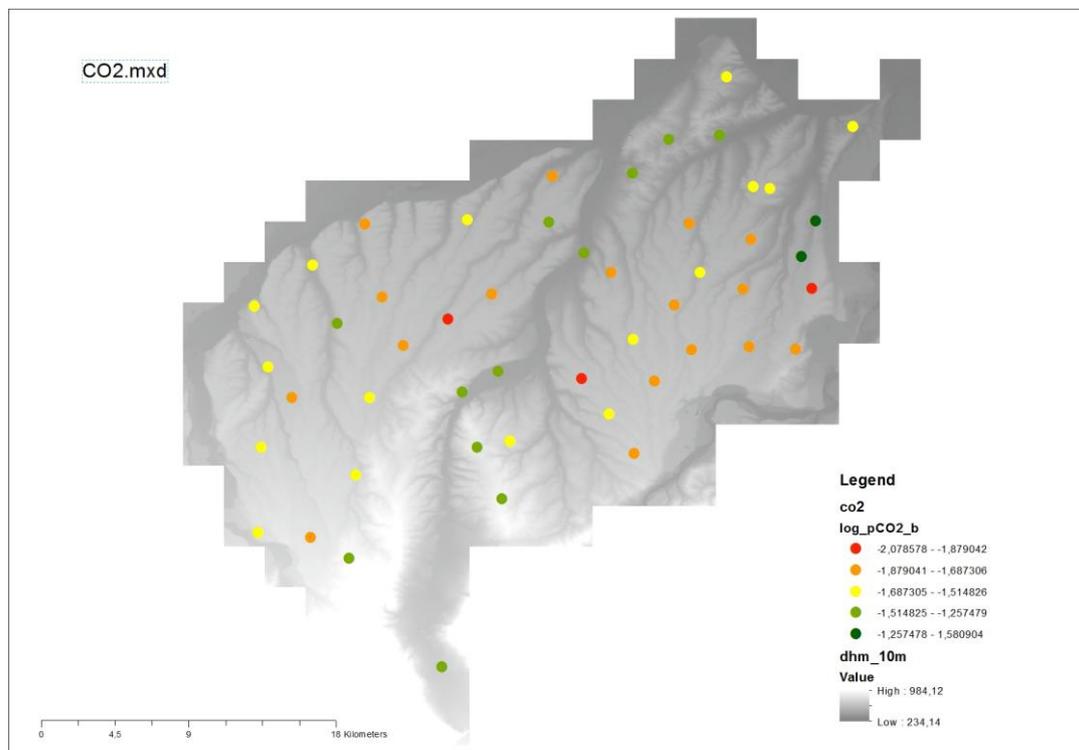


Abb. 9: log pCO₂-Werte bei Kalzitsättigung (SI Calcit = 0) der GZÜV-Grundwassermesstellen (vgl. Abb. 8) (Bearbeiterin Nathalie Bourgin, BSc)

Arbeitspaket 11 – Hydroisotope

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden bereits vorhandene Isotopendaten neu interpretiert. Diese wurden vom Umweltbundesamt (UBA) in Kooperation mit der GBA zusammengestellt und ausgewertet.

Demnach weist der Großteil des obersten Grundwasserhorizonts der Traun-Enns-Platte eine mittlere Verweilzeit (Tritiumalter) unter 26 Jahren auf (siehe Abb. 10). Die in Abb. 10 dargestellten Verweilzeiten über 50 Jahren betreffen Grundwässer aus einem tieferen Grundwasserstockwerk.

Die zu den GZÜV-Messstellen vorliegenden $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte sind in Bezug auf die umliegenden Niederschlagsmessstellen relativ niedrig. Das bedeutet, dass an der Grundwasserneubildung entweder aus einem höher gelegenen Gebiet zuströmendes Wasser beteiligt sind oder Winterwässern einen erhöhten Anteil haben. Die Auswertung der Grundwasserganglinien (Bericht zu Arbeitspaket 13) spricht für Letzteres, da bei den meisten Messstellen vor allem die Schneeschmelze einen großen Einfluss auf den Wassernachschub aus der vadosen Zone ausübt (siehe auch Abb. 19-30).

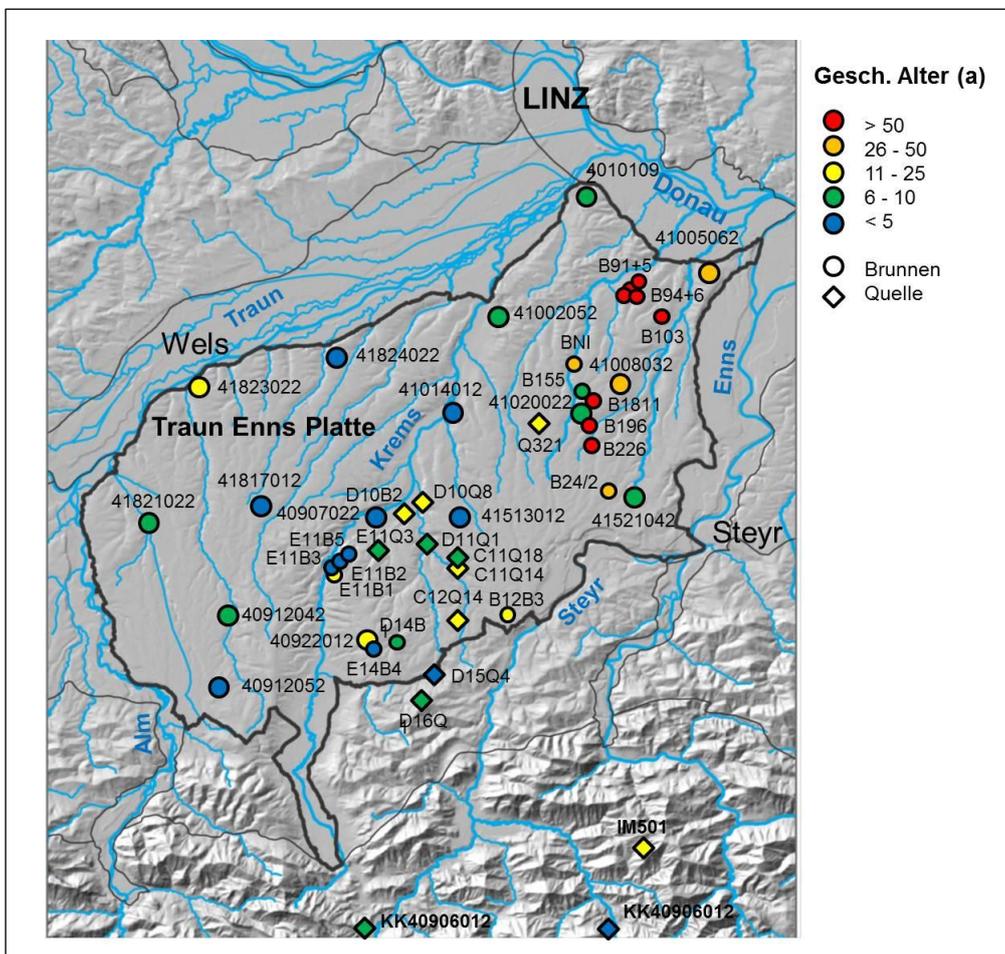


Abb. 10: Tritiumalter von Grundwässern der Traun-Enns-Platte nach dem Bericht zu Arbeitspaket 11 (Bearbeiter Dr. Martin Kralik, Umweltbundesamt): Das oberste Grundwasserstockwerk weist vor allem mittlere Verweilzeiten in den Klassen bis 25 Jahren auf. Die hohen Alter im Osten, d. h. die Klasse >50 Jahre und Großteiles auch die Klasse 26-50 Jahre, betreffen Wässer im Schlier und sind daher für die das oberste Grundwasserstockwerk kaum relevant.

Arbeitspaket 12 – Bodenwasserhaushalt

Seitens der GBA wurde mit einem Schneckenbohrgerät an drei ausgewählten Orten in der Lösslehmbedeckung drei Profile abgebohrt und beprobt. Diese Bohrungen waren in zwei Dellen, nämlich in Droißendorf und in Loibersdorf (jeweils 3,6 m Lösslehm, darunter Deckenschotter), und im Bereich einer 7,95 m mächtigen Lösslehmbedeckung über Deckenschotter im Nahbereich einer Ziegelgrube bei Neuhofen an der Krems situiert. Die dadurch erhaltenen gestörten Proben wurden auf ihren Wassergehalt und ihre Korngrößenverteilung hin untersucht, um sie in der Folge mit ungestörten Proben korrelieren zu können. Letztere wurden durch das Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen aus der genannten Lehmgrube entnommen und an ihnen die Porosität sowie die vom Wassergehalt abhängigen Matrixpotential- (psi) und k-Werte (ku) bestimmt. Darauf aufbauend wurde vom Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt in Petzenkirchen für einen typischen Standorte auf der Traun-Enns-Platte die Bodenwasser- und Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone berechnet. Das Ergebnis dieser Modellrechnung ist in Abb. 11 veranschaulicht. Demnach beträgt in der Lösslehmbedeckung die mittlere Sickergeschwindigkeit etwa einen Meter pro Jahr. In der Sickerzone erfolgt die Vertikalbewegung und damit die Grundwasserneubildung in Schüben, was auf das schubweise nachsickernde Niederschlags- oder Schmelzwasser zurückzuführen ist. Dabei wird das Sickerwasser schubweise mobilisiert und alimentiert der zuunterst gelegene Anteil schubweise das Grundwasser.

Auf diese Weise führen im Projektgebiet Schmelzwässer oder Starkniederschlagsereignisse schubweise zu Grundwasserspiegelanstiegen, die aufgrund der geringen effektiven Porosität in den älteren Deckenschotter sehr deutlich ausfallen können (für den mittleren kf-Wert von $1,8 \cdot 10^{-4}$ m/s kann eine effektiven Porosität von 7,4 % berechnet werden, siehe Bericht zu Arbeitspaket 5). Bei den Grundwasserganglinien der Messstellen des Hydrographischen Dienstes sind hinsichtlich der Dynamik des Grundwasserspiegelanstieges zwei Typen zu unterscheiden: 1) Messstellen die hauptsächlich bei der Schneeschmelze einen deutlichen Grundwasserspiegelanstieg erfahren und 2) Messstellen, die auch auf stärkere Niederschlagsereignisse mit einem starken Grundwasserspiegelanstieg reagieren (vgl. Abb. 12); erstere sind vor allem im zentralen Teil der Deckenschotter-Körper situiert, letztere eher an randlicher Position (vgl auch Kapitel 3.5).

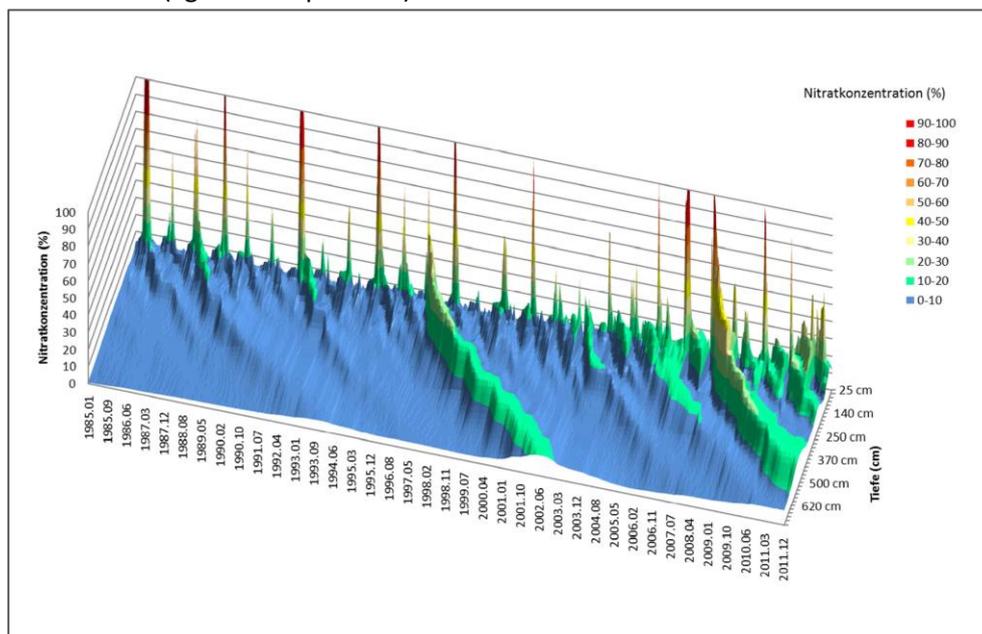


Abb. 11: Nitratkonzentration im Sickerwasser gegen Zeit und Tiefe in Abhängigkeit vom Wettergeschehen und der Bewirtschaftung, modelliert im Rahmen des Arbeitspaketes 12 (Bearbeiter DI Erwin Murer, Institut für Kulturtechnik & Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserhaushalt): Die Eingangssignale gelangen mit mehrjähriger Verzögerung und gedämpft in größere Tiefe, wobei die mittlere Sickergeschwindigkeit etwa 1 Jahr pro Meter beträgt.

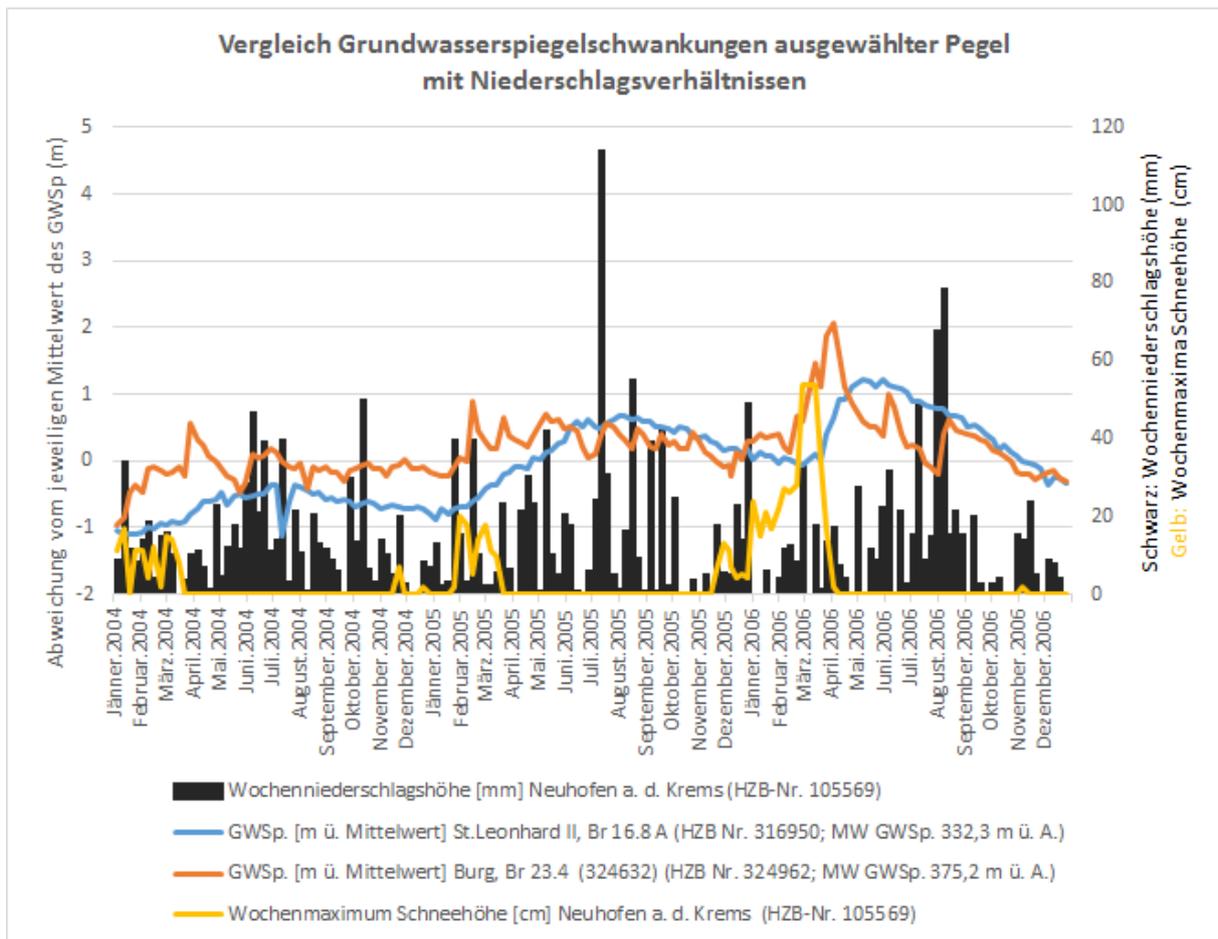


Abb. 12: Wochenwerte der Grundwasserpegel St. Leonhard II, Br 16.8 A und Burg, Br 23.4 sowie der Niederschlags- und Schneeverhältnisse der nahe gelegenen Messstelle Neuhofen an der Kreams:

Die beiden Messstellen repräsentieren hinsichtlich der Dynamik des Grundwasserspiegelanstieges zwei Typen: 1) St. Leonhard II, Br 16.8 A soll die Dynamik jener Messstellen veranschaulichen, die im Wesentlichen nur bei der Schneeschmelze einen deutlichen Grundwasserspiegelanstieg erfahren und 2) Messstelle Burg, Br 23.4 solche, die auch auf stärkere Niederschlagsereignisse mit einem deutlichen Grundwasserspiegelanstieg reagieren. Erstere sind vor allem im zentralen Teil der Deckenschotter-Körper situiert, letztere eher an randlicher Position.

Arbeitspaket 13 – Konzeptionelles hydrogeologisches Modell

Im Rahmen des Arbeitspakets 13 wurde von der GBA ein konzeptionelles hydrogeologisches Modell erstellt, wobei Joanneum Research, Wasserressourcenmanagement (Univ.-Doz. DI Dr. Hans Kupfersberger) beratend eingebunden war. Basierend auf den vorhergehenden Arbeitspaketen wurden die für die Grundwasserneubildung und den unterirdischen Abfluss maßgeblichen Faktoren räumlich differenziert dargestellt, wobei das Hauptaugenmerk auf das Verbreitungsgebiet der Deckenschotter gelegt wurde. Die erstellten GIS-Datensätze und die verwendeten Messreihen der Beobachtungsnetze liegen dem Bericht zu Arbeitspaket 13 bei.

Das konzeptionelle hydrogeologische Modell umfasst den meteorologischen Input (Niederschlag, Lufttemperatur, Verdunstung und den daraus bilanzierten Abfluss), die ungesättigte Zone (Mächtigkeit der Lößlehmdecke, deren Porenvolumen und Wassergehalt sowie in Abhängigkeit davon Matrixpotential und ungesättigter k-Wert) und Eckdaten zur Grundwasserhydraulik (Grundwassergleichen, kf-Wert, effektive Porosität, Abstandsgeschwindigkeit). Des Weiteren sind das geologische 3D-Modell, Abflussganglinien zu den aus den Deckenschottern der Traun-Enns-Platte entspringenden Bäche Aiterbach, Schleißbach, Sipbach und Ipfbach, Konsensdaten zu bedeutenden Wasserentnahmen, Isotopenanalysen (Verweilzeit) und hydrochemische Analysen der GZÜV

(insbesondere Nitrat) als weitere wichtige Bestandteile in das konzeptionelle hydrogeologische Modell integriert.

Das konzeptionelle hydrogeologische Modell sollte vor allem die Fragen beantworten, ob auf der Traun-Enns-Platte die Grundwasserneubildung vorwiegend über eine flächenhafte Versickerung über homogene Deckschichten, eine lineare Versickerung in Trockentälern oder über eine Versickerung an punktförmigen Inhomogenitäten erfolgt. Diese Frage hatte folgenden Hintergrund: VOHRZYKA, K. (1973, Seite 56) (*Hydrogeologie von Oberösterreich, OÖ. Landesverlag, Wels*) berichtet von „karstähnlichen Setzungs- und Erdfallerscheinungen, die bis in eine Tiefe von 7-10 m reichen und als Schlucklöcher für Oberflächenwässer dienen können“. Auf Seite 60 berichtet VOHRZYKA, K (1973) zudem, dass die aus dem Gebiet der Moränen kommenden Gerinne Wasser an den Untergrund abgeben, sobald sie die Schotterflächen der Traun-Enns-Platte erreichen, und dass es auch in den oft viele Kilometer langen Trockentälern zur Versickerung von Oberflächenwasser kommt, nämlich zur Zeit der Schneeschmelze und nach Starkregen. Bei dem auf der Traun-Enns-Platte weit verbreiteten Phänomen der Trockentälern (Dellen) handelt es sich laut STRAKA, W. (2008, Seite 67 bis 69) (*Quartär- und Hydrogeologie der Traun-Enns-Platte im Bereich Kremsmünster–Bad Hall, Oberösterreich, Diss. Univ. Wien*) um lang gestreckte Senken ohne perennierendes Gerinne, die ursprünglich auf die erosive Wirkung von Schmelzwässern auf den gefrorenen Untergrund zurückgehen. Zudem war die Frage zu beantworten, ob sich Einträge prozessbezogen zeitlich und räumlich differenzieren lassen.

Im folgenden Kapitel wird übrigens ebenfalls – wie im Bericht zu Arbeitsgebiet 13 –auf diese beiden Fragenkreise eingegangen.

Im Rahmen des Arbeitspakets 13 wurden nachstehende Daten analysiert bzw. interpretiert:

- Hydrochemie und Isotopenhydrologie in räumlicher und zeitlicher Auflösung (Ganglinien Nitratgehalt im Grundwasser, Altersbestimmungen aufgrund des Tritiumgehalts)
- Grundwasser- und Abflussganglinien (Grundwasserganglinien in Hinblick auf Niederschlags- und Schneeverhältnisse, Abflussganglinien in Hinblick auf den Auslaufkoeffizient α , Mittleren unterirdischen Abfluss A_u und das Mittel der monatlichen Niederwasserabflüsse $MoMNQ$)
- Korrelationsanalyse hydrologische Situation–Konzentrationspeaks (ursprünglich sollten die Konzentrationspeaks mit dem Grundwasserstand korreliert werden, da aber dieser für die einzelnen GZÜV-Messstellen nicht zur Verfügung stand und die Messstellen des hydrographischen Dienstes von den GZÜV-Messstellen fast stets weiter entfernt lagen, wurden für die statistische Auswertung die Niederschlagsverhältnisse als Indikator für die hydrologische Situation herangezogen). Im Kapitel 3.5 des vorliegenden Berichts werden zudem – getrennt nach Teilbereichen – die verschiedenen Ganglinien visuell verglichen.
- Interpretation der Alterswerte in Hinblick auf die Dynamik des unterirdischen Wassers: Hier zeigte sich, dass die sich aus der Passage durch die ungesättigte Zone und der Abstandsgeschwindigkeit im Grundwasserleiter ergebende mittlere Verweilzeit in ihrer Größenordnung jener entspricht, die aufgrund des Tritiumgehalts modelliert werden kann.

3. Projektziele und Ergebnisse

Im Antrag zum vorliegenden Projekt wurden neben den Arbeitspaketen folgende Zieleetzungen formuliert, auf die im Folgenden näher eingegangen wird:

- Entwicklung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells
- Darstellung, Quantifizierung und zeitliche Differenzierung der wesentlichen Grundwasserneubildungsprozesse
- Ansätze einer Grundwasserbilanzierung, gegebenenfalls differenziert nach Teilbereichen
- Betrachtung der hydrochemischen Verhältnisse insbesondere in Hinblick auf die räumliche Verteilung des Parameters Nitrat
- Klärung einzelner Fragen zur Grundwasserdynamik und zur Grundwasserchemie anhand von Ganglinien (Peak-Interpretation)

3.1. Entwicklung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells

Im Rahmen des Arbeitspakets 13 wurde ein konzeptionelles hydrogeologisches Modell erstellt, das die für die Grundwasserneubildung und den unterirdischen Abfluss wesentlichen Faktoren beschreibt (siehe auch oben). Bei dessen Entwicklung wurden folgende grundlegenden Schlüsse gezogen:

- Trockentäler und abflusslose Senken sind im Verbreitungsgebiet der Deckenschotter auf der Traun-Enns-Platte ein weit verbreitetes Phänomen. Daher ist zu erwarten, dass der Großteil des nicht der Evapotranspiration anheimfallenden Niederschlags der Grundwasseranreicherung zugute kommt (Abb. 13).
- Aufgrund des hohen CO₂-Partialdrucks der Grundwässer (Abb. 13), der Mächtigkeit der Lößlehmdecke über den Deckenschottern (Abb. 14) und der vergleichsweise hohen Tritiumalter der Grundwässer ist zu erwarten, dass die Grundwasserneubildung Großteils über eine langsame flächige Versickerung vonstatten geht. Dabei wird es auch im Bereich der Trockentäler (abflusslosen Dellen) nach stärkeren Niederschlagsereignissen und bei der Schneeschmelze an der Talsohle zu einer konzentrierten Versickerung kommen, dieses Sickerwasser wird jedoch ebenfalls zum Großteil langsam die vadosen Zone passieren. Aufgrund der vorhandenen Daten kann diese lineare Versickerung nicht von der flächigen getrennt werden.

Im Gegensatz dazu werden auf der Traun-Enns-Platte rasche, punktuelle Versickerungen mengenmäßig nur eine sehr untergeordnete Bedeutung haben. Im Westen der Traun-Enns-Platte sind zwar im Bereich der Hochterrassenschottern der Pettenbachrinne sowie der z. T. konglomerierten Deckenschotter Schwinden ausgebildet, diesen kommt jedoch aufgrund des hohen CO₂-Partialdrucks der Grundwässer nur eine mengenmäßig untergeordnete Bedeutung zu.

- Nach den Ergebnissen der bodenkundlichen Untersuchungen beträgt in der weit verbreiteten Lößlehmdecke der Deckenschotter die Sickergeschwindigkeit im Durchschnitt nur etwa 1 m pro Jahr (siehe Abb. 11). Abb. 14 zeigt die Mächtigkeit der Lößlehmdecke nach dem im Rahmen des Projekts erstellten geologischen 3D-Modells.
- Der Nitratgehalt des Grundwasser in den Deckenschottern wird vor allem durch die für die Traun-Enns-Platte typische langsame Fortbewegung des Sickerwassers in der vadosen (ungesättigten) Zone geprägt. Nitrat aus dem Oberboden erreicht oftmals erst nach Jahren den Grundwasserspiegel (vgl. Abb. 11). Daher ist ein Zusammenhang zwischen dem

Nitratgehalts im Grundwasser und der kurz davor herrschenden hydrologischen Situation nicht zu erwarten.

Eine statistische Auswertung der GZÜV-Messreihen ergab bei einigen wenigen Messstellen trotzdem Hinweise auf kurzfristige Beeinflussungen (Abb. 6 und 7). Um fundierte Aussagen zu diesen Messstellen machen zu können, müssten diese jedoch vorübergehend in einer zeitlich höheren Auflösung beobachtet werden (GZÜV-Messstellen werden in der Regel vierteljährlich beprobt). Aufgrund eines Vergleichs sämtlicher hydrologischer Parameter konnte nur bei zwei Messstellen ein zeitweilig klarer Einfluss durch rasch versickernde Wässer nachgewiesen werden (siehe Kapitel 3.5).

- Für eine grobe Abschätzung der Verweilzeit in der phreatischen Zone wurde im Rahmen des Projekts ein Grundwassergleichenplan erstellt (siehe Abb. 4). Aufgrund des Grundwassergefälles, des kf-Werts (bei den ältere Deckenschottern beträgt dieser im Durchschnitt $1,8 \cdot 10^{-4}$ m/s) und der zu erwartenden effektiven Porosität (7,4 %) lässt sich grob die Abstandsgeschwindigkeit berechnen.

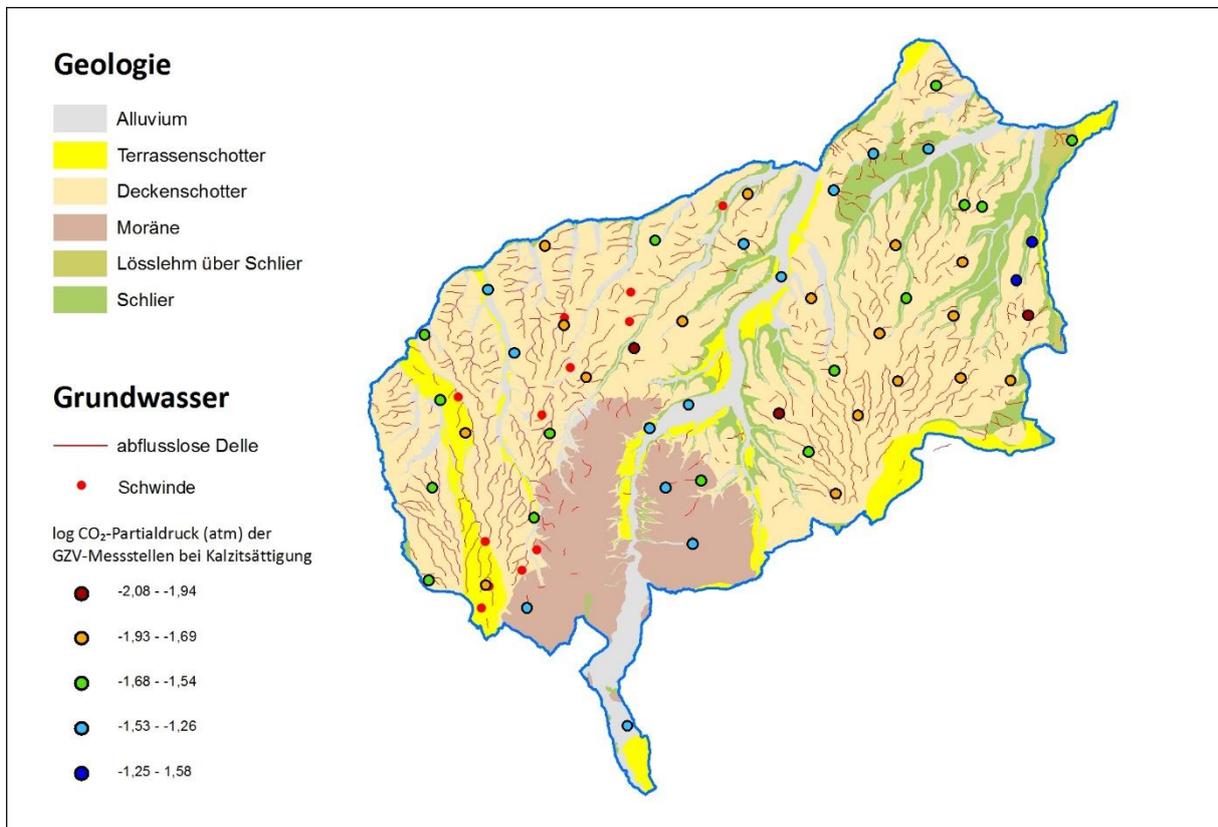


Abb. 13: Abflusslose Dellen (Trockentäler), Schwinden und CO₂-Partialdruck der Grundwässer im Arbeitsgebiet:

Aufgrund des weit verbreiteten Phänomens der abflusslosen Dellen (die hier dargestellten Dellen stammen aus dem in Arbeitspaket 4 erstellten Datensatz) ist anzunehmen, dass im Verbreitungsgebiet der Deckenschotter (diese bilden die ausgedehntesten Aquifere auf der Traun-Enns-Platte) über weite Bereiche kaum ein oberirdischer Abfluss stattfindet. Daher wird ein Großteil des nicht der Evapotranspiration anheimfallenden Niederschlags dem unterirdischen Abfluss zugutekommen.

Aus dem hohen CO₂-Partialdruck der Grundwässer geht klar hervor, dass die Grundwasserneubildung im Wesentlichen über einen belebten, CO₂-reichen Boden erfolgt. In der Abbildung sind für das Grundwasser jene Werte wiedergegeben, die bei Kalzitsättigung erreicht werden, d. h. der ursprüngliche Partialdruck vor dem Erreichen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts ist noch höher. Im Gegensatz zu diesen hohen Werten würden rasch versickernde Oberflächenwässer schon am Beginn der Versickerung den niedrigen CO₂-Partialdruck der Atmosphäre zeigen (dessen log beträgt etwa -3,5), der dann bei Kalzitlösung noch weiter sinken würde.

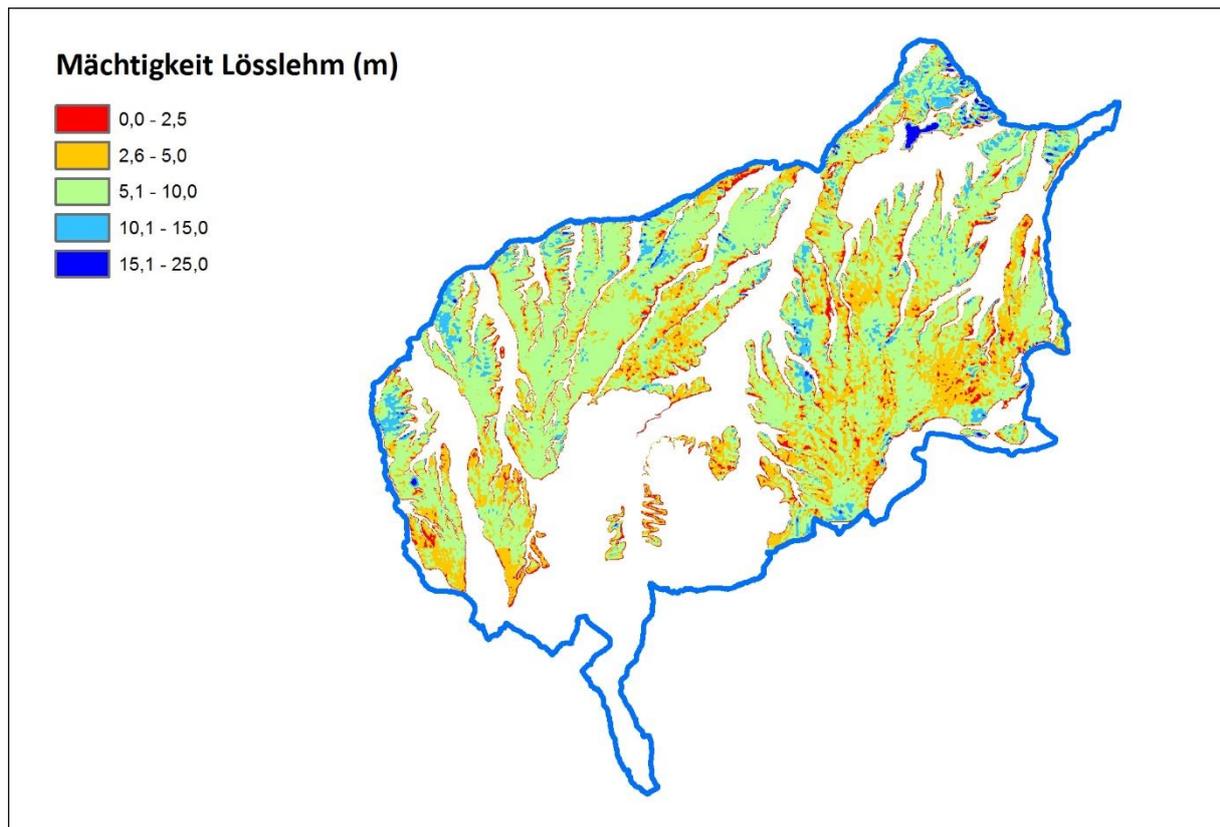


Abb.14: Mächtigkeit der Lösslehmbedeckung der Deckenschotter auf der Traun-Enns-Platte nach dem geologischen Modell des Arbeitspakets 3: 1 m Lösslehm entspricht etwa 1 Jahr mittlere Verweilzeit in der Sickerzone (Abb. 11).

Abb. 15 zeigt ein stark vereinfachtes Schema zu den bei der Grundwasserneubildung und dem unterirdischen Abfluss auf der Traun-Enns-Platte im Bereich der Deckenschotter maßgeblichen Prozessen:

- 1) Jener Teil des Niederschlags (**1a**), der nicht der Evapotranspiration (Verdunstung; **1b**) anheimfällt, versickert auf der Traun-Enns-Platte Großteils im Boden. Das Ausmaß der Evapotranspiration wird auch durch die Nutzungsart (Wald, Ackerland, Grünland etc.) und die Beschaffenheit des Bodens beeinflusst (siehe Arbeitspaket 12). Im Bereich von Dellen (das sind die auf der Traun-Enns-Platte weit verbreiteten abflusslosen Tälchen) kann es bei Starkniederschlagsereignissen und bei der Schneeschmelze lokal zu einem oberirdischen Abfluss kommen, der sich an den tiefsten Stellen der Dellen sammelt und hier konzentriert im Boden versichert (**1c**). Mitunter steht in diesen Bereichen Oberflächenwasser.
- 2) In der Folge bewegt sich das Sickerwasser durch die Lösslehmdecke (**2a**) und den ungesättigten Bereich der Deckenschotter (**2b**). Für die Verweilzeit in der vadosen Zone ist die Mächtigkeit der Lösslehmdecke entscheidend, da sich hier das Sickerwasser besonders langsam bewegt (im Durchschnitt etwa einen Meter pro Jahr). Aber auch innerhalb der Deckenschotter können Feinsand- und Schlufflinsen ausgebildet sein.

In den zentralen Teilen der Deckenschotterkörper findet die Grundwasserneubildung hauptsächlich während der Schneeschmelze statt, wie der zu dieser Zeit markante Anstieg des Grundwasserspiegels zeigt. Vor allem in den randlichen Bereichen dieser Schotterkörper schlagen sich daneben auch stärkere Niederschlagsereignisse im sprunghaften Verlauf der Grundwasserspiegelganglinie nieder (in Abb. 12 sind für diese beiden Fälle Beispiele wiedergegeben).

- 3) Sobald das versickernde Wasser den Grundwasserspiegel erreicht, ändert es seine vorwiegend abwärts gerichtete Bewegung und fließt es mit dem Grundwasserstrom etwa horizontal weiter (3). Die Verweilzeit im Grundwasser hängt nun entsprechend dem Darcy-Gesetz vom Grundwassergefälle und dem kf-Wert sowie der effektiver Porosität ab. Im zentralen Teil der Deckenschotterkörper sind Grundwassergefälle von ca. 3 ‰ bis 10 ‰ und Abstandsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 250 bis 750 m pro Jahr anzunehmen. Demnach ist nicht nur das langsame Durchsickern der Lösslehmdecke für die hohe Verweilzeit des unterirdischen Wassers der Traun-Enns-Platte ausschlaggebend, sondern auch die geringe Abstandsgeschwindigkeit im Grundwasser.
- 4) In den Tälern, die die Deckenschotter und den sie unterlagernden Schlier anschneiden, kommt es im Bereich der Schlieroberkante zu massiven Grundwasseraustritten (Quellen im Bereich der Sickerlinie; 4). Der Schlier ist als stauende Basis für das Grundwasser der Deckenschotter zu bewerten, lokal können aber seichte Klüfte im Schlier als Drainage für das darüber liegend Grundwasser in den Deckenschottern wirken.

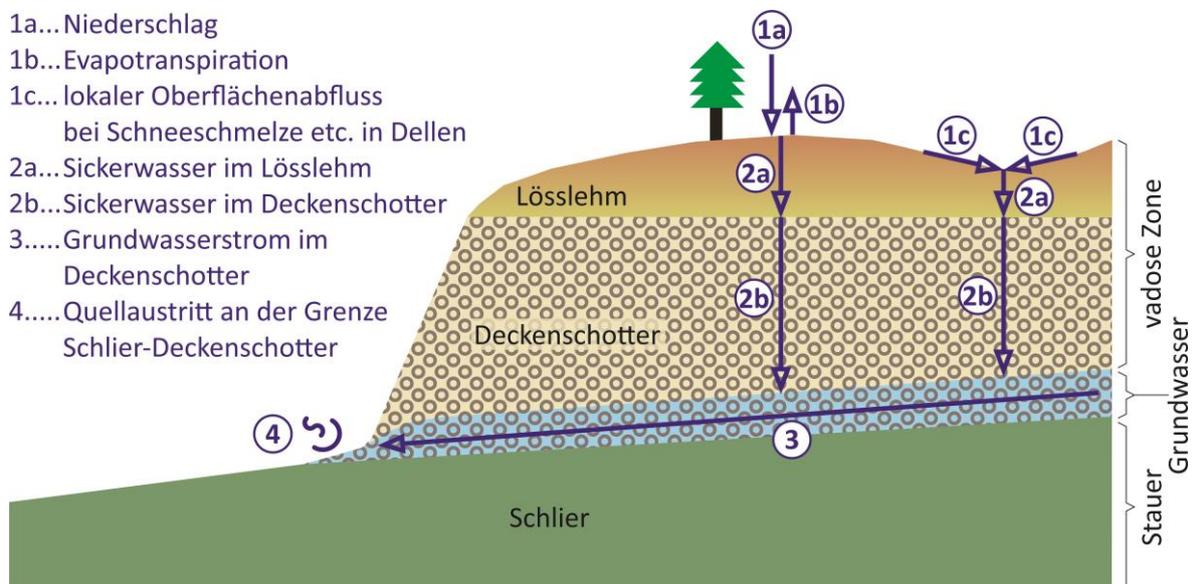


Abb. 15: Schema zur Grundwasserneubildung und zum unterirdischen Abfluss auf der Traun-Enns-Platte; Erläuterung siehe oben.

3.2. Darstellung, Quantifizierung und zeitliche Differenzierung der wesentlichen Grundwasserneubildungsprozesse

Abb. 15 gibt ein Schema zu den wesentlichen Grundwasserneubildungsprozessen wieder. Demnach versickert im Verbreitungsgebiet der Deckenschottern und ihrer Lösslehmdecke ein Großteil der nicht der Evapotranspiration anheimfallenden Niederschläge.

Die Mengen, die für den unterirdischen Abfluss zur Verfügung stehen, können aus der Differenz Niederschlagshöhe minus Evapotranspiration errechnet werden (Abb. 16). Die so errechneten Abflusshöhen betragen für die Traun-Enns-Platte zwischen 493 mm und 515 mm und im Durchschnitt 511 mm pro Jahr, das entspricht Abflussspenden von 9,5 l/s und 26,5 l/s pro km², im Durchschnitt 15,4 l/s pro km² (siehe Bericht Arbeitspaket 13). Einen davon unabhängigen zweiten Ansatz bieten die Abflussmessstellen des Hydrographischen Dienstes. Das orographische Einzugsgebiet der Pegel

Oberschauersberg, Schleißheim, Holzmühle und St. Florian bei Linz befindet sich innerhalb der Traun-Enns-Platte (Abb. 17). Bei diesen Pegeln liegt die mittlere Abflussspende im Bereich von 11,7 l/s bis 23,4 l/s pro km², das nach der Fläche gewichtete Mittel beträgt 13,7 l/s pro km². Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass das in Abhängigkeit von den Grundwasserverhältnissen das hydrographische Einzugsgebiet vom orographischen abweichen kann.

Vergleicht man bei den relevanten Pegeln die in Tab. 2 wiedergegebenen mittleren Abflüsse mit den aus den Abflussganglinien abgeleiteten mittleren unterirdischen Abflüssen in Tab. 1, so stammen beim Pegel Oberschauersberg 61 %, beim Pegel Schleißheim 84 %, beim Pegel Holzmühle 62 % und beim Pegel St. Florian bei Linz 59 % des Abflusses aus dem Grundwasser. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur beim Pegel Schleißheim beinahe das gesamte Einzugsgebiet von Deckenschottern eingenommen wird, während bei den anderen Einzugsgebieten über weite Bereiche wasserhemmende Moränen bzw. Schlier anstehen.

Bezüglich der zeitlichen Differenzierung der wesentlichen Grundwasserneubildungsprozesse kann in zwei Typen unterschieden werden (vgl. Abb. 12):

- 1) Wassernachschub aus der vadosen Zone im Wesentlichen nur bei der Schneeschmelze
- 2) Wassernachschub aus der vadosen Zone während der Schneeschmelze und bei stärkeren Niederschlagsereignissen

Der Typ eins ist vor allem in den zentralen Teilen der Deckenschotterkörper zu beobachten, Typ zwei eher im randlichen Bereich dieser Schotterkörper (siehe Bericht zu Arbeitspaket 13).

Tab. 2: Mittlerer Abfluss und mittlere Abflussspende zu den Abflussmessstellen des Hydrographischen Dienstes auf der Traun-Enns-Platte. Die Lage der Messstellen ist in Abb. 5 ersichtlich. Die Mittelwerte beziehen sich auf die vom Hydrographischen Dienst gelieferten Daten.

Messtation	HZB-Nummer	Oberflächen-gewässer	Seehöhe Pegelnullpunkt (m ü. A.)	Orographische Einzugsgebiet (km ²)	Mittlerer Abfluss (m ³ /s)	Mittlere Abflussspende (l/s pro km ²)
Oberschauersberg	205534	Aiterbach	330,0	68,3	0,798	11,7
Schleißheim	206862	Schleißbach	306,6	12,1	0,283	23,4
Holzmühle	205609	Sipbach	370,0	22,9	0,378	16,5
St. Florian bei Linz	205690	Ipfbach	251,3	86,2	1,141	13,2
Unterrohr*	206813	Sulzbach	318,4	74,8	1,612	21,6
Kirchdorf an der Krems*	205633	Krems	415,0	40,5	1,439	35,5
Kremsmünster (Ort)*	205641	Krems	337,8	147,2	3,873	26,3
Kremsdorf*	340574	Krems	363,5	363,5	9,635	26,5

* Das orographische Einzugsgebiet der durch einen Stern gekennzeichneten Messstellen reicht über die Traun-Enns-Platte hinaus.

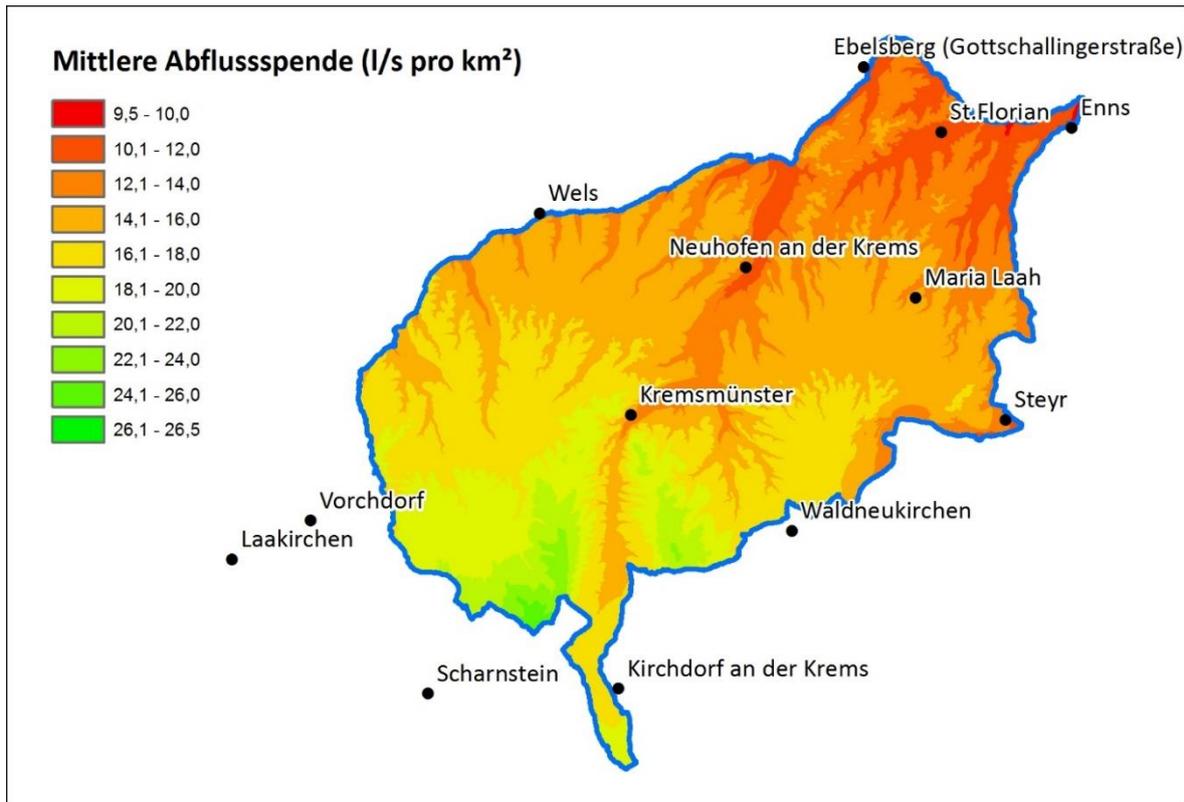


Abb. 16: mittlere Abflussspende und Niederschlagsmessstellen auf der Traun-Enns-Platte, berechnet aus den Niederschlags- und Verdunstungsverhältnissen

3.3. Ansätze einer Grundwasserbilanzierung, gegebenenfalls differenziert nach Teilbereichen

Bezüglich der Bilanzierung des Grundwasserstroms bietet die vorliegende Studie drei Ansätze (vgl. Bericht zu Arbeitspaket 13):

- 1) Grundwasserhydraulik: Berechnung des unterirdischen Abflusses aufgrund der Grundwassergleichen (Abb. 4), der Morphologie der Staueroberkante (Abb. 2) und des kf-Werts
- 2) Hydrologische Bilanz: In jenen Bereichen, in denen der Abfluss im Wesentlichen unterirdisch von statten geht (das betrifft vor allem jene Bereiche der Deckenschotter, die von Trockentälern durchzogen sind; siehe Abb. 3), kann dieser aus der Niederschlagshöhe berechnet werden, indem die nach *TURC* berechnete realen Evapotranspiration abgezogen wird. Abb. 16 zeigt das Ergebnis dieser Berechnung.
- 3) Im Einzugsgebiet der Pegel Oberschauersberg, Schleißheim, Holtermühle und St. Florian bei Linz (siehe Tab. 1) kann der unterirdische Abfluss auch aus den Abflussganglinien errechnet werden. Die vorliegenden GIS-Daten lassen dabei eine Differenzierung nach Teilbereichen zu.

3.4. Betrachtung der hydrochemischen Verhältnisse insbesondere in Hinblick auf die räumliche Verteilung des Parameters Nitrat

Abb. 18 zeigt die langjährigen Mittel des Nitratgehalts der einzelnen GZÜV-Grundwassermessstellen auf der Traun-Enns-Platte sowie die Lage der in Abb. 17. betrachteten Teilgebiete der Deckenschotter. In Abb. 17 sind die Ganglinien des mittleren Nitratgehalts der einzelnen Teilbereiche dargestellt. Demnach ist der niedrigste Nitratwert im Norden des Teilgebiets 6 (Abschnitt nördlich St. Florian) zu beobachten (in Abb. 17 etwa 20 mg/l Nitrat). In den übrigen Bereichen sind im Mittel deutlich höhere Werte gegeben (vgl. Abb. 17). Aus Abb. 18 geht hervor, dass hier die Mittelwerte des Großteils der GZÜV-Messstellen in die Klassen 31 bis 100 mg/l fallen. Im Raum Neuhofen an der Kreams bis Hofkirchen treten dabei gehäuft Messstellen mit besonders hohen Mittelwerten auf (Klasse 61-100 mg/l Nitrat).

Abb. 17 enthält auch eine Ganglinie des Mittelwerts der gesamten GZÜV-Messstellen im Bereich der Deckenschotter der Traun-Enns-Platte. Dieser schwankt um etwa 35 mg/l Nitrat, wobei der Beobachtungszeitraum 1993 bis 2012 keine klare Entwicklungstendenz erkennen lässt.

Generell korreliert bei den betrachteten Messstellen der Gesamtlösungsinhalt mit dem Nitratgehalt, wie im Bericht zu Arbeitspaket 9 – Hydrochemie anhand von Korrelationsdiagrammen aufgezeigt wird.

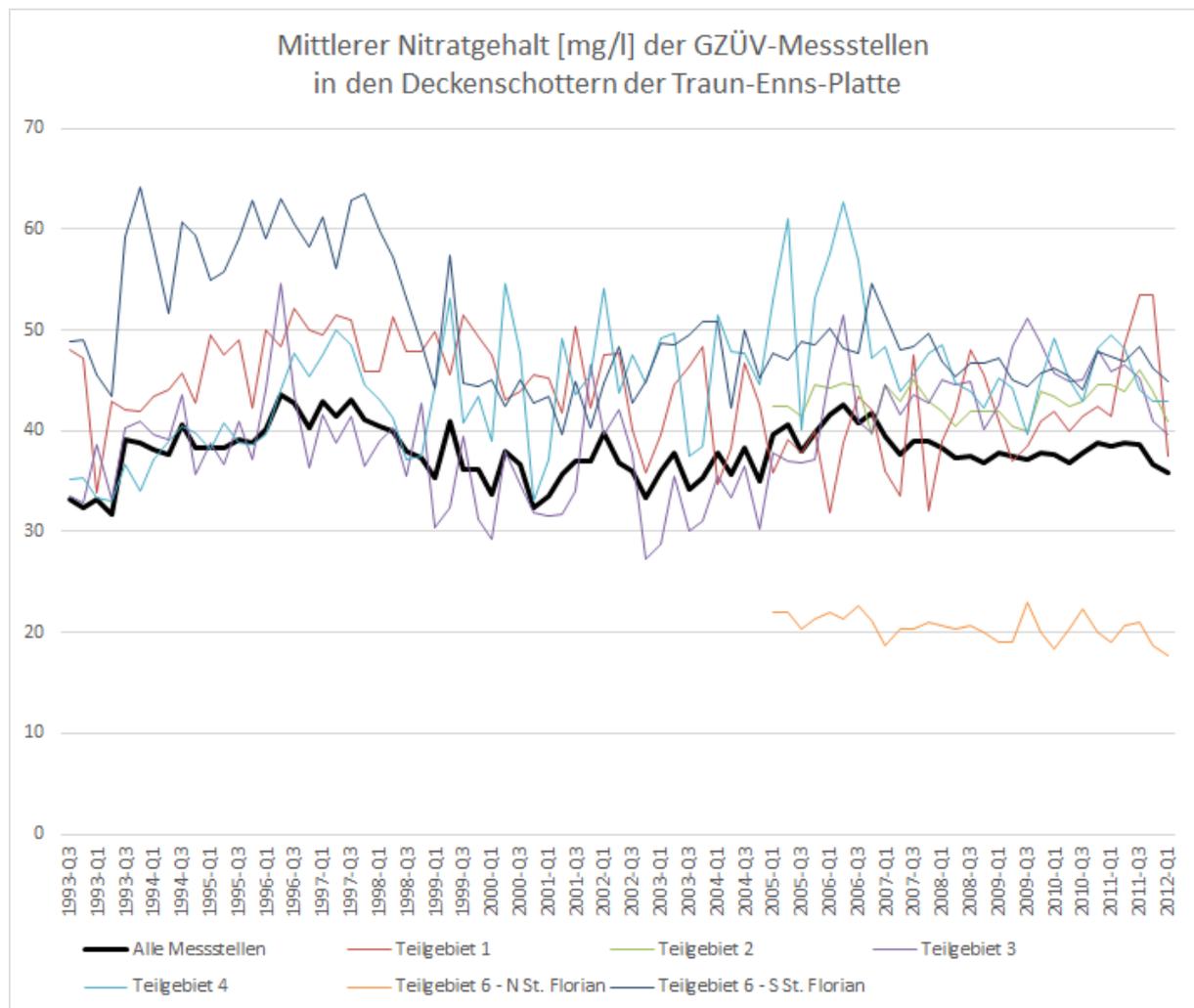


Abb. 17: Ganglinien des mittleren Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen auf der Traun-Enns-Platte, gegliedert nach den in Abb. 18 dargestellten Teilgebieten; Erläuterung siehe im Text

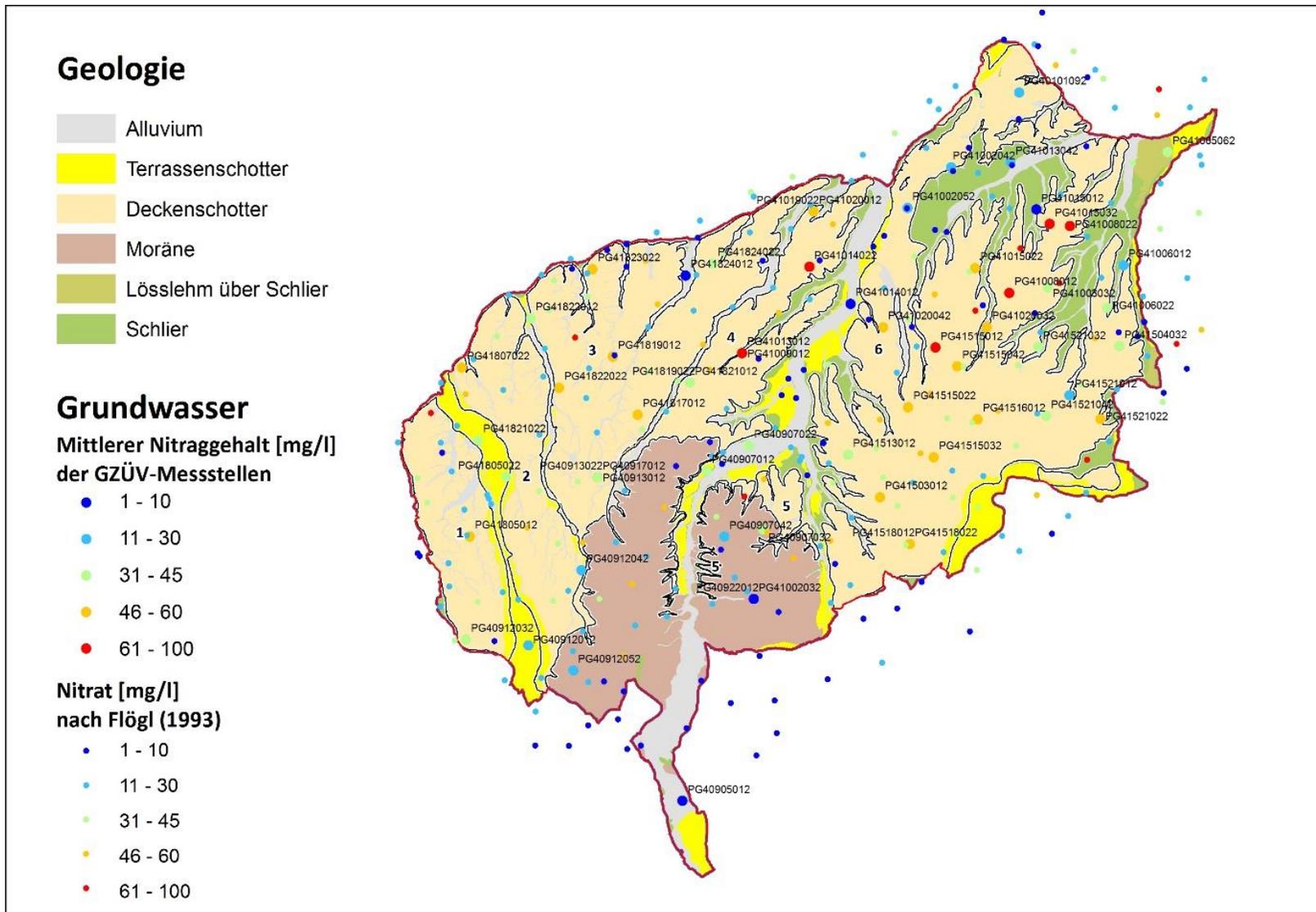


Abb. 18: Nitrat im Grundwasser der Traun-Enns-Platte und Lage der in Abb. 17 betrachteten Teilgebiete: Zum einen sind langjährige mittlere Nitratgehalte der GZÜV-Grundwassermessstellen, zum anderen Analysen aus einer aus dem 70er Jahren stammenden Studie (H. FLÖGL & W. FLÖGL, 1993: *Wasserwirtschaftliches Grundsatzgutachten Traun-Enns Platte. Bericht Februar 1989. Mit Ergänzungen April 1993. – unveröffentlichter Bericht, Linz*) wiedergegeben.

3.5. Klärung einzelner Fragen zur Grundwasserdynamik und zur Grundwasserchemie anhand von Ganglinien (Peak-Interpretation)

Eine zentrale Zielsetzung des Projekts ist die Peak-Interpretation 1) bei den Grundwasserganglinien und 2) bei den Nitratgehalten des Grundwassers. Diese erfolgte im Verlauf des Projekts bisher nur Stückweise, aufgeteilt auf verschiedener Arbeitspakete. Das vorliegende Kapitel soll nun zu dieser Thematik eine Zusammenschau und Gesamtinterpretation liefern.

Hintergrund der Peak-Interpretation (wie auch bei andern im Zuge des Projekts durchgeführten Auswertungen) war die Frage, ob die Grundwasserneubildung vor allem über einen langsamen, flächigen Eintrag vor sich geht oder ob rasche lokale Versickerungen ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Letzteres ließen die Beobachtungen von K. VOHRZYKA (1973) (*Hydrogeologie von Oberösterreich, OÖ. Landesverlag, Wels*) vermuten, der auf Seite 56 „karstähnlichen Setzungs- und Erdfallerscheinungen, die bis in eine Tiefe von 7-10 m reichen und als Schlucklöcher für Oberflächenwässer dienen können“ beschreibt. Auf Seite 60 berichtete K VOHRZYKA (1973) zudem, dass die aus dem Gebiet der Moränen kommenden Gerinne Wasser an den Untergrund abgeben, sobald sie die Schotterflächen der Traun-Enns-Platte erreichen und dass es zur Zeit der Schneeschmelze und nach Starkregen auch in den oft viele Kilometer langen Trockentälern zur Versickerung von Oberflächenwasser kommt.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 9 – Hydrochemie wurden bereits die Ganglinien des in der Regel einmal im Quartal gemessenen Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen statistisch in Hinblick auf die davor herrschende hydrologische Situation ausgewertet. Das Ergebnis ist in Abb. 6 und 7 wiedergegeben. Beim Großteil der Messstellen zeigt sich diesbezüglich kein Zusammenhang. Soweit es die Deckenschotter betrifft ergaben sich nur bei den in Tab. 3 wiedergegebenen Messstellen Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang.

Das Ergebnis dieser statistischen Auswertung ist als Indikator für einen möglichen Oberflächeneinfluss zu werten. Im Einzelnen müsste dieses Ergebnis aber erst durch weitere Informationen, insbesondere durch eine vorübergehende, zeitlich engere Beobachtung untermauert werden.

Im Gegensatz zum genannten statistischen Ansatz ergab die nachfolgende Auswertung der Ganglinien aller zur Verfügung stehenden Parameter nur bei zwei Messstellen ein klares Ergebnis (Teilgebiet 1: PG41805012 und Teilgebiet 4: PG41013012), nämlich in Hinblick auf eine Verdünnung durch rasch versickernde Oberflächenwässer. Diese beiden Messstellen sind auch in Tab. 3 angeführt, wobei letztere der Messstelle PG41009012 in Tab. 3 entspricht.

Die im Folgenden wiedergegebenen Diagrammen betreffen die einzelnen, von Deckenschottern eingenommenen Teilgebiete auf der Traun-Enns-Platte. Sie enthalten Ganglinien zu Schnee- und Niederschlagshöhe, Grundwasserspiegel und Nitrat. Zum Teil werden diese ergänzt durch Diagrammen zum CO₂-Partialdrucks (Zehnerlogarithmus bezogen auf atm) (siehe Abb. 19 bis 30). Die Lage der Teilgebiete sowie der GZÜV-Messstellen (Nitratwerte) können Abb. 18 entnommen werden, die Position der Grundwasserpegel ist in Abb. 4 ersichtlich. Zur Darstellung der Schnee- und Niederschlagsverhältnisse wurden die Messdaten der zentral gelegenen Messstelle Neuhofen an der Krems verwendet. Die Diagramme visualisieren den Zeitraum Jänner 2004 bis Dezember 2006 – in diesem übersichtlich darstellbaren, dreijährigen Zeitfenster liegen zum Großteil der Messstellen Messreihen vor. Nur im Teilgebiet 5 gibt es keine einzige Monitoringstellen. Das Teilgebiet 6 (östlich des Krems bzw. des Sulzbaches) wurde aufgrund des deutlich unterschiedlichen Verhaltens auf zwei Diagrammen aufgeteilt, nämlich in einen nördlichen und einen südlichen Bereich. Beim südlichen Abschnitt konnte aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine Auswahl der Grundwasserspiegelganglinien dargestellt werden.

Tab. 3: Messstellen im Bereich der Deckenschotter, bei denen sich bei der statistischen Auswertung im Arbeitspaket 9 (durchgeführt durch Dr. Sebastian Pfeleiderer, GBA) eine negative oder eine positive Korrelation zwischen Niederschlag und Nitratgehalt im Wasser ergab (Lage der Messstellen und Teilgebiete siehe Abb. 18)

Teilgebiet (siehe Abb. 18)	GZÜV-Nr.	Medianwert Nitratgehalt (mg/l)	nächstgelegene Niederschlags- station	negative Korrelation zeitversetzt nach	positive Korrelation zeitversetzt nach
1	PG40912032	41,75	HD4000104	3 Monaten	
1	PG41805012	47	HD4000104		3 Monaten
3	PG40913012	51,6	HD4000108	0 Monaten	
3	PG40913022	7,55	HD4000108	0 Monaten	
4	PG41009012	54,85	HD4000109	6 Monaten	
4	PG41014022	99	HD4000109	3 Monaten	
4	PG41819022	9,7	HD4000108	6 Monaten	0 Monaten
4	PG41821012	38	HD4000108	0 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41006022	29	HD4000116	0 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41008022	63	HD4000112	12 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41008032	41	HD4000116	0 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41015032	79	HD4000112	3 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41504032	41	HD4000116		0 Monaten
6 – südl. St Marienbach	PG41518012	42,7	HD4000147	0 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41521032	39	HD4000116	0 Monaten	
6 – südl. St Marienbach	PG41521042	40,4	HD4000116	0 Monaten	
6 – nördl. St Marienbach	PG41002042	17	HD4000110		0 Monaten
6 – nördl. St Marienbach	PG41002052	20	HD4000109		0 Monaten
6 – nördl. St Marienbach	PG40101092	25	HD4000110	0 Monaten	

Aus Abb. 19 bis 30 geht klar hervor, dass bei den meisten der dargestellten Grundwasserspiegelganglinien die Schneeschmelze der treibende Motor für die jährlichen Grundwasserspiegelanstiege im Frühjahr ist. Daneben können auch niederschlagsreichere Perioden eine wichtige Rolle spielen – ein derartiger Einfluss ist beispielsweise bei den in Abb. 28 dargestellten Grundwasserspiegelganglinien besonders stark ausgeprägt, während z. B. bei der Grundwasserspiegelganglinie in Abb. 19 ein Einfluss des Niederschlags nur im Juli 2005, und dass nur in einem bescheidenen Ausmaß, feststellbar ist.

Die Grundwasserspiegelschwankungen sind in der Regel nicht auf rasch bis ins Grundwasser durchsickernde Niederschlags- bzw. Oberflächenwässer zurückzuführen, sondern auf eine Mobilisation des in der vadosen Zone befindlichen Sickerwassers (in der Lößlehmdecke beträgt die durchschnittliche Sickergeschwindigkeit nur 1 m pro Jahr). Das Sickerwasser wird durch die nachsickernden Schmelzwässer bzw. Niederschlagsereignisse nur mobilisiert, wobei die durchschnittliche Verweilzeit in der vadosen Zone insgesamt einige Jahre beträgt, bis das Grundwasser erreicht wird. Das belegen zum einen die bodenkundlichen Untersuchungen der auf den Deckenschottern liegenden Lößlehmdecke (vgl. Abb. 11), wie auch der hohe CO₂-Partialdruck des Grundwassers (Abb. 9). Nicht zuletzt zeigt dies auch die detaillierte Auswertung der Ganglinien auf: Generell scheinen nämlich die in Abb. 19 bis 30 dargestellten Nitratganglinien von der momentanen hydrologischen Situation unbeeinflusst zu sein.

Lediglich bei folgenden beiden Messstellen ist in den Diagrammen ein eindeutiger Zusammenhang zu erkennen, der offenbar auf einem Verdünnungseffekt durch ein rasch versickerndes Oberflächenwasser zurückgeht:

Teilgebiet 1

PG41805012 Die schwach ausgeprägten Nitrat-Minima im März 2004, März 2005 und März 2006 korrelieren jeweils mit der Schneeschmelze (Abb. 19). Des Weiteren zeigen die gleichen Proben schwach ausgeprägte Minima beim CO₂-Partialdruck (Abb. 20). Jedoch nur bei der Probe im März 2004 war auch die Kalzitsättigung entsprechend niedrig (Abb. 21). Daher darf für diese Messstelle angenommen werden, dass nur bei der Märzproben tatsächlich ein deutlicher Anteil an rasch versickerndem Schmelzwasser beteiligt war (eine Mischungsberechnung ergibt 30 %).

Teilgebiet 4

PG41013012 Bei dieser Messstelle weisen die Proben vom August 2005 und November 2006 starke Minima beim Nitratgehalt auf (Abb. 24). Beim CO₂-Partialdruck zeigt hingegen nur die Probe vom August 2005 ein deutliches Minimum (Abb. 25). Dieses korreliert mit einer Niedrigen Kalzitsättigung (Abb. 26). Es ist daher zu erwarten, dass in der Probe vom August 2005 ein hoher Anteil an rasch versickerndem Oberflächenwasser enthalten ist (eine Mischungsberechnung ergab etwa 75 %).

In Abb. 27 sind beim Nitratgehalt der Pegel PG41006022 und PG41015032 (Teilgebiet 6, südlicher Anteil) deutliche Minima im Juni 2005 und Juni 2006 festzustellen. Der Vergleich mit den CO₂-Partialdrücken (Abb. 28 und 29) zeigt auf, dass es sich hier um keinen Verdünnungseffekt durch unmittelbar eindringende Oberflächenwässer handeln kann, da das Nitrat-Minimum im Juni 2006 nicht mit einem CO₂-Minimum zusammenfällt (für den Juni 2005 konnte keine Auswertung vorgenommen werden, da bei beiden Messstellen die für eine Berechnung notwendige Hydrogenkarbonat-Konzentration nicht vorliegt).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Grundwasserspiegelschwankungen vorwiegend von der Schneeschmelze und untergeordnet oder lokal auch stärker von den Niederschlagsverhältnissen gesteuert werden, dass aber die Grundwasserneubildung hauptsächlich über eine langsame flächige

Versickerung (Verweilzeit in der Sickerzone zumeist einige Jahre bis mehrere Monate) vor sich geht, die sich in Dellen konzentrieren kann. Ein unmittelbarer Oberflächeneinfluss spielt hingegen nur lokal und zeitlich begrenzt eine Rolle.

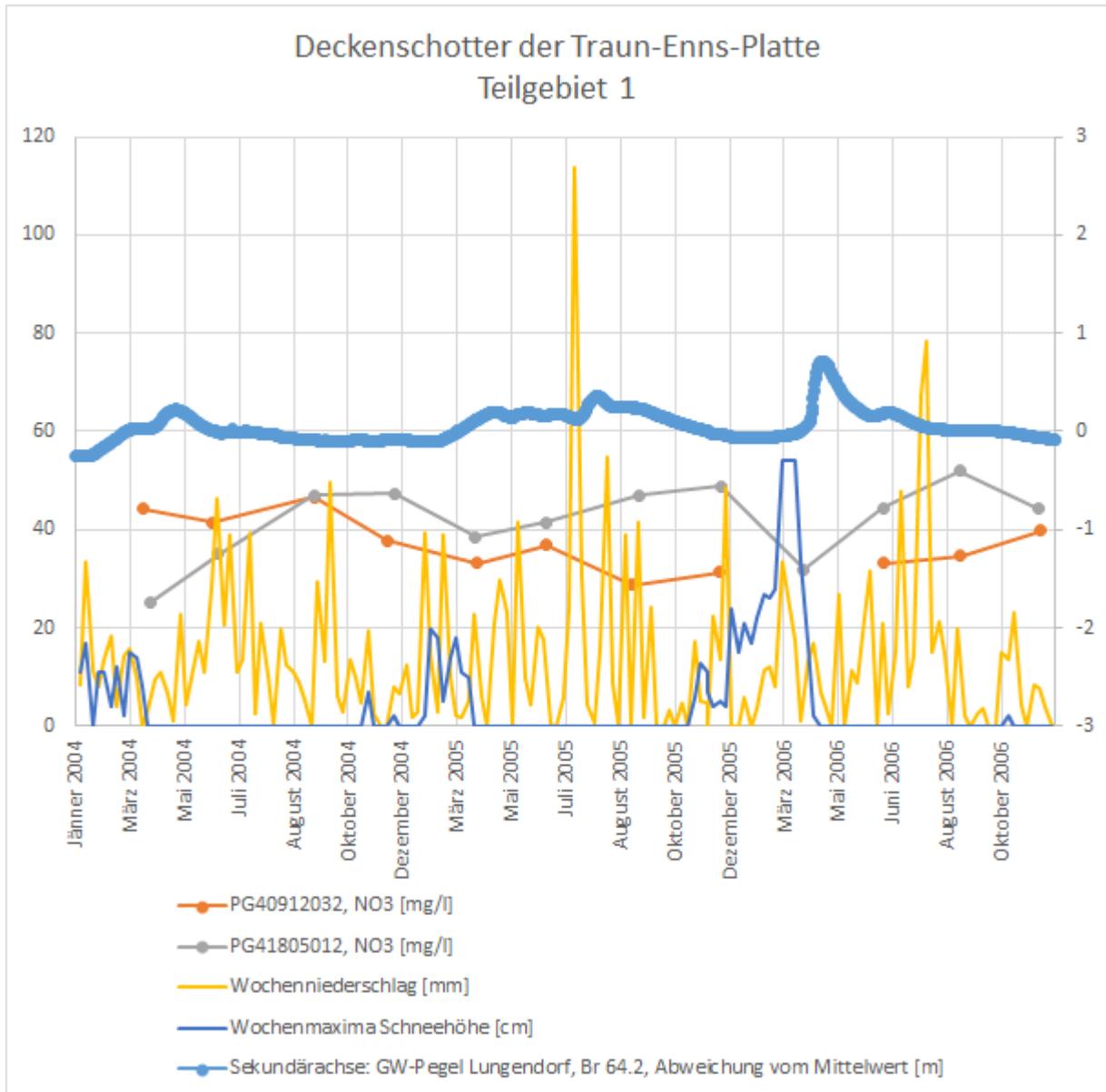


Abb. 19: Ganglinien 2004-2006 des Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen und des Grundwasserpegels im Teilgebiet 1 (siehe Abb. 18) sowie Niederschlags- und Schneehöhe der Messstelle Neuhofen an der Krems; Erläuterung siehe im Text

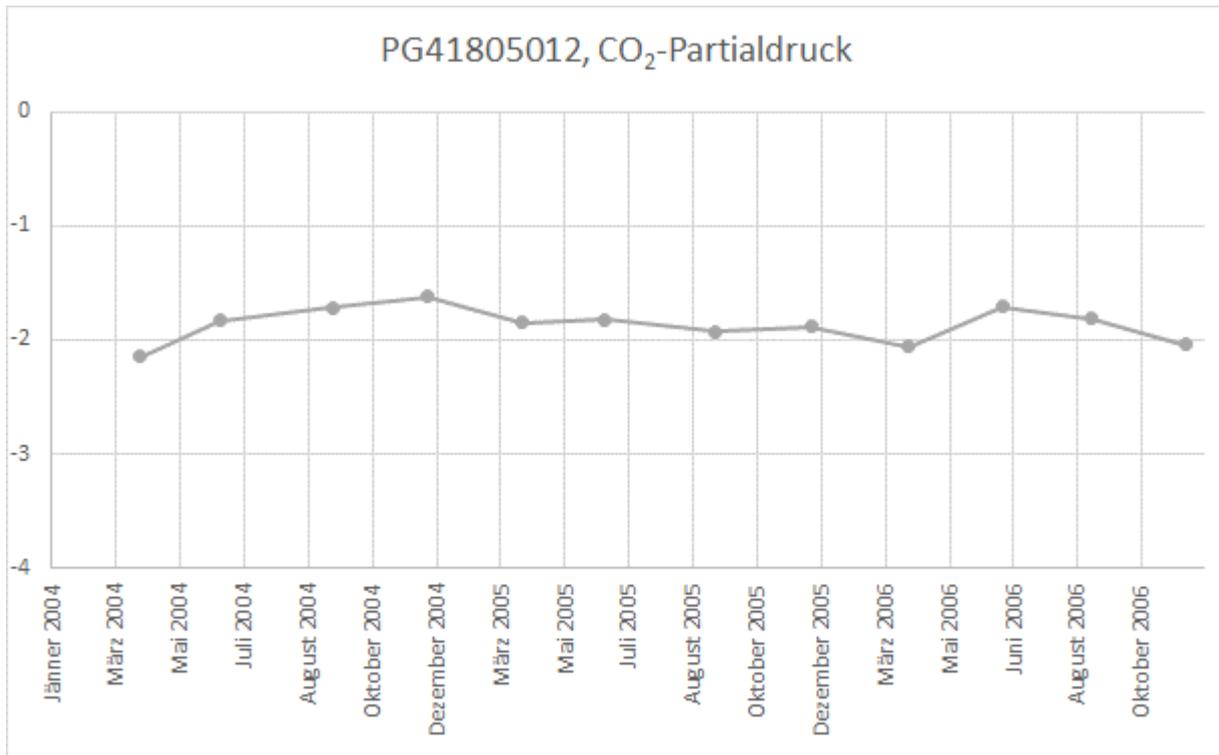


Abb. 20: Ganglinien 2004-2006 des CO₂-Partialdrucks (Zehnerlogarithmus bezogen auf atm) der GZÜV-Messstellen PG41805012; die leicht niedrigeren CO₂-Partialdrücke im März 2004, März 2005 und März 2006 korrelieren mit den etwas niedrigeren Nitratwerten (Abb. 25). Offenbar kommt es bei dieser Messstelle bei der Schneeschmelze nicht nur zu einem Grundwasserspiegelanstieg, sondern in einem geringen Ausmaß auch zu einem direkten Eintrag von weniger belastetem Sickerwasser in das Grundwasser.

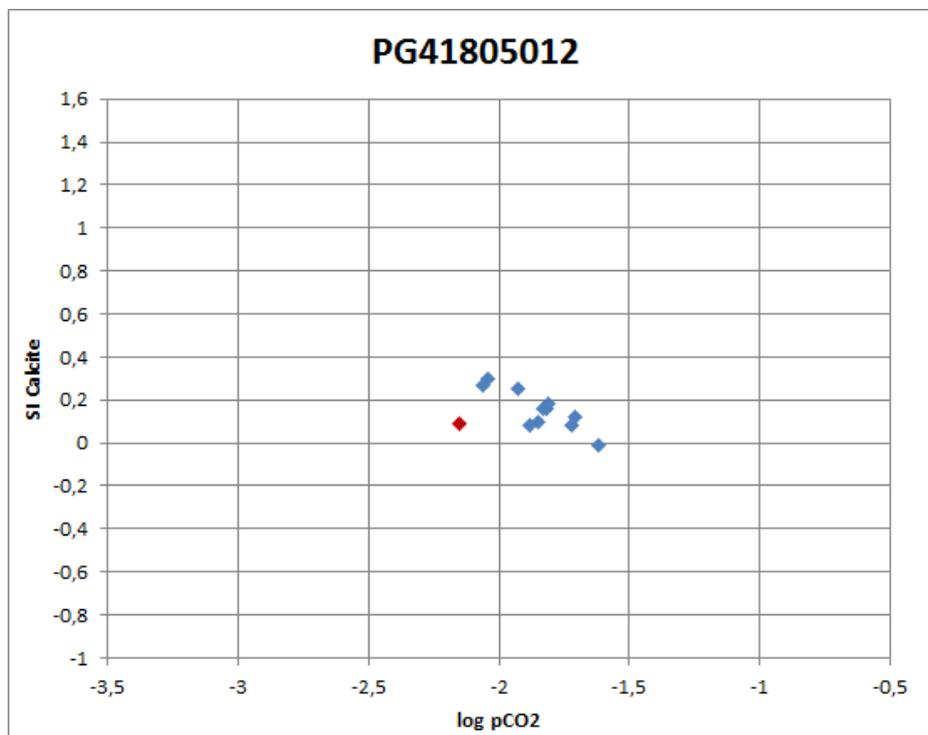


Abb. 21: Kalzitsättigung gegen CO₂-Partialdruck zu den Analysen der GZÜV-Messstelle PG41505012 der Jahre 2004 bis 2006; die Analyse März 2004 ist rot hervorgehoben

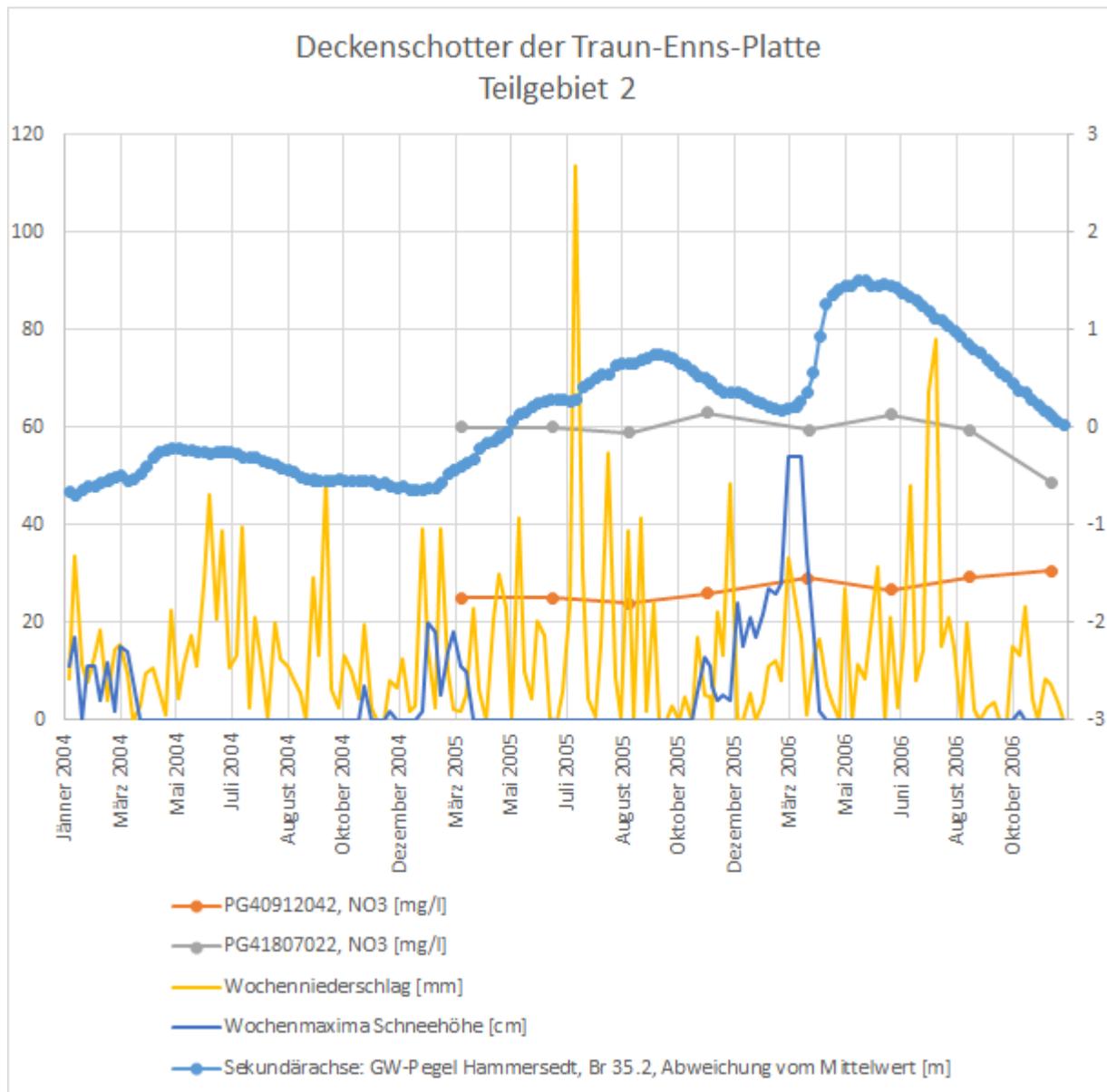


Abb. 22: Ganglinien 2004-2006 des Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen und des Grundwasserpegels im Teilgebiet 2 (siehe Abb. 18) sowie Niederschlags- und Schneehöhe der Messstelle Neuhofen an der Krems; Erläuterung siehe im Text

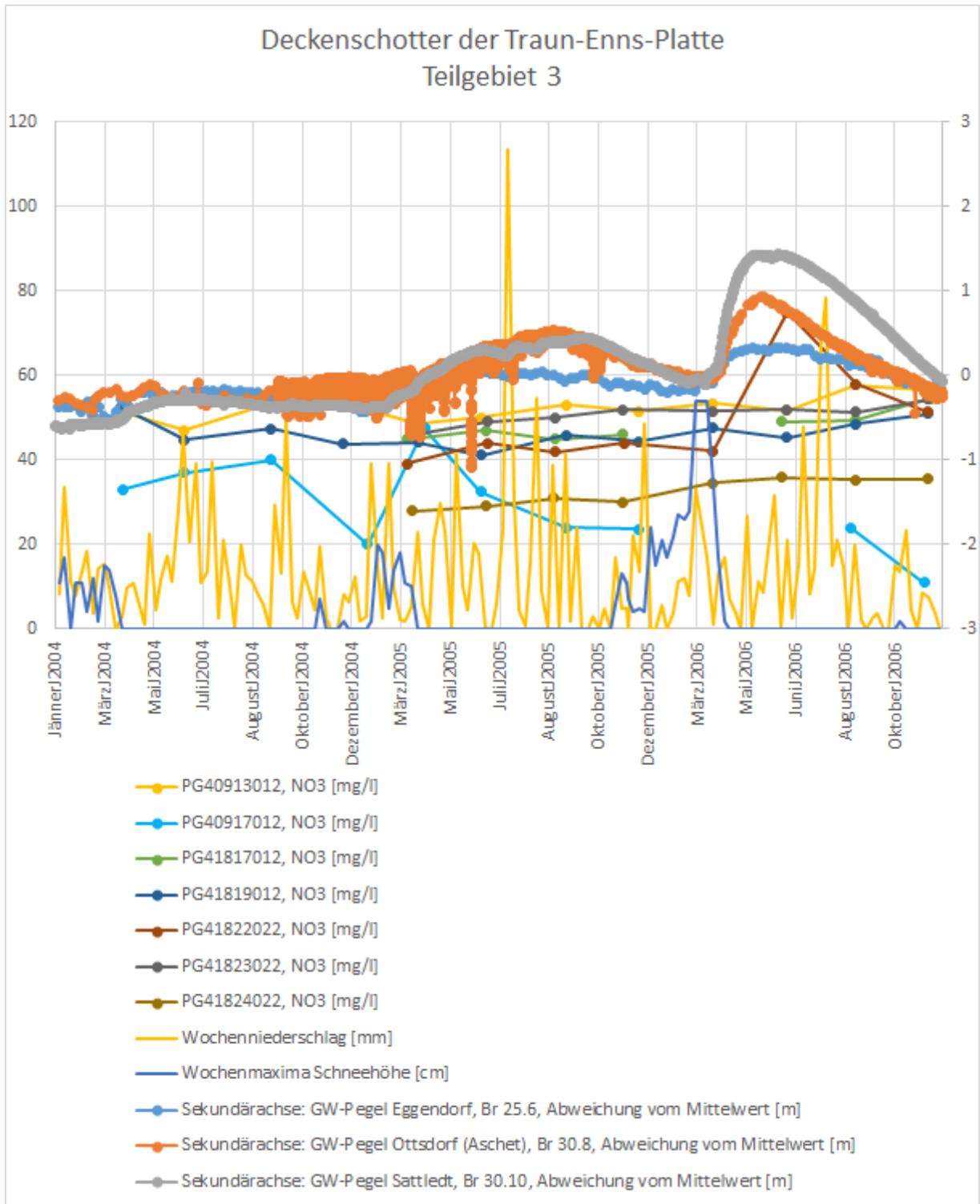


Abb. 23: Ganglinien 2004-2006 des Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen und der Grundwasserpegel im Teilgebiet 3 (siehe Abb. 18) sowie Niederschlags- und Schneehöhe der Messstelle Neuhofen an der Krems; Erläuterung siehe im Text

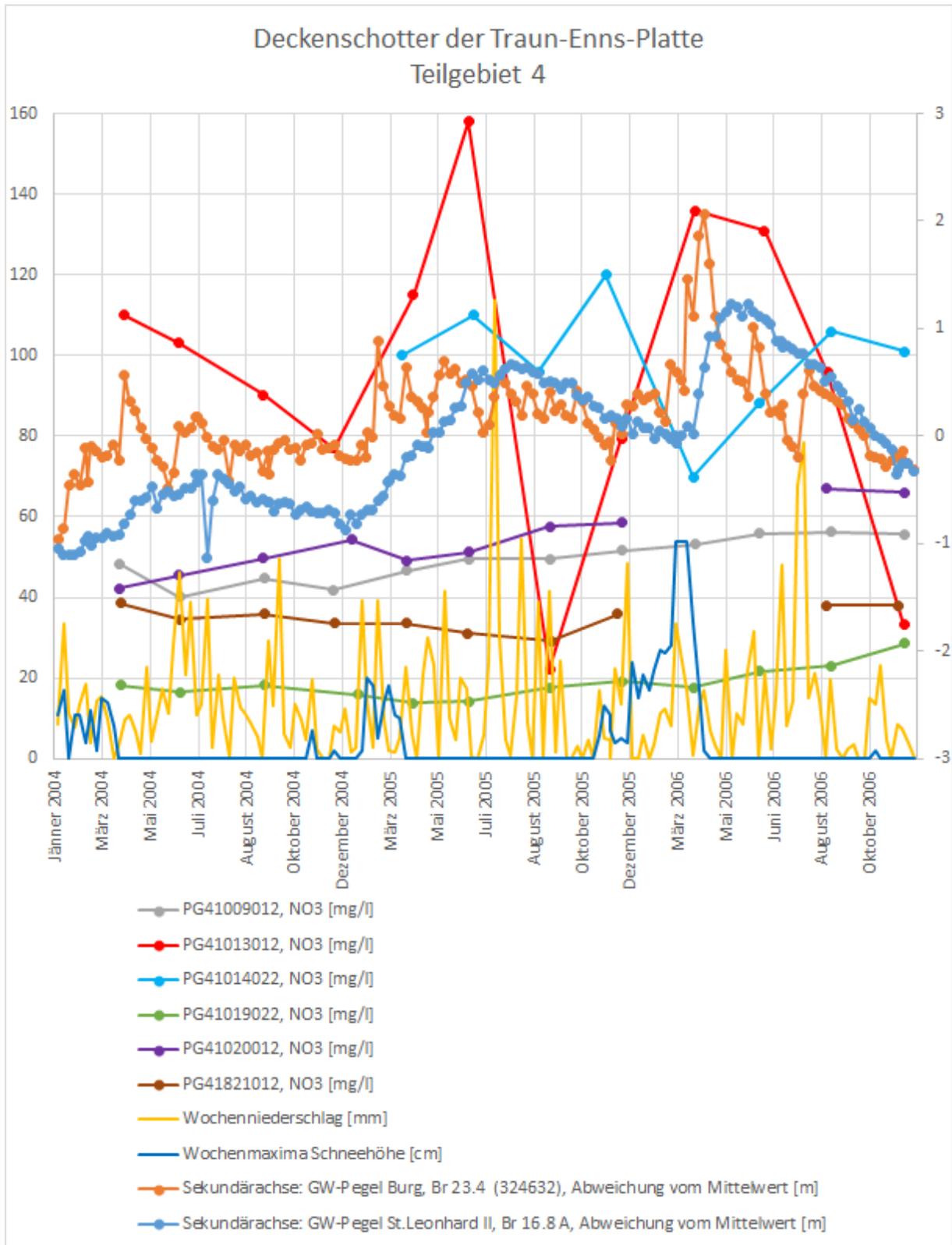


Abb. 24: Ganglinien 2004-2006 des Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen und der Grundwasserpegel im Teilgebiet 4 (siehe Abb. 18) sowie Niederschlags- und Schneehöhe der Messstelle Neuhofen an der Krems; Erläuterung siehe im Text

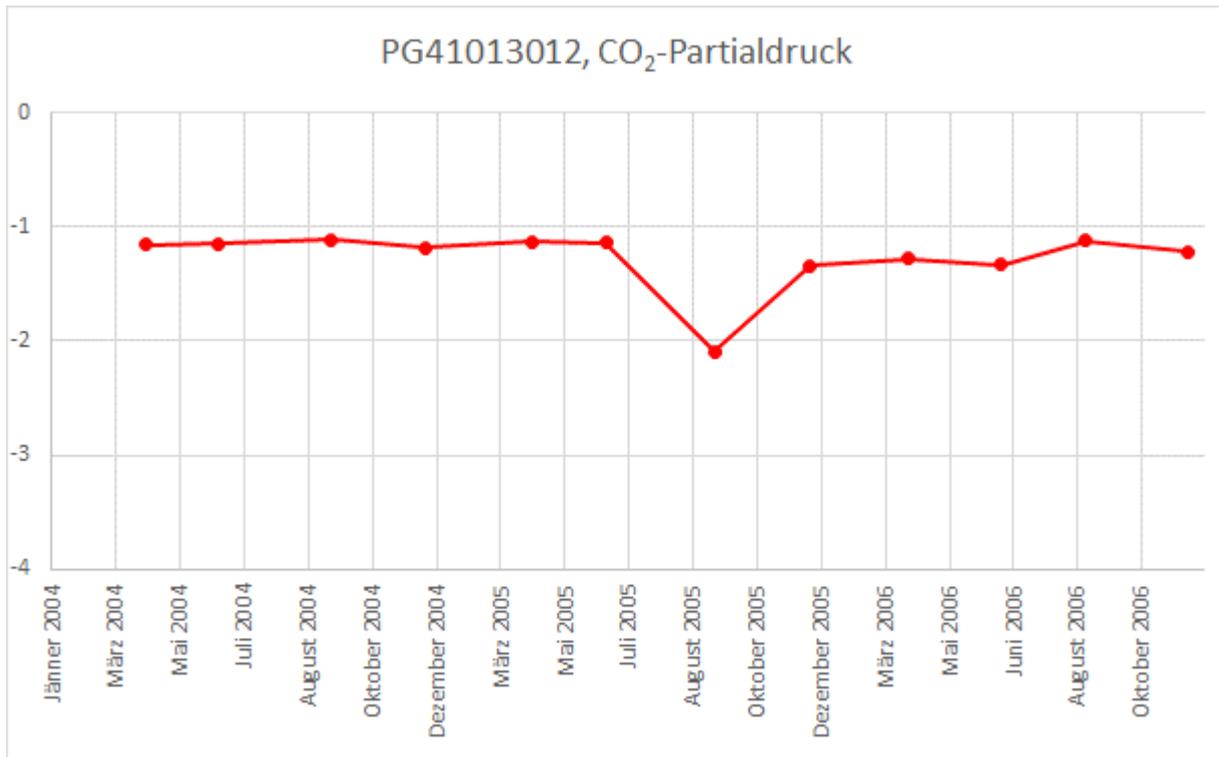


Abb. 25: Ganglinien 2004-2006 des CO₂-Partialdrucks (Zehnerlogarithmus bezogen auf atm) der GZÜV-Messstellen PG41013012; der deutlich niedrigere CO₂-Partialdrucke im August 2005 korreliert mit einem niedrigeren Nitratwerten (Abb. 24). Offenbar kam es bei dieser Messstelle im August 2005 zu einer Verdünnung durch rascher versickertes Oberflächenwasser. In Abb. 23 weist die Ganglinie dieser Messstelle auch im September 2004 und im November 2006 ein geringer Nitratwert auf, für die es aber in der Abb. 25 keine Entsprechung mehr gibt.

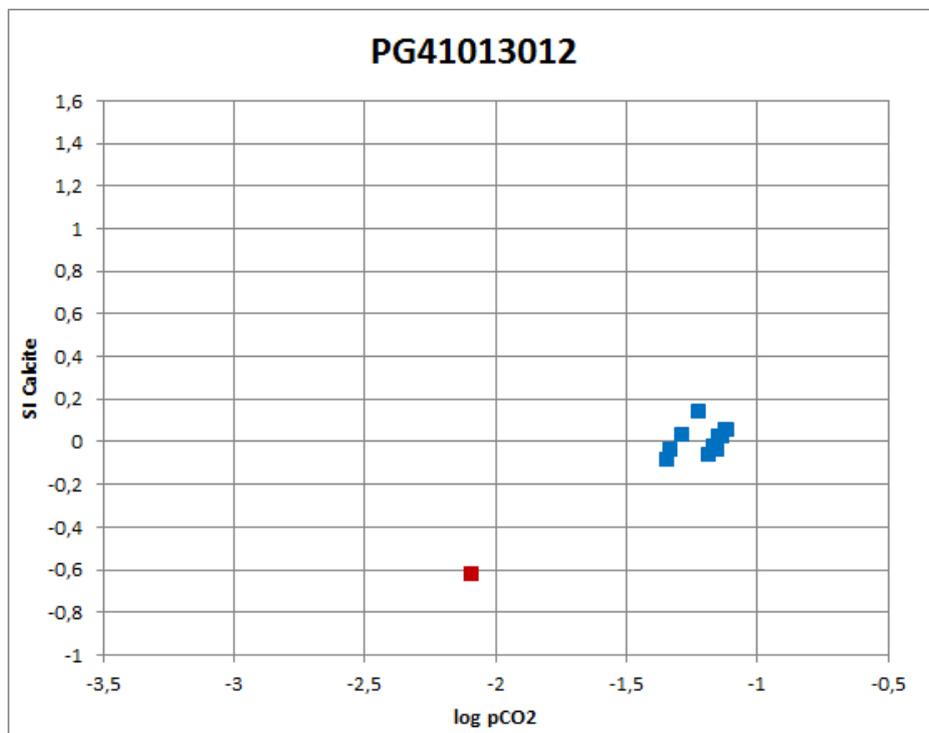


Abb. 26: Kalzitsättigung gegen CO₂-Partialdruck zu den Analysen der GZÜV-Messstelle PG41013012 der Jahre 2004 bis 2006; die Analyse August 2005 ist rot hervorgehoben

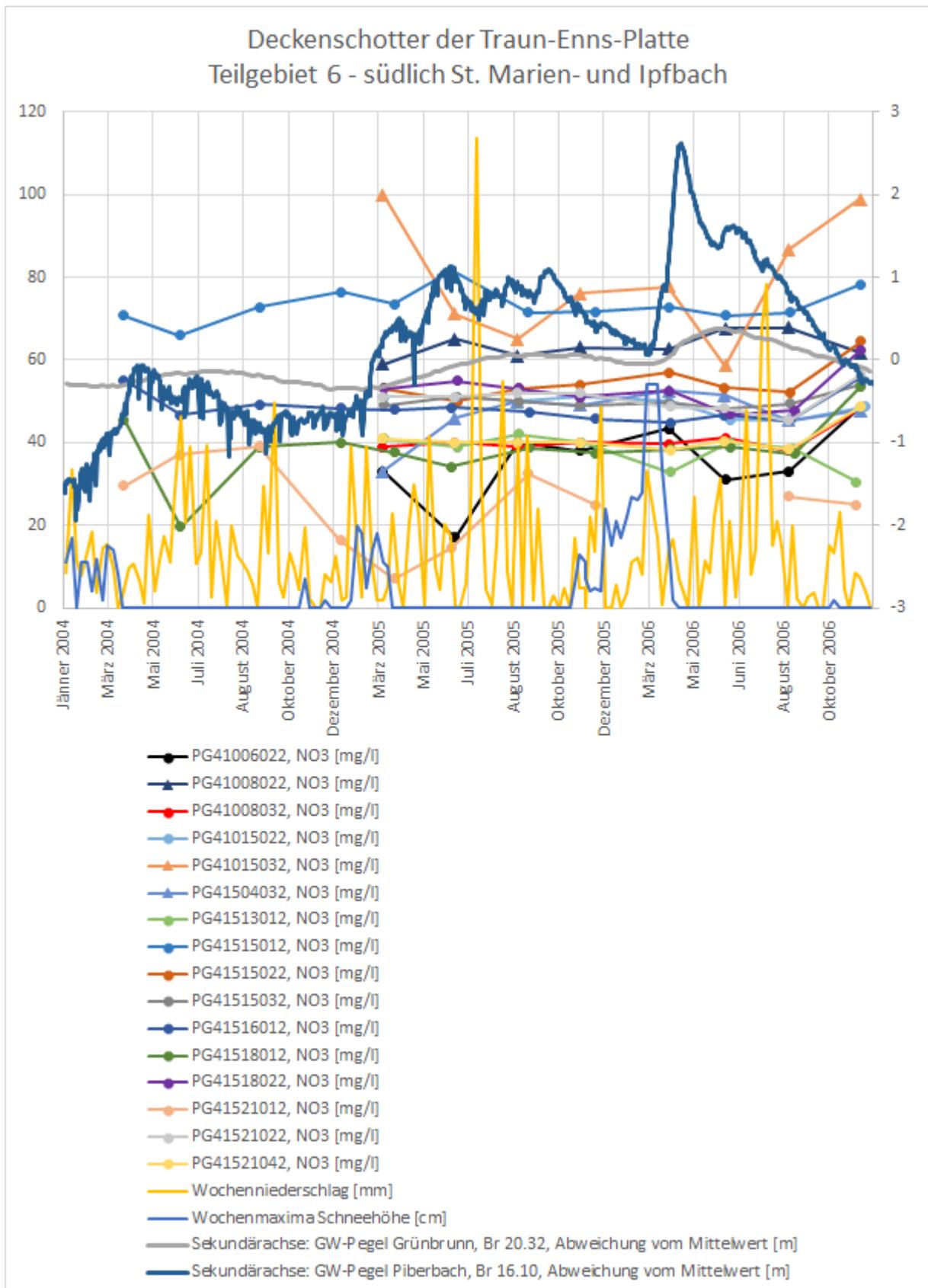


Abb. 27: Ganglinien 2004-2006 des Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen und ausgewählter Grundwasserpegel im Teilgebiet 6, Anteil südlich St. Marien- und Ipfbach (siehe Abb. 18) sowie Niederschlags- und Schneehöhe der Messstelle Neuhofen an der Krems; Erläuterung siehe im Text

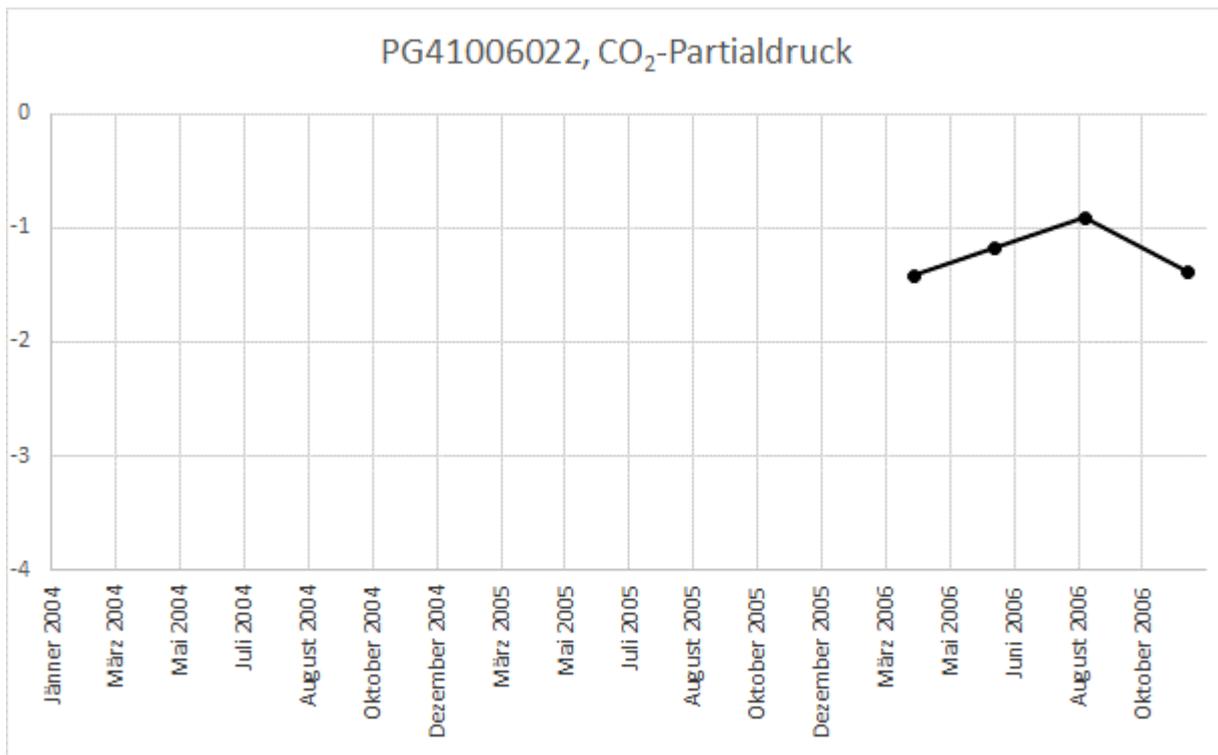


Abb. 28: Ganglinien 2004-2006 des CO₂-Partialdrucks (Zehnerlogarithmus bezogen auf atm) der GZÜV-Messstellen PG41006022; die niedrigeren Nitratwerte im Juni und August 2006 (Abb. 27) entsprechen hier höheren CO₂-Partialdrücke. Für den Zeitraum vor März 2006 konnten für diese Messstelle keine CO₂-Partialdrucke ausgerechnet werden, da für diesen Zeitraum keine Angaben zum Hydrogengehalt vorliegen.

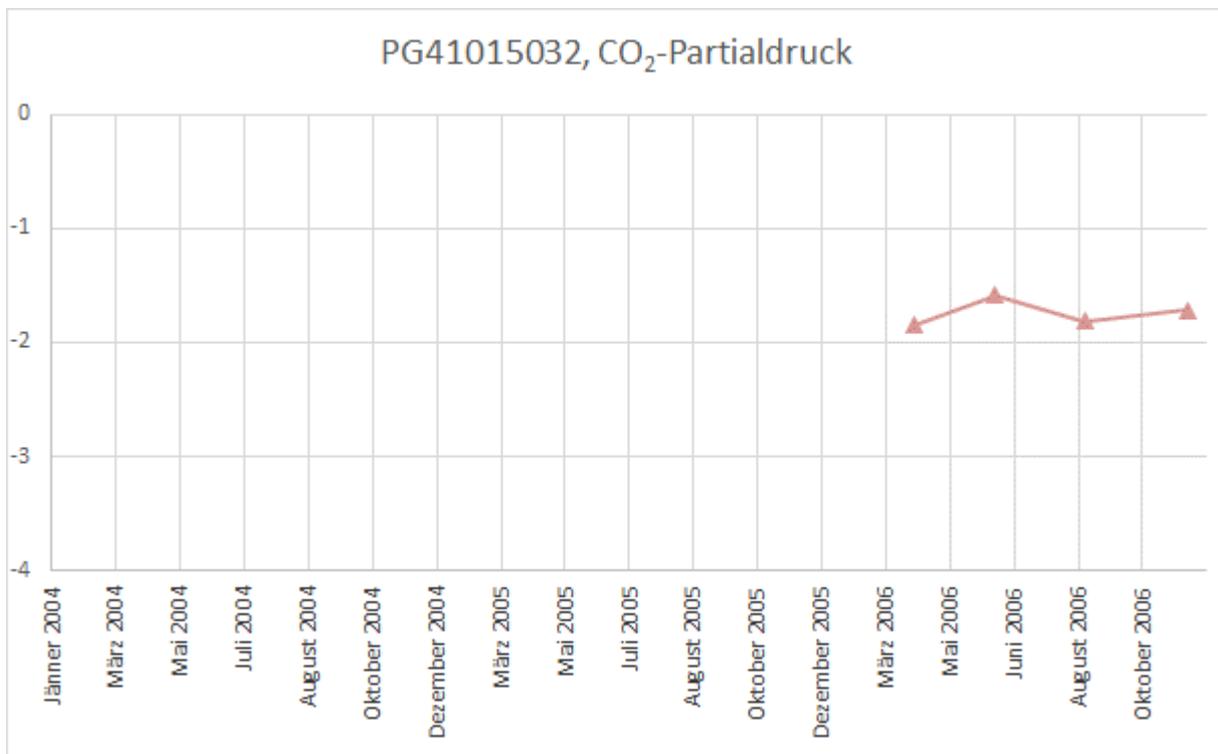


Abb. 29: Ganglinien 2004-2006 des CO₂-Partialdrucks (Zehnerlogarithmus bezogen auf atm) der GZÜV-Messstellen PG41015032; der niedrigere Nitratwert im Juni 2006 (Abb. 27) entsprechen hier leicht höheren CO₂-Partialdruck. Für den Zeitraum vor März 2006 konnten für diese Messstelle keine CO₂-Partialdrucke ausgerechnet werden, da für diesen Zeitraum keine Angaben zum Hydrogengehalt vorliegen.

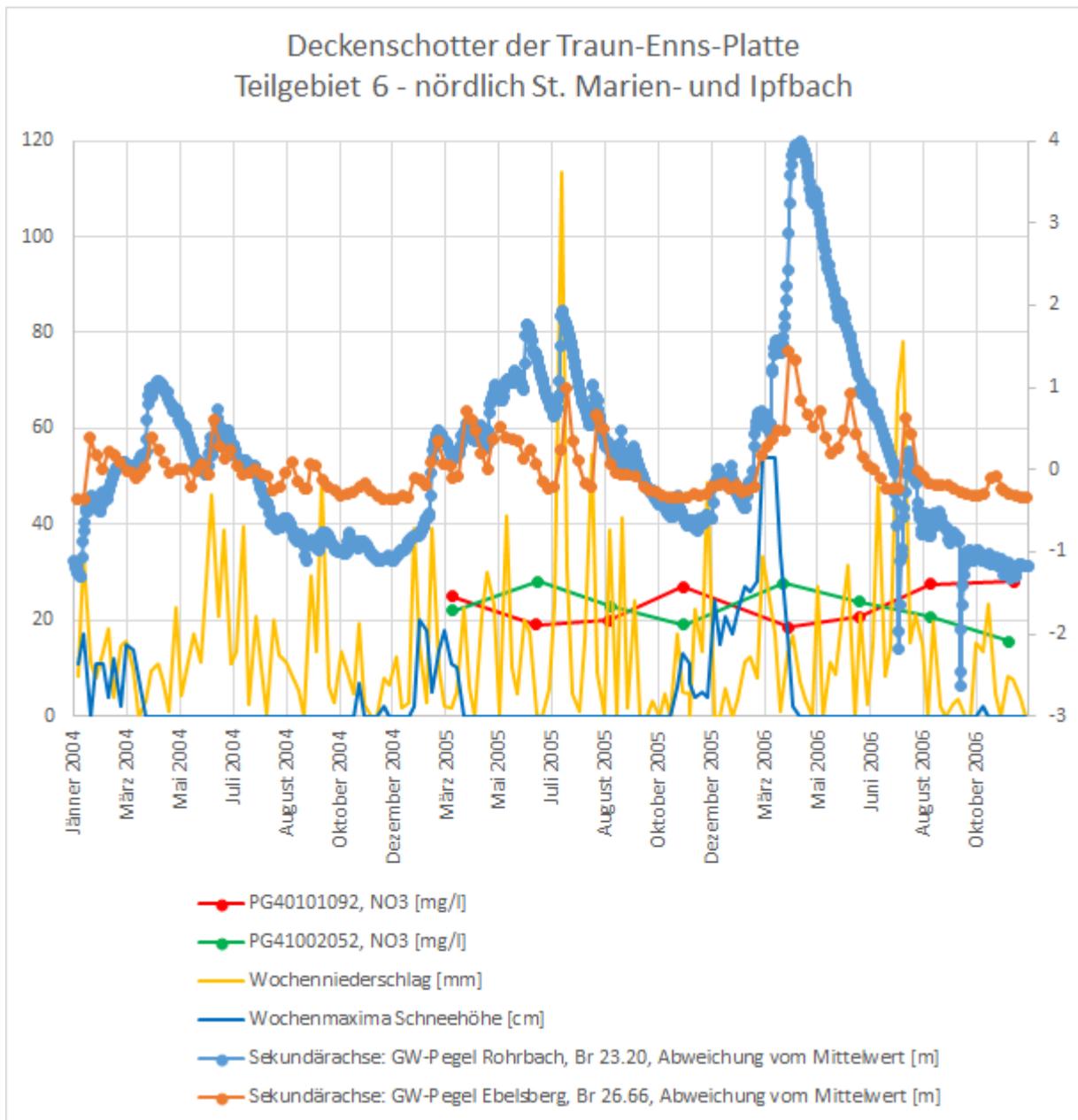


Abb. 30: Ganglinien 2004-2006 des Nitratgehalts der GZÜV-Messstellen und ausgewählter Grundwasserpegel im Teilgebiet 6, Anteil nördlich St. Marien- und Ipfbach (siehe Abb. 18) sowie Niederschlags- und Schneehöhe der Messstelle Neuhofen an der Krems; Erläuterung siehe im Text