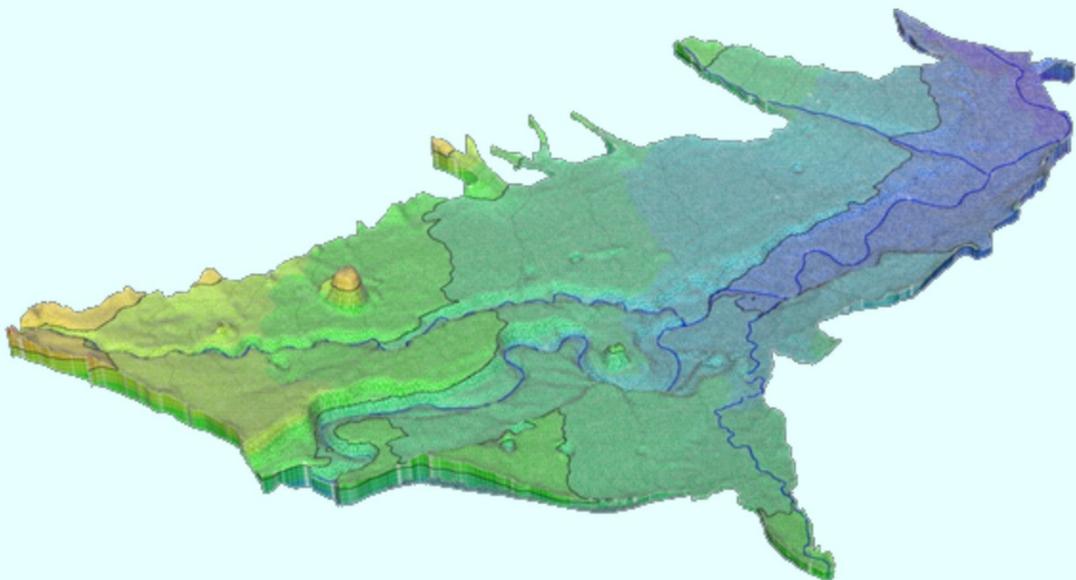


Grundwasserkörper GK 100096

AICHFELD - MURBODEN

Instationäres Grundwasserströmungsmodell



Endbericht

Jänner 2016

Auftraggeber:



Das Land
Steiermark

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
8010 Graz, Wartingergasse 43

Ausführung:



Geoteam

Technisches Büro für Hydrogeologie, Geothermie und Umwelt Ges.m.b.H.

www.geoteam.at

Mag. Christian KRIEGL
DI Dr. Vilmos VASVÁRI
Univ.-Doz. DI Dr. Tibor MOLNAR
Mag. Marlies GOLD
Mag. Hans Peter HEISS
Univ.-Prof. Dr. Johann GOLDBRUNNER

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Beauftragung	1
2. Unterlagen	2
2.1. Publikationen.....	2
2.2. Unveröffentlichte Unterlagen.....	3
3. Projektvorgaben und Projektablauf	5
4. Hydrogeologisches Modell	8
4.1. Grundwasserkörper	8
4.2. Untersuchungsgebiet	8
4.3. Geologischer Überblick	9
4.3.1. Einleitung	9
4.3.2. Tektonische Entwicklung.....	10
4.3.3. Präquartäre Gesteine	12
4.3.4. Quartäre Ablagerungen	13
4.4. Bohrdaten	14
4.4.1. Einleitung	14
4.4.2. Hydrografiepegel	17
4.4.3. Bohrdatenarchiv Universalmuseum Joanneum	20
4.4.4. Brunnenanlagen.....	23
4.4.5. Sonstige Bohrdaten	25
4.4.6. Statistische Beurteilung der verfügbaren Bohrdaten (Bohrprofile).....	27
4.5. Aquifergeometrie	34
4.5.1. Vorhandene Grundwasserstauerkarten	34
4.5.2. Grundwasserstauer Modell Aichfeld-Murboden	34
4.5.3. Aquiferdeck- und Zwischenschichten	38
4.6. Grundwasserspiegeldaten der Hydrografiepegel	41
4.7. Aquiferdurchlässigkeiten	45
5. Wasserrechte und Grundwasserentnahmen	48
6. Niederschlag-Abflussmodell	51
6.1. Einleitung.....	51
6.2. Modellierungsprogramm	51
6.3. Kopplung des Grundwasser- und Niederschlag-Abfluss-Modells	52
6.4. Abgrenzung des Modellgebietes	53

6.5.	Datengrundlage	54
6.5.1.	Einleitung	54
6.5.2.	Raumbezogene Daten.....	55
6.5.3.	Zeitbezogene Daten	59
6.6.	Modellkonfiguration und Parametrisierung	62
6.7.	Modellkalibrierung	65
6.7.1.	Vorgehensweise	65
6.7.2.	Ergebnisse.....	66
6.7.3.	Güte	67
6.8.	Modellvalidierung	69
6.9.	Erstellen der Zeitreihen zur Grundwasserneubildung.....	70
6.10.	Resümee	72
7.	Numerisches Grundwasserströmungsmodell	73
7.1.	Abgrenzung des Modellgebietes	73
7.2.	Software und Modellnetz.....	73
7.3.	Geometrie des Grundwasserleiters	75
7.4.	Durchlässigkeitsverteilungen und Porositäten.....	76
7.5.	Modellkalibrierung	77
7.5.1.	Einleitung und Vorgehensweise.....	77
7.5.2.	Äußere Randbedingungen.....	78
7.5.3.	Innere Randbedingungen.....	79
7.5.3.1.	Wasserspiegellagen der Gewässer.....	79
7.5.3.2.	Sohlwiderstand der Fließgewässer - Leakage-Faktoren.....	82
7.5.3.3.	Grundwasserneubildung	82
7.5.3.4.	Grundwasserentnahmen	84
7.5.4.	Stationäre Kalibrierung	85
7.5.4.1.	Einleitung	85
7.5.4.2.	Auswahl der Stichtage	85
7.5.4.3.	Inaktive Zonen	86
7.5.4.4.	Kalibrierungsergebnisse für nGW.....	88
7.5.4.5.	Kalibrierungsergebnisse für hGW.....	90
7.5.4.6.	Darstellung des mGW-Zustandes	92
7.5.5.	Instationäre Kalibrierung für den Zeitraum 2000 - 2010.....	94
7.6.	Simulation der Konsensentnahme	100
7.7.	Bereitstellung von Modelldateien.....	103
8.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	104
8.1.	Hydrogeologisches Modell.....	104
8.2.	Niederschlag-Abflussmodell.....	106

8.3.	Numerisches Grundwasserströmungsmodell	106
8.4.	Weiterführende Erkundung und Hoffnungsgebiete	107
8.5.	Ausblick	108
9.	Zusammenfassung	110

BEILAGENVERZEICHNIS

- Beilage 1:** Schematische Darstellung der Projektbearbeitung – Workflow (Größe A3).
- Beilage 2:** Entnahmemengen - Dokumentation der vorliegenden Daten (Entnahmen >2 l/s, A3).
- Beilage 3:** Grundwasserisolinienplan für hGW bei Ist-Entnahme (1 : 25.000, A1).
- Beilage 4:** Grundwasserisolinienplan für nGW bei Ist-Entnahme (1 : 25.000, A1).
- Beilage 5:** Grundwasserisolinienplan für mGW (1 : 25.000, A1).
- Beilage 6:** Grundwasserisolinienplan für nGW bei Konsensentnahme (1 : 25.000, A1).
- Beilage 7:** Isolinienplan des Stauerreliefs (1 : 50.000, A3).
- Beilage 8:** Flurabstand bei hGW und Ist-Entnahme (1 : 50.000, A3).
- Beilage 9:** Durchlässigkeitsverteilung (1 : 50.000, A3).
- Beilage 10:** Hydrogeologische Arbeitskarte (1 : 20.000, A0)

DATENTRÄGER - INHALTSVERZEICHNIS

1. Endbericht (pdf)
2. Endbericht (docx)
3. Beilagen 1 – 10 (pdf)
4. Modelldateien (fem)
5. Ergänzende Dateien (shp)
6. Ergebnisdateien (shp/tif)

1. EINLEITUNG UND BEAUFTRAGUNG

Das Land Steiermark, vertreten durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14 - Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit, Referat Wasserwirtschaftliche Planung, beauftragte die *Fa. Geoteam Ges.m.b.H.* basierend auf einer Ausschreibung und ihrem Angebot HA 27_12/13 vom 28.11.2012 mit Schreiben ABT14-70Au2-2004/268 vom 04.02.2013 mit der Erstellung eines instationären Grundwassermodells für den Grundwasserkörper GK 100096 Aichfeld-Murboden (Judenburg-Knittelfeld).

Bisher lagen für den Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden nur lokale und nicht zusammenhängende geologische bzw. hydrogeologische Modellvorstellungen vor. Zumindest öffentlich einsehbare (z.B. Wasserbuch) numerische Grundwassermodelle beschränken sich ausschließlich auf den Raum Judenburg.

Somit lag der erste Schwerpunkt bei der Erstellung des mathematischen Grundwassermodells in der Erfassung sämtlicher relevanter hydrogeologischer Daten, deren Kompilation und Interpretation in der erstmaligen Etablierung eines Aquifermodells für den gesamten Grundwasserkörper mündete.

In weiterer Folge wurden auch alle weiteren für die Niederschlag-Abflussmodellierung sowie für die instationäre Kalibrierung des Grundwassermodells benötigten meteorologischen, hydrologischen sowie wasserwirtschaftlichen Datenreihen erhoben und aufbereitet. Sämtliche Eingangsdaten der Modelle wurden in digitaler Form im ersten Projektzwischenbericht (27) dokumentiert und dem Auftraggeber übergeben.

Im gegenständlichen Endbericht zum Grundwassermodell Aichfeld-Murboden sind somit das hydrogeologische Modell, das Niederschlag-Abflussmodell und das instationäre Grundwassermodell für den Zeitraum 01.01.2000 – 31.12.2010 beschrieben und dokumentiert. Neben den für Nieder-, Mittel- und Hochwasserzustände kalibrierten Grundwasserschichtenplänen wurden auch die wasserrechtlich bewilligten Konsensentnahmen bei niederen Grundwasser-Verhältnissen simuliert und die Ergebnisse in Isolinienplänen dargestellt.

2. UNTERLAGEN

2.1. Publikationen

- (1) BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2009): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009.- 225 S., Wien.
- (2) DHI-Wasy (2013): DHI-Wasy Software. FEFLOW® 6.2 Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System. User Manual.- DHI-Wasy GmbH, 202 Seiten, Berlin.
- (3) DIRSCH, H.-J. (2014): FEFLOW. Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media.- Springer, 996 S., Berlin.
- (4) DVGW (2004): Arbeitsblatt W 107 (Juni 20014). Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten.- DVGW-Regelwerk, 24 S., Bonn.
- (5) FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE IN DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT (HRSG., 2002): Hydrogeologische Modelle. Ein Leitfaden mit Fallbeispielen.- Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 24, 120 S.
- (6) FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F. (1984): Steiermark - Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 200.000.- Geologische Bundesanstalt, 127 S., Wien.
- (7) GASSER, D., GUSTERHUBER, J., KRISCHE, O., PUHR, B., SCHEUCHER, L., WAGNER, T. & STÜWE, K. (2009): Geology of Styria: An overview.- Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 139, 5-36 S., 30.10.2009.
- (8) MAROTZ, G. (1968): Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund. Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Grundbau und Wasserbau, H. 9, 228 Seiten, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- (9) SACHSENHOFER, R.F., STRAUSS, PH., WAGREICH, M., ABART, R., DECKER, K., GOLDBRUNNER, J.E., GRUBER, W., KRIEGL, CH. & SPÖTL, CH. (2000): Das miozäne Fohnsdorfer Becken - Eine Übersicht.- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 44, 173-190 S.
- (10) SCHÄLCHLI, U. (2003): Kolmation - Methoden zur Erkennung und Bewertung.- EAWAG Eid. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, 22 S., Zürich.
- (11) SCHÄLCHLI, U. (1993): Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen.- Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Bd. 124, 273 S.
- (12) SCHMÖLLER, R. (1978): Der Grundwasserleiter im Murboden des Fohnsdorfer Beckens als refraktionsseismisch überschossene Schicht.- Mitt.Abft.Geol.Paläont.Bergb.Landesmus. Joanneum, 39, 97 - 108 S.
- (13) WATERLOO HYDROGEOLOGIC INC. (1999): WinPEST User's Manual. Non-Linear Parameter ESTimation and Predictive Analysis Program.- 158 S., Waterloo, Ontario, Canada.
- (14) WORSCH, E. (1972): Geologie und Hydrologie des Murbodens.- Mitteilungen der Abteilung für Geologie, Paläontologie und Bergbau am Landesmuseum "Joanneum" Graz, 32, 7-114 S., Graz
- (15) WORSCH, E. (1963): Geologie und Hydrologie des Aichfeldes.- Mitteilungen des Museums für Bergbau, Geologie und Technik am Landesmuseum Joanneum, 25, 46 S., Graz.

- (16) ZETINIGG, H. (1980): Bohrungen und Pumpversuche im Murtal zwischen Knittelfeld und Zeitweg.- Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Band 52, 27-54 S., Graz.

2.2. Unveröffentlichte Unterlagen

- (17) AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2014): GIS-Steiermark. Digitaler Atlas Steiermark.- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesamtsdirektion, Referat Kommunikation Land Steiermark, <http://gis2.stmk.gv.at/atlas>.
- (18) AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2013): Diverse Lage- und Ausbaupläne von Hydrografiepegeln.- Abteilung 14 - Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit. Referat Hydrografie, Graz.
- (19) AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2013): Div. Bescheide, Lage- und Ausbaupläne von wasserrechtlich bewilligten Grundwasseranlagen.- Abteilung 14 - Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit. Referat Fachinformation, Wasserbuch, Wassergut, Graz.
- (20) DALLA-VIA, A., HARUM, T., RESZLER, C., ORTNER, G. & ROCK, G. (2010): Überprüfung der Schutzgebiete der Brunnen Murdorf und Wöllmerdorf und Erarbeitung von Vorschlägen für eine Neuabgrenzung. Endbericht.- Joanneum Research - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, 92 S., 10.12.2010, Graz.
- (21) EISNER, M., VASVARI, V. & GOLDBRUNNER, J. (2008): Stahl Judenburg. Hydrogeologisch-mathematisches Modell.- Geoteam Ges.m.b.H. (AG: Stahl Judenburg GmbH), 18 S., 2 Beilagen, 23.10.2008, Gleisdorf.
- (22) EISNER, M., GOLDBRUNNER, J. & SCHEIFINGER, M. (1998): Sicherungsprojekt Schlackenhalde Judenburg - Geologisch-hydrogeologischer Abschlussbericht.- Geoteam Ges.m.b.H., 41 S., 17 Beilagen, 30.09.1998, Gleisdorf.
- (23) FANK, J. & HARUM, T. (1989): KW Fischen. Zusammenfassung Hydrogeologie.- Joanneum Research - Institut für Geothermie und Hydrogeologie, 27 S., Dezember 1989, Graz.
- (24) GIULIANI, G. & WOLF, C. (2012): Revitalisierung KW Judenburg. Aussagen zur Grundwassersituation, Konfliktpotentialanalyse in Bezug zur Altlast ST3 und der Wasserrechte PZ 8/1464 (Styria Federn GmbH) und PZ 8/670 (Stahl Judenburg GmbH).- Geologie & Grundwasser GmbH, 24 S., 2 Anlagen, 21.05.2012, Graz.
- (25) GOLDBRUNNER, J. & HARUM, T. (1983): Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse des Murbodens im Bereich Judenburg-Farrachwald im Zusammenhang mit dem geplanten Bau des Kraftwerkes Farrach.- Forschungszentrum Graz - Institut für Geothermie und Hydrogeologie, 23 S., September 1983, Graz.
- (26) KRIEGL, C. & GOLDBRUNNER, J. (1996): Gabelhofen Thermal 1. Geologisch-technischer Bericht - Bohr- und Testphase.- Geoteam GesmbH., 8 Beilagen, 14 S., 31.01.1996, Gleisdorf.
- (27) KRIEGL, C., GOLD, M., VASVARI, V., HEISS, H.P., MOLNAR, T. & GOLDBRUNNER, J. (2014): Aichfeld-Murboden. Instationäres Grundwasserströmungsmodell. Dokumentation und Darstellung der erhobenen Daten. 1. Zwischenbericht.- Geoteam Ges.m.b.H., 19 S., Daten-DVD, 25.02.2014, Graz.

- (28) KRIEGL, C., HEISS, H.P. & GOLDBRUNNER, J. (2011): Wasserversorgungsanlage Fohnsdorf. Brunnen IV, VII und X. Schutzgebietsanpassung. Hydrogeologisches Projekt 2011.- Geoteam GmbH, 42 S., 17.03.2011, Graz.
- (29) KRIEGL, C., HEISS, H.P. & GOLDBRUNNER, J. (2002): KW Ritzersdorf - Hydrogeologisches Gutachten (Überarbeitung und Anpassung des Gutachtens vom 31.05.1996).- Geoteam Ges.m.b.H., 19 S., 05.11.2002, Gleisdorf.
- (30) MÖRTH, W. (198?): Geologischer Bericht Farrach. Teil 1: Geologie auf Grund der Bohrergebnisse.- FG Joanneum, 9 S., Beilagen, Graz.
- (31) MÖRTH, W. (1987): Geologischer Bericht KW-Fisching/Farrach. Teil 2: Bohrarbeiten 1987.- FG Joanneum, 10 S., 16 Beilagen, Nov. 1987, Graz.
- (32) MÖRTH, W. (1988?): KW-Fisching/Farrach. Geologischer Bericht, Teil 3: Endbericht.- FG Joanneum, 14 S., Beilagen, Graz.
- (33) POLESNY, H. (1971): Beitrag zur Geologie des Fohnsdorf-Knittelfelder und Seckauer Beckens.- Dissertation, Universität Wien, 233 S., Wien.
- (34) SCHMALZMEIER, R. (1996): Wasserversorgung in der Region Aichfeld-Murboden/ Steiermark.- Dissertation, Universität für Bodenkultur, 305 S., Mai 1996, Wien.
- (35) SCHULLA, J. (2015): Model Description WaSiM (Water balance Simulation Model). Completely revised version of 2012 with 2013 to 2015 extensions. Last change: June 11, 2015.- Hydrology Software Consulting J. Schulla, 305 S., Zürich.
- (36) UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM (2013): Bohrprotokolle Aichfeld.- Sammlungs- und Studienzentrum Natur, Abteilung Geologie & Paläontologie, von Geoteam gekauft und übermittelt per E-Mail als pdf-Dateien, Graz, 18.03.2013.

3. PROJEKTVORGABEN UND PROJEKTTABLAUF

In der Ausschreibung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung – Abteilung 14 vom 12.11.2012 wurden die Anforderungen und Rahmenbedingungen für die Erstellung eines instationären Grundwassermodells für den Grundwasserkörper GK 100096 Aichfeld-Murboden festgelegt, die wie folgt zusammengefasst werden können.

- Die Modellierung muss mit dem Softwarepaket FEFLOW durchgeführt werden.
- Für die instationäre Kalibrierung ist ein Zeitraum von mindestens 10 Jahren heranzuziehen.
- Erstellung eines hydrogeologischen Konzeptmodells.
- Erstellung eines Niederschlag-Abfluss-Modells.
- Abschätzung diffuser Einträge an den Modellrändern.
- Abschätzung der Grundwasser-Infiltration bzw. -Exfiltration an den Vorflutern.
- Berücksichtigung der tatsächlichen Grundwasserentnahmen, wenn möglich auf Tagesbasis.
- Im Zuge der instationären Kalibrierung sollte eine möglichst gute Anpassung der berechneten an die gemessenen Grundwasserganglinien erreicht werden.
- Zur Überprüfung der Schutzgebiete der Brunnen Murdorf und Wöllmerdorf wurde im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung ein instationäres Strömungsmodell entwickelt, dessen Datensätze bei Bedarf gegen einen Kostenaufwand von ca. EUR 2.500.- zur Verfügung gestellt werden können.
- Die Qualität des Grundwassermodells hat auf dem gleichen fachlichen Niveau zu erfolgen, wie das bereits bestehende Modell für die Schutzgebiete der Brunnen Murdorf und Wöllmerdorf.

Weiters wurden in der Ausschreibung vom 12.11.2012 die Anforderung an die Ergebnisse bzw. deren Darstellungen wie folgt definiert:

- Technischer Bericht zur Erstellung des Grundwasserströmungsmodells inkl. Eingangsdaten und Kalibration (analog und digital als WORD-File).
- Planliche Darstellung im Maßstab 1:25.000 (analog und digital als PDF und SHAPE-File) von
 - hGW (modelliert bei IST-Entnahme)
 - mGW (modelliert bei IST-Entnahme)
 - nGW (modelliert bei IST-Entnahme)
 - nGW (modelliert bei Konsens-Entnahme)
 - Relief des Stauers
 - Flurabstand bei hGW (modelliert bei IST-Entnahme)
 - kf-Wert-Verteilung
- Digitaler Datensatz des Grundwasserströmungsmodells (auf Datenträger).

Auf Basis der in der Ausschreibung gestellten Projektanforderungen wurde ein Arbeitsprogramm und dessen Ablauf ("Work Flow") entworfen. Eine graphische Darstellung des Projektablaufes erfolgt in Beilage 1, wobei Abbildung 3.1 dieses Schema in verkleinerter Form wiedergibt.

Grundsätzlich ist zwischen den drei Hauptarbeitspaketen

- Hydrogeologisches Modell
- Niederschlag-Abflussmodell
- Mathematisches Grundwassermodell

zu unterscheiden. Die Gliederung des gegenständlichen Berichts folgt im Wesentlichen dem Arbeitsablauf-Schema.

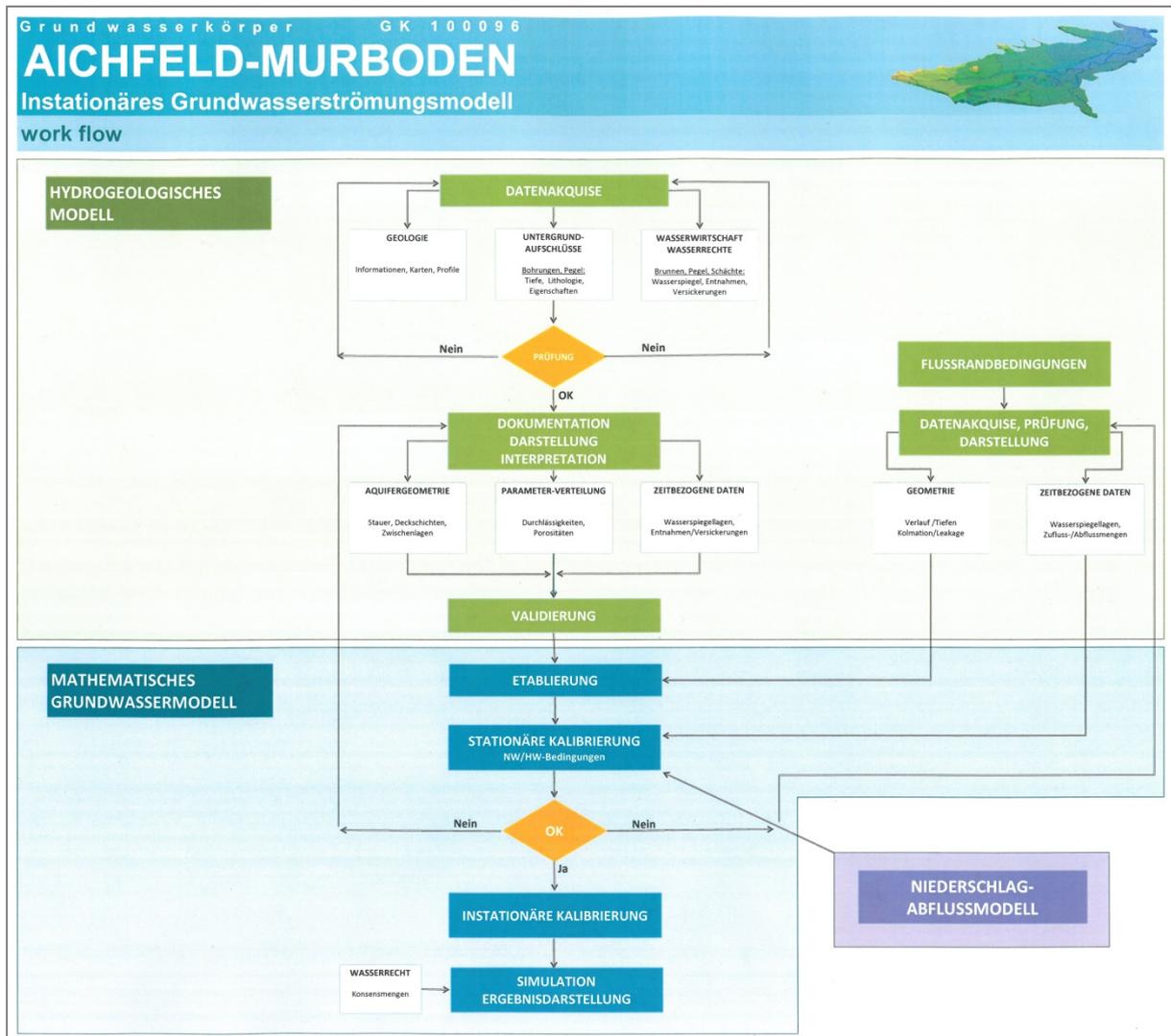


Abbildung 3.1: Grundwasserströmungsmodell Aichfeld-Murboden – Work Flow-Schema (siehe auch Beilage 1).

Im Zuge der Etablierung des hydrogeologischen Modells erfolgte die Akquisition und Prüfung aller benötigten Daten sowie deren Dokumentation und Interpretation. Bei einem negativen Prüfergebnis wurde die entsprechende Schleife ein weiteres Mal durchlaufen (siehe Beilage 1).

Ein hydrogeologisches Modell bzw. dessen Geometrie und Parameterverteilung wird in der Regel (siehe z.B. (5)) durch stationäre Kalibrierungen unterschiedlicher hydrologischer Zustände mit einem numerischen Grundwassermodell validiert. Dabei werden die im Niederschlag-Abflussmodell ermittelten Grundwasserneubildungsraten sowie die Flussrandbedingungen bereits berücksichtigt. In Modellzonen, wo die Abweichung zwischen den berechneten und

den gemessenen Werten als inakzeptabel bewertet werden, müssen die Aquiferparameter und die Modellgeometrie (Stauer) in einer weiteren Prozessschleife angepasst werden. Danach können eine instationäre Kalibrierung und Simulationsrechnungen durchgeführt werden.

Die Bearbeitung des Grundwassermodells erfolgte durch die Fa. Geoteam im Zeitraum Jänner 2013 – November 2015 mit dem folgenden Bearbeitungsteam:

Projektleitung, Hydrogeologie und Geologie:	Mag. Christian Kriegl
Numerische Grundwassermodellierung:	DI Dr. Vilmos Vasvári
Niederschlag-Abfluss-Modellierung:	Univ.-Doz. DI Dr. techn. habil. Tibor Molnar
Expertise und fachliche Prüfung:	Univ.-Prof. Dr. Johann Goldbrunner
GIS, Datenbank und Graphik:	Mag. Hans Peter Heiss
Geostatistik und Wasserwirtschaft:	Mag. ^o Marlies Gold

4. HYDROGEOLOGISCHES MODELL

4.1. Grundwasserkörper

Das "Aichfeld" bezeichnet im Fohnsdorf-(Knittelfelder) Becken die nördlich der Mur gelegene Talebene, das "Murfeld" die südliche. Beim Grundwasserkörper 100096 Aichfeld-Murboden (Judenburg-Knittelfeld) handelt es sich nach dem Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP 2009, (1)) um einen Porengrundwasserleiter mit einer Gesamtfläche von 162,97 km², der auch einen Großteil des Pölstales umfasst (siehe Abbildung 4.1).

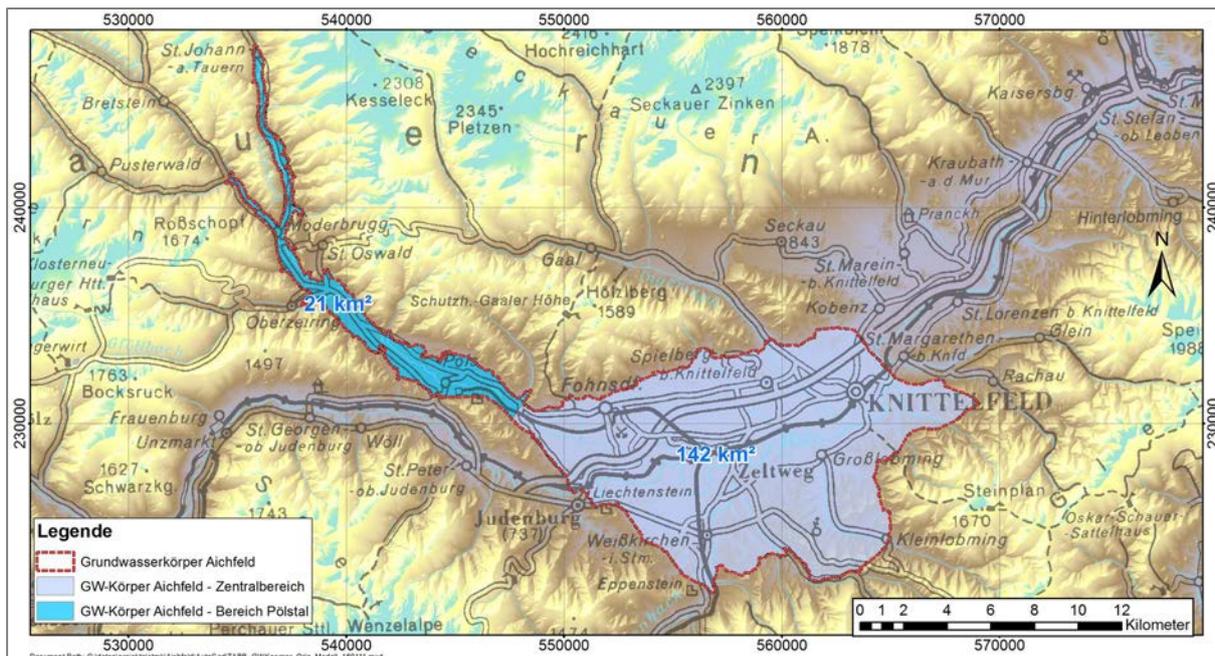


Abbildung 4.1: Abgrenzung des Grundwasserkörpers GK 100096 Aichfeld-Murboden.

Das Bearbeitungsgebiet des Grundwasserkörpers wurde im Pölstal jedoch nach Vorgabe der Ausschreibung ungefähr auf Höhe der Ortschaft Allerheiligen begrenzt (siehe Abbildung 4.1). Dadurch entfällt eine Fläche von rund 21 km², wobei zur Bearbeitung ca. 142 km² verbleiben.

4.2. Untersuchungsgebiet

Der zu bearbeitende Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden erstreckt sich im Murtal von Judenburg bis zur Einmündung des Gleinbaches in die Mur im Osten. Im Norden erfolgt die Begrenzung durch die Seckauer Tauern; im Westen durch den Falkenberg-Zug und im Süden bzw. Osten durch die Seetaler Alpen sowie die Ausläufer der Stubalpe.

Der Grundwasserleiter besteht einerseits aus pleistozänen, würmeiszeitlichen Terrassensedimenten (Niederterrasse), wobei im Süden auch Präwürm-Ablagerungen auftreten, deren Verbreitung im Liegenden meist jedoch nicht bekannt ist. Die pleistozänen Sedimente werden generell von Kiesen dominiert, wobei abschnittsweise und lokal der feinklastische Anteil relativ hoch sein kann. Andererseits treten auch entlang der Flussläufe in der Regel gut durchlässige Sedimente des Holozän (Auzone) auf. Diese sind aber im Projektgebiet in ihrer flä-

chenhaften Ausdehnung deutlich geringer verbreitet als die pleistozänen Terrassenablagerungen (siehe Abbildung 4.6).

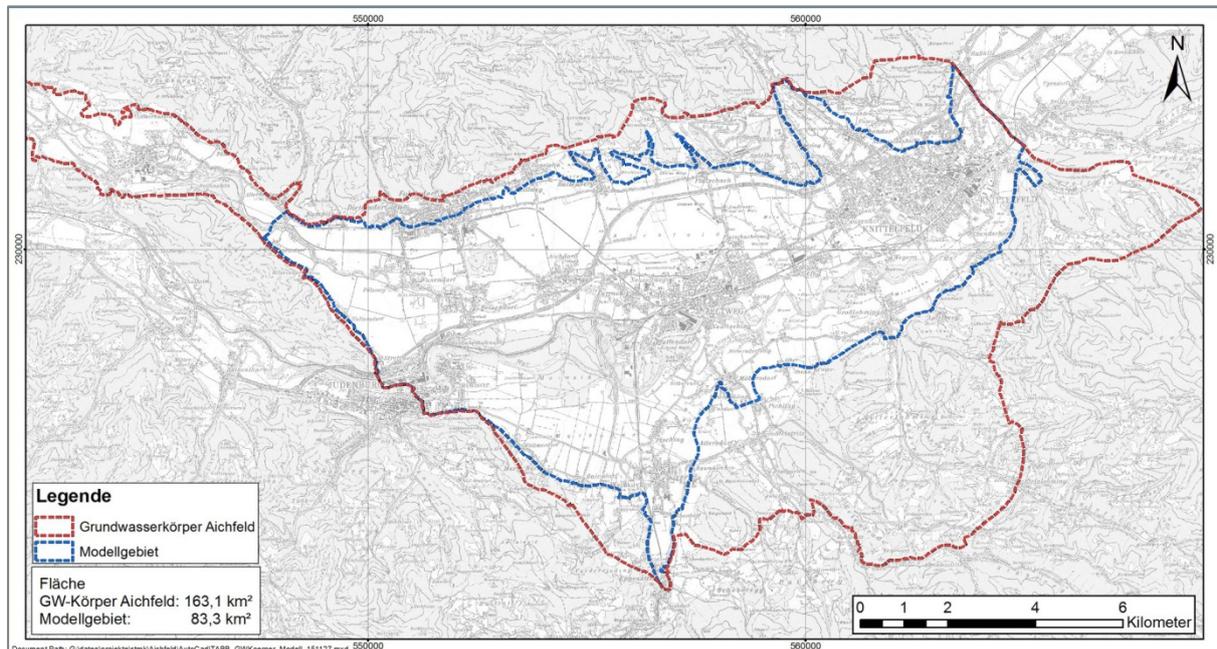


Abbildung 4.2: Abgrenzung des Grundwasserkörpers Aichfeld-Murboden und des Grundwassermodells.

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes für das hydrogeologische Modell und in weiterer Folge auch des mathematischen Modells erfolgt entsprechend der Verbreitung der pleistozänen Niederterrasse und des Holozän (siehe Abbildung 4.2).

Die oben erwähnten Ablagerungen der präwürmzeitlichen Hochterrasse (Helfbrunner Niveau) im südlichen Becken wurden nicht berücksichtigt, da diese Sedimente im Kontrast zu den jüngeren beiden Einheiten wesentlich geringere Durchlässigkeiten und Mächtigkeiten aufweisen. Ebenso stehen im Südosten des ausgewiesenen Grundwasserkörpers bereits die neogenen Ablagerungen des Fohnsdorfer Beckens an der Geländeoberfläche an. Da diese neogenen Schichten gegenüber den Sedimenten der Niederterrasse bzw. der Auzone geringe Durchlässigkeiten aufweisen, bilden dort auch die Begrenzung des Grundwasserkörpers (siehe Abbildung 4.6). Die Modellgebietsgröße beträgt 83,3 km².

4.3. Geologischer Überblick

4.3.1. Einleitung

Der Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden befindet sich aus geologischer Sicht im Fohnsdorfer Becken. Das miozäne Fohnsdorfer Becken wurde am Schnittpunkt des Mur-Mürztales und des Pöls-Lavanttaler Störungssystems angelegt. Abbildung 4.3 zeigt, dass das Becken abschnittsweise von Störungszonen begrenzt wird. Weiters ist dieser Abbildung die obertägige Verbreitung der drei neogenen Großeinheiten, der Fohnsdorf- und Ingering-Formation (= Liegend- und Hangendserie nach Polesny) im Norden und der Apfelberg-Formation (Blockschotter nach Polesny) im Süden zu entnehmen. Das Basement wird durch die metamorphen Komplexe Seckau, Rappold, Wölz und Ammering/Speik repräsentiert (9).

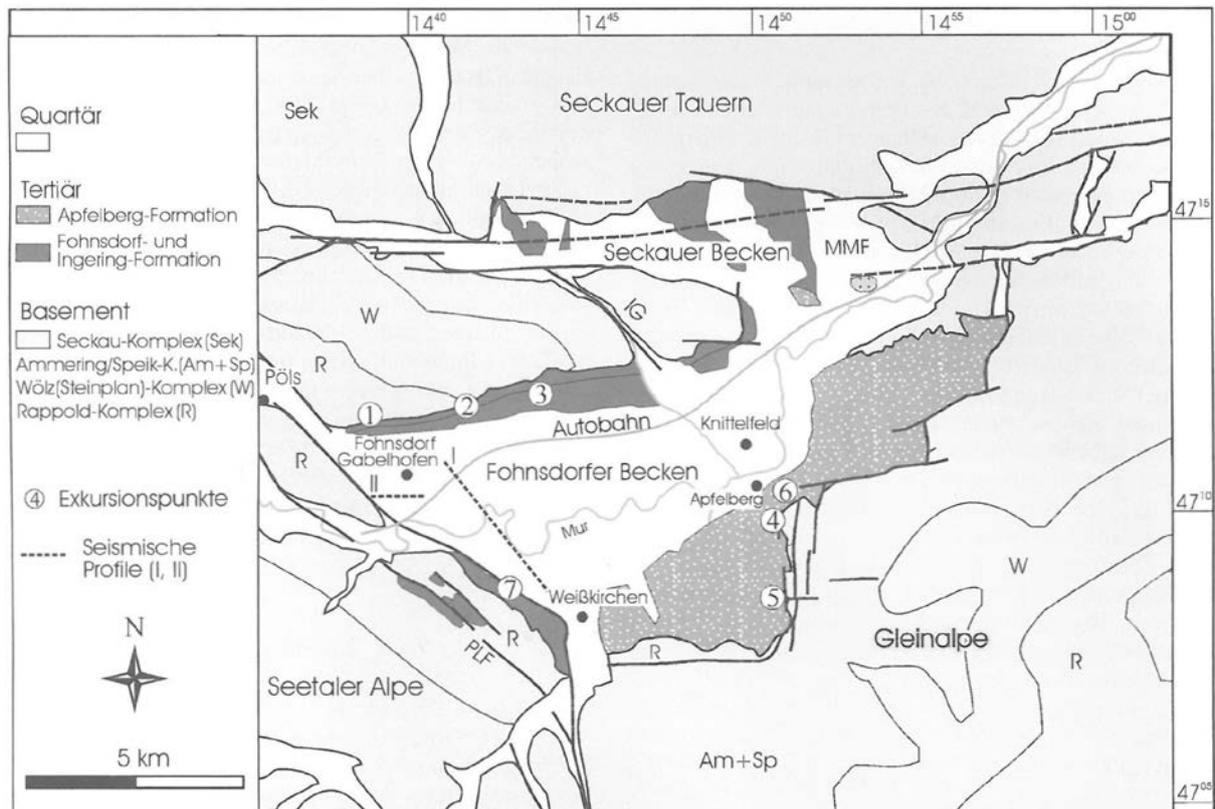


Abbildung 4.3: Übersicht über das Fohnsdorfer Becken mit seinen Störungen und geologischen Groß-einheiten (nach (9)).

4.3.2. Tektonische Entwicklung

Die Beckenentwicklung wird nach strukturgeologischen Untersuchungen sowie Daten von Tiefbohrungen in drei Hauptphasen gegliedert (siehe Abbildung 4.4 ex (9)). Im Karpatium/Unterbadium (?) setzt die Beckengenese mit einer Pull-apart Phase ein. In dieser Phase wurde eine bis zu 2400 m mächtige Sedimentfolge abgelagert, deren Liegendes – die Fohnsdorf Formation - von rund 900 m mächtigen fluvio-deltaischen Ablagerungen mit einem bis zu 12 m mächtigen Kohleflöz aufgebaut wird. Darüber folgen bis zu 1500 m mächtige lakustrine Ablagerungen, die zur Ingering-Formation zusammengefasst werden (9).

Nach der Sedimentation der Ingering-Formation änderte sich das Spannungsfeld entscheidend, was im Unter- und/oder Mittelbadium zur Ausbildung eines Halbgrabens führte. In dieser Phase gelangte am Beckensüdrand die Apfelberg Formation zur Ablagerung, wobei im Norden möglicherweise bereits hebungsbedingt Erosion einsetzte (9).

Infolge dextraler Bewegungen an der Pöls-Lavanttal-Störungsszone kam es am Südwestrand des Fohnsdorfer Beckens zur Ausbildung einer positiven Flower-Structure. Demnach bildet der Falkenberg-Liechtensteinbergzug den am höchsten gehobenen Teil dieser Transpressionsstruktur. Das Pöls-Lavanttal-Störungssystem wird rezent als aktiv betrachtet, was sich im Spannungsfeld und den resultierenden Erdbeben manifestiert (9).

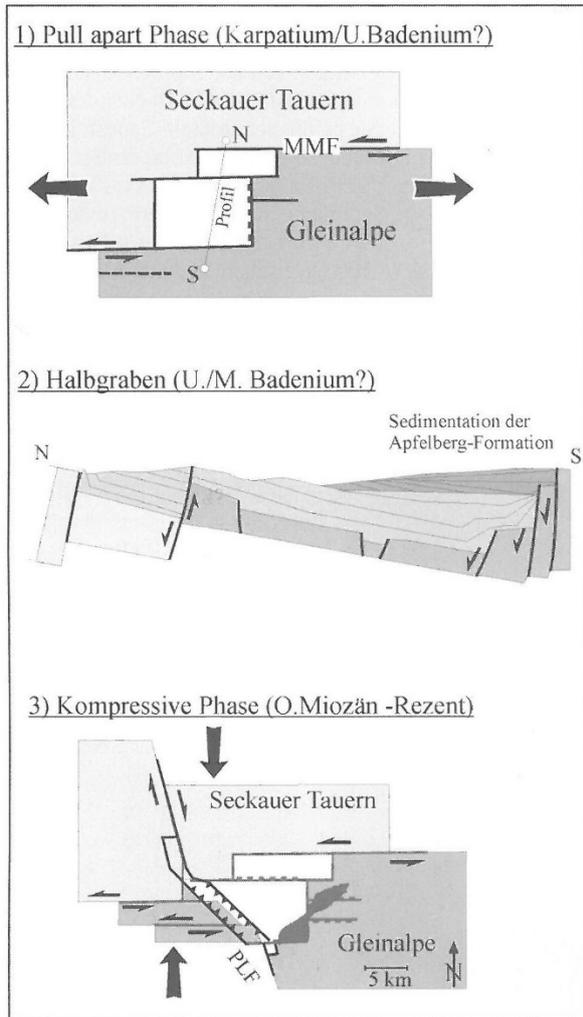


Abbildung 4.4: Hauptphasen der Entwicklung des Fohnsdorfer Becken (nach (9)).

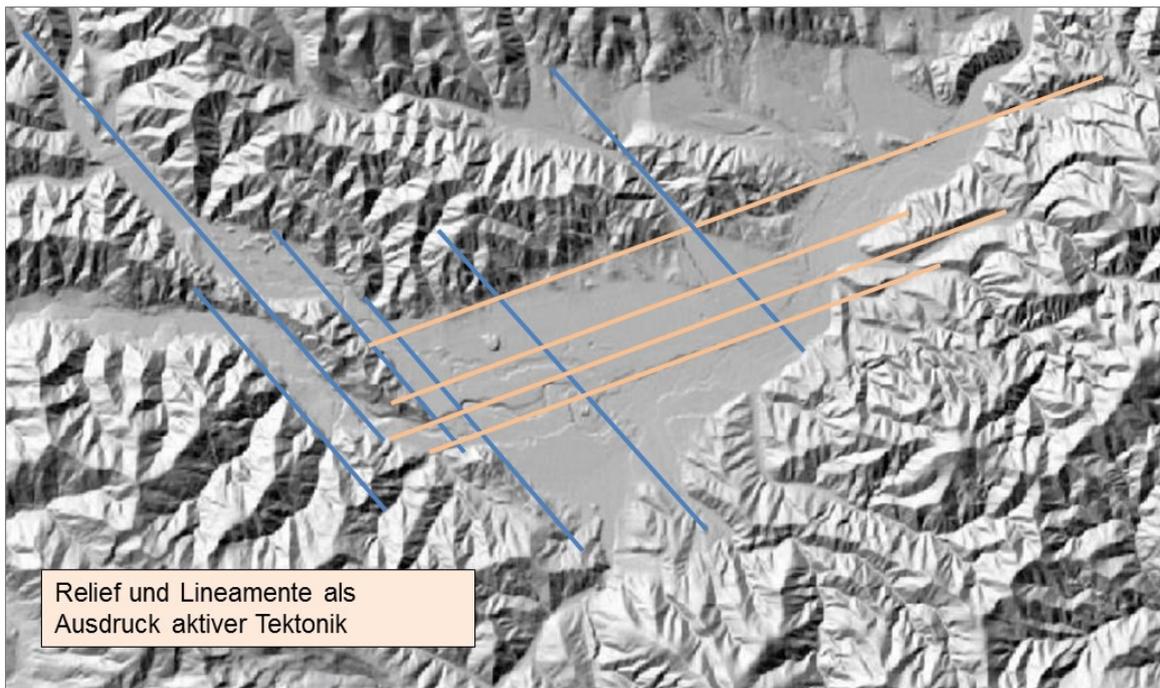


Abbildung 4.5: Digitales Höhenmodell des Fohnsdorfer Becken (Datengrundlage: GIS Steiermark).

Somit steht auch das heutige Landschaftsbild des Fohnsdorfer Becken in engem Zusammenhang mit dieser subrezent und rezenten Tektonik. Dies zeigt auch sehr eindrucksvoll das digitale Höhenmodell (siehe Abbildung 4.5), in dem die Lineamente den auskartierten Störungszonen folgen.

So sind W-E aber auch NW-SE und NE-SW streichende Lineamente und Störungen insofern auch von hydrogeologischer Bedeutung, da die kompressive Phase auch rezent bzw. subrezent von Bedeutung ist/war und mit der Ausbildung von Hoch- und Tiefzonen auch einen Einfluss auf das jetzige Stauerrelief ausübte. So stehen die Neogenhochlagen im Bereich Fischening, Murdorf und Fohnsdorf/Ritzersdorf (siehe Kap. 4.5.2) sowie stellenweise der Verlauf der Entwässerungssysteme in engem Zusammenhang mit der aktiven Kompressionstektonik.

4.3.3. Präquartäre Gesteine

Die geologische Karte in Abbildung 4.6 (siehe auch Beilage 10, hydrogeologische Arbeitskarte) zeigt anhand der Verbreitung der Neogensedimente, dass der präquartäre Untergrund des gegenständlichen Grundwasserkörpers zum überwiegenden Teil von diesen aufgebaut wird. Metamorphe Gesteine sind als Quartärbasis demnach nur im äußersten Süden und Westen des Untersuchungsgebietes – südlich und nördlich von Judenburg – lokal zu erwarten.

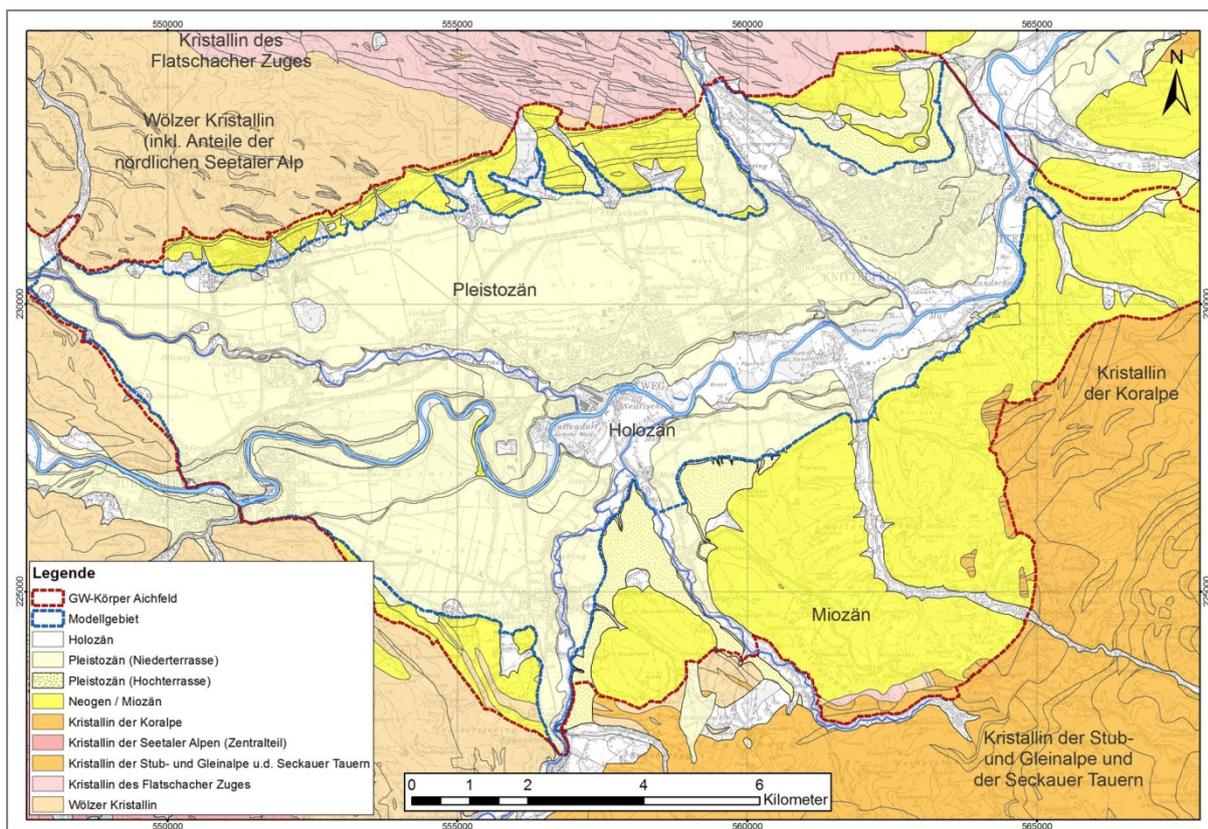


Abbildung 4.6: Geologische Karte des Grundwasserkörpers Aichfeld-Murboden (nach GIS Steiermark).

Im Süden, beim Eintritt des Granitzenbaches in den Murboden, stehen die Gesteine des Silvretta-Seckau-Deckensystems (7), hier vor allem in Form von Paragneisen und Amphiboliten, an (6). Im Bereich Judenburg treten die metamorphen Decken des Koralpe-Wölz Systems (7) auf. Verbreitet sind hier hauptsächlich diverse Glimmerschiefer-Varietäten und Marmore (6).

Abgesehen von den verkarstungsfähigen Marmor-Zügen sind die Gesteine des Basements im Kontrast zum quartären Grundwasserleiter als hydraulisch gering leitend einzustufen.

Entsprechend der tektonischen Entwicklung des Neogenbeckens wird der präquartäre Untergrund im Norden von Sedimenten der Fohnsdorf- und Ingering Formationen und im Süden von den Ablagerungen der Apfelberg-Formation aufgebaut. Nach (9), basierend auf Tiefbohrdaten) dürften jedoch die Neogenoberfläche im zentralen Fohnsdorfer Becken von Sedimenten der Ingering-Formation gebildet werden. Die Ingering-Formation setzt an ihrer Basis mit einem Kohleflöz ein, das von stark verfestigten Silten, Tonen und Feinsanden überlagert wird. Im Hangenden wird die Ingering-Formation von Konglomeraten und Grobsanden abgeschlossen.

Im Norden und Nordwesten des Untersuchungsgebietes sind (9) folgend unter den quartären Ablagerungen auch noch die Sedimente der liegenden Fohnsdorf-Formation zu erwarten. Diese wird lithologisch von Brekzien, Grobsanden und Konglomeraten aufgebaut.

Von Weißkirchen im Süden bis östlich von Knittelfeld stehen die Gesteine der Apfelberg-Formation an. Diese können sich unter quartärer Bedeckung auch in Richtung Beckenzentrum im Norden fortsetzen. Bei der Apfelberg-Formation handelt es sich um Silte bis Grobsande mit Einschaltungen von Blockwerk (9).

Grobsedimente des Neogen können aufgrund ihrer Porositäten grundsätzlich eine Grundwasserführung aufweisen. Im hydraulischen Kontrast zum quartären Grundwasserleiter und in Hinblick auf die Fragestellung sind die neogenen Sedimente jedoch generell als Grundwasserstauer zu betrachten.

4.3.4. Quartäre Ablagerungen

Die quartären Ablagerungen werden im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 (1) beschrieben. Relikte höherer Terrassen des Prävüwm treten südlich von Zeltweg und nördlich von Knittelfeld auf (Abbildung 4.6). Sie werden auf lokale Schüttungen der Bäche aus dem Feistritz-, Granitzen- und Ingeringtal zurückgeführt. Bei diesen Ablagerungen handelt es sich um geringmächtige (2 - 3 m), das Neogen überlagernde "Schotterkörper", die von einer bis zu vier Meter mächtigen "Lehmschicht" abgedeckt werden (1). Diese Ablagerungen des Prävüwm werden im Vergleich zum Grundwasserleiter als minder durchlässig eingestuft und sind daher auch nicht Bestandteil des Grundwassermodells (siehe Kap. 4.2 und Kap. 4.5).

Im Neogen bzw. in der Hochterrasse verlaufende Bäche können einen lokalen Grundwasserbegleitstrom in geringmächtigen holozänen Ablagerungen aufweisen. Diese Grundwasserkörper liegen in der Regel über dem Grundwasserspiegel des Hauptgrundwasserleiters und können daher als hydraulisch entkoppelt angesehen werden. Interaktionen zwischen den Bächen und ihren Grundwasserleitern sind wahrscheinlich, können aber aufgrund fehlender Daten nicht näher untersucht werden.

Als quartärer Grundwasserleiter fungieren die in der Regel gut durchlässigen Ablagerungen der Niederterrasse (Wüwm) und der holozänen Talauen.

Die wüwmzeitlichen Terrassen lassen sich in die "Hauptterrasse" und ein bis zwei Teilflure mit unterschiedlichen Höhen gliedern. Bei der tieferen Teilflur könnte es sich um ein Erosionsniveau

handeln. Die Terrassen schließen im Westen an die würmzeitlichen Endmoränen an (1), wobei diese Endmoränen bei Grünhübl westlich von Judenburg und Pöls (6) bereits außerhalb des zu untersuchenden Grundwasserkörpers liegen.

Die Terrassenablagerungen erreichen Mächtigkeiten zwischen 15 und 60 m und werden von Kiesen und Steinen ("Schotter") aufgebaut, in denen mehrere Dezimeter mächtige Sandlinsen eingeschaltet sein können. Weiters können die "Schotterkörper" stellenweise nagelfluhartig verkittet sein (lokal "wandbildend") und von bis zu 2 m mächtigen "Lehmschichten" (Löss?) überlagert werden (1). Eine vertikale Differenzierung geringer durchlässiger Aquiferabschnitte findet sich anhand von Bohrdaten in Kap. 4.5.3.

Die großen Schwemmfächer der Seitenzubringer (Granitzen-, Feistritz- und Ingeringbach) werden in der geologischen Karte den Niederterrassen zugeschlagen Abbildung 4.6 (siehe auch Beilage 10). Diese Schüttungen dürften aber bis ins Holozän angehalten haben. Dies bestätigt auch die Abgrenzung der Schwemmfächer anhand des digitalen Höhenmodells (siehe Abbildung 4.31).

Die holozäne Talauie nimmt in der Breite in Richtung Osten zu und kann eine Breite von bis zu einem Kilometer erreichen. Die holozänen Sedimente werden in (1) nicht näher beschrieben, bestehen nach der Auswertung von Bohrdaten (siehe Kap. 4.4) aus gut durchlässigen sandigsteinigen Mischkiesen. Eine Abgrenzung gegenüber den Terrassenablagerungen im Liegenden ist in der Regel anhand der Bohrbefunde nicht möglich.

4.4. Bohrdaten

4.4.1. Einleitung

Für die Erfassung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund des Arbeitsgebietes, insbesondere für die Modellierung der Geometrie des quartären Grundwasserleiters, wurden die verfügbaren Untergundaufschlüsse erhoben. Die Herkunftsangaben bzw. die Quellen der Bohrdaten sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Datengrundlage - Bohrinformationen.

QUELLE		BOHRDATEN-ART
Amt der Steiermärkischen Landesregierung Abteilung 14	Referat Wasserwirtschaftliche Planung	<ul style="list-style-type: none"> vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Bohrdaten
	Referat Hydrografie	<ul style="list-style-type: none"> Hydrografiepegel
	Referat Fachinformation, Wasserbuch, Wassergut	<ul style="list-style-type: none"> Brunnenanlagen
Universalmuseum Joanneum	Geologie und Paläontologie	<ul style="list-style-type: none"> Bohrungen aus GIS-Stmk. Karte "Geologie & Geotechnik"
Publikationen, Berichte, wasserrechtliche Projekte etc.		<ul style="list-style-type: none"> Sonstige Bohrinformationen

Insgesamt wurden 385 Bohrungen erhoben. Die Bohrungen wurden mit ihren Basisdaten, wie Synonyma, Koordinaten und Seehöhe, in einer Tabelle zusammengefasst. Diese Tabelle, sowie die gescannten Bohrprofile wurden dem ersten Zwischenbericht digital auf Datenträger angeschlossen (siehe (27)).

Die Bohrdaten wurden entsprechend ihrer Herkunft bzw. Art in fünf Kategorien unterteilt und in dieser Weise verwaltet bzw. weiter bearbeitet:

- Hydrografie-Messstellen
- Wasserrechtlich bewilligte Brunnen
- Bohrungen GIS-Steiermark / seicht (1,9 m bis 23 m)
- Bohrungen GIS-Steiermark / tief (> 100 m)
- Sonstige (v.a. aus Geoteam-Projekten)
- Grundwasser-Spiegellagen (v.a. ex WORSCH 1963, 1972)

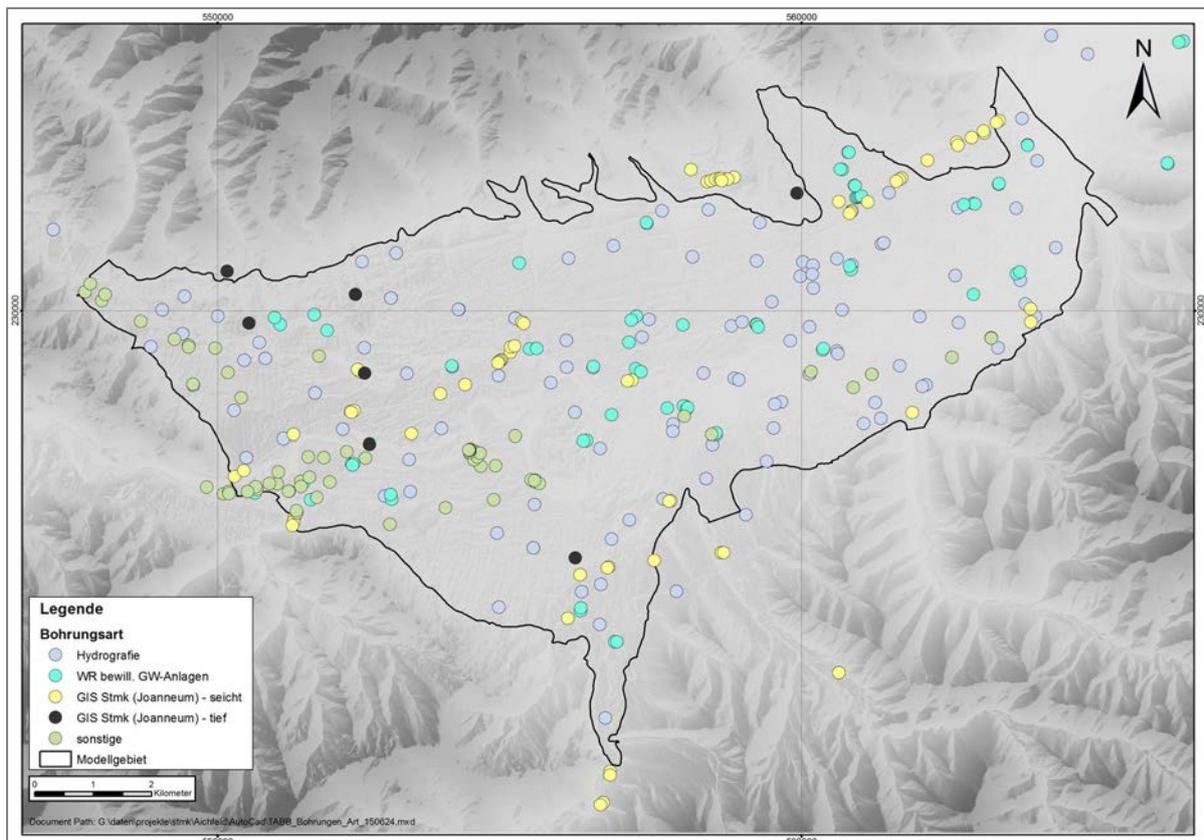


Abbildung 4.7: Lage der erhobenen Bohrungen mit ihrer zugeordneten Kategorie (Messstellen, die ausschließlich nur über Grundwasserspiegeldaten verfügen, sind nicht berücksichtigt).

Eine Übersicht über die Lage der erhobenen und kategorisierten Bohrungen im Projektgebiet ist Abbildung 4.7 zu entnehmen. Sämtliche Untergrundaufschlüsse finden sich auch in Beilage 10 eingetragen.

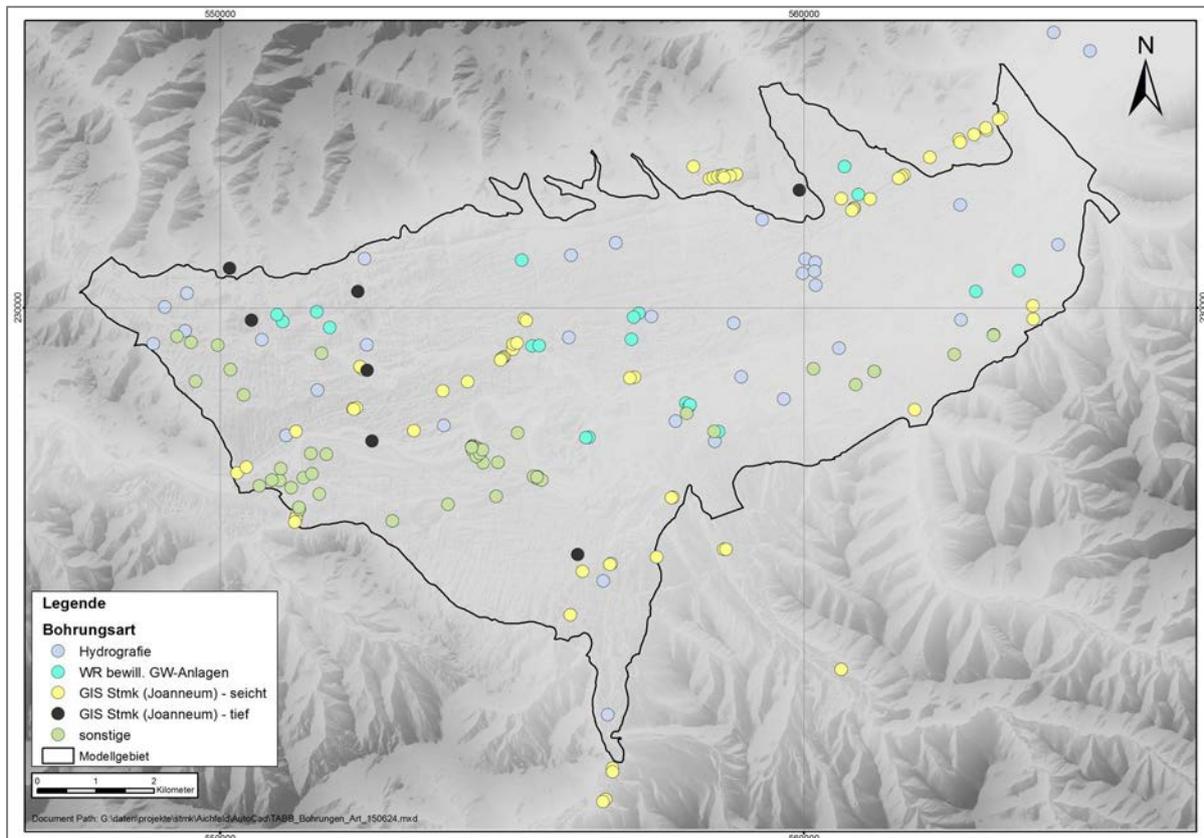


Abbildung 4.8: Bohrungen mit Bohrinformation.

In den folgenden Kapiteln (4.4.2 - 4.4.5) werden die Aufschlusssdaten entsprechend ihrer Kategorie aufgegliedert und erläutert. Eine geologische Bewertung der Qualität der Bohrdaten befindet sich in Kap. 4.4.6. Tabelle 4.2 enthält eine quantitative Übersicht über die vorliegenden Bohrdaten. Abbildung 4.9 stellt die Aufteilung der Kategorien graphisch dar.

Tabelle 4.2: Übersicht der für die Modellierung verfügbaren Bohrdaten.

Vorliegende Bohrdaten - Überblick				
Kategorie	Anzahl	Unterart	Anzahl	Kommentar
Hydrografiepegel Grundwasser	125	Grundwasserspiegel	96	Pegel mit Bohr- und/oder Messdaten
		Grundwasserspiegel und Qualität	19	
		Qualitätsmessstelle (GZÜV)	10	
Wasserrechte Grundwasser	81	Entnahmebrunnen	71	Konsensmenge ≥ 2 l/s
		Rückleitung Grundwasser	10	vorw. Wärmeaggregate und Sickerschächte
Bohrungen GIS Stmk	75	Untergrunderkundung/Straße	68	verwaltet durch:
		Kohlebergbau	7	Universalmuseum Joanneum Geologie und Paläontologie
Sonstige	71			vorw. Aus GEOTEAM-Projekten
GW-Spiegel	33			GW-Messstelle ex WORSCH (1972, 1963)
Summe	385			

Von den 385 erfassten Bohrungen entfällt mit rund einem Drittel der größte Anteil auf die Grundwassermessstellen des Hydrografischen Dienstes Steiermark. Die übrigen Kategorien beinhalten annähernd gleiche Mengen an Bohrungen. Eine Ausnahme bilden die unter der Bezeichnung "GW-Spiegel" zusammengefassten Grundwassermessstellen aus (14) und (15). Von diesen liegen im Wesentlichen nur die Messpunkthöhe, die Tiefe und ein mittlerer Grundwasserspiegel vor. Die Koordinaten wurden aus einem Übersichtslageplan abgegriffen und beinhalten z.T. relativ große Unschärfen. Teilweise konnten den Messstellen Bohrungen aus den anderen Kategorien zugeordnet werden. War keine Identifikation möglich, wurden die Messstellen in der letzten Kategorie "GW-Spiegel" belassen.

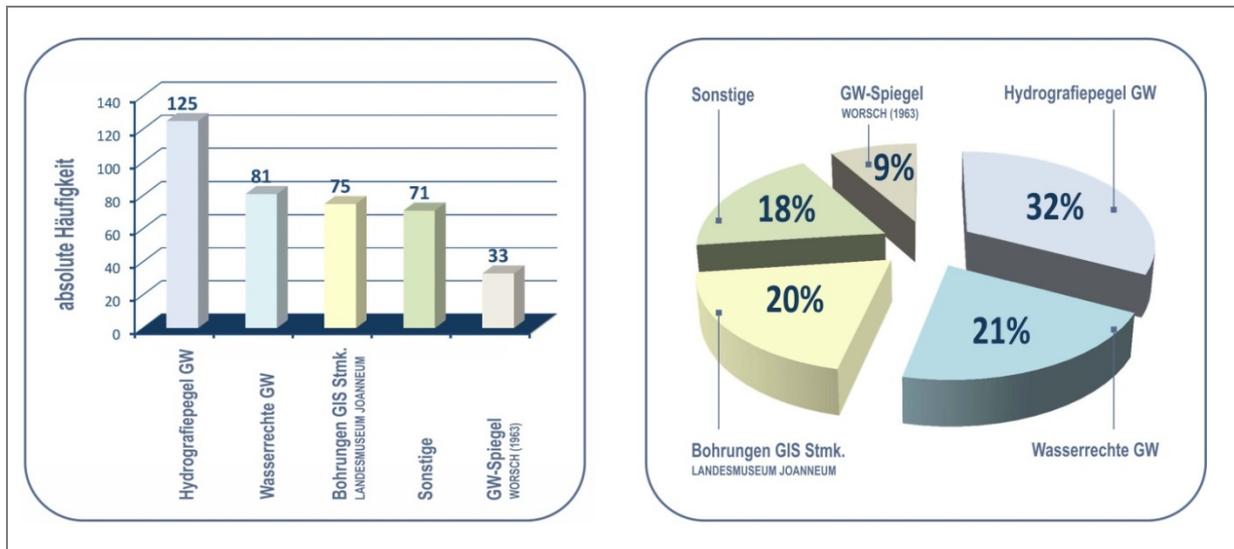


Abbildung 4.9: Grafische Darstellung der kategorisierten Bohrdaten in der Übersicht (GW = Grundwasser).

4.4.2. Hydrografiepegel

Die Bohrdaten der Hydrografiepegel wurden beim Amt der Steiermärkischen Landeregierung erhoben und wenn sie noch vorlagen, freundlicherweise vom Referat Hydrografie (Abteilung 14) zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

Die Ausbau- und Lagepläne der im Arbeitsgebiet errichteten Hydrografiepegel wurden von Geoteam gescannt und wurden als pdf-Dateien dem Zwischenbericht beigelegt (27). Tabelle 4.3 beinhaltet eine Auflistung der Pegel. Die Lage der Hydrografiepegel ist Abbildung 4.10 zu entnehmen.

Tabelle 4.3: Bohrdaten der Hydrografiepegel (Quelle: HYDROGRAFISCHER DIENST, AMT STMK, LAREG. (18)). N.N. = Name nicht bekannt, k.D. = keine Daten vorhanden.

BOHRUNGEN HYDROGRAFIE (AMT STMK. LAREG)					
INV.NR.	NAME	ALIAS-NAME	ART	TIEFE	LFD.#
HLA_NN	N.N.	KUMPITZ 2	Untersuchungsbohrung Hydrografie	31,0 m	1
HLA_NN	N.N.	KNITTELFELD GW-Sonde 1	Hydrografiepegel GW	17,5 m	2
HLA_NN	N.N.	MÖBERSDORFSIEDLUNG Pegel 3	Hydrografiepegel GW	18,0 m	3
HLA_NN	N.N.	PÖLS Pegel 4	Hydrografiepegel GW	46,7 m	4
HLA_NN	N.N.	AICH	Hydrografiepegel GW	63,0 m	5
HLA_NN	N.N.	BAIERDORF 2 Pegel	Hydrografiepegel GW	56,0 m	6
HLA_NN	N.N.	STRETTWEG Pegel	Hydrografiepegel GW	68,0 m	7
HLA_NN	N.N.	GROSSLOBMING Pegel 2	Hydrografiepegel GW	24,5 m	8
HLA_NN	N.N.	APFELBERG Pegel 1	Hydrografiepegel GW	21,0 m	9
HLA_NN	N.N.	KNITTELFELD / Mülldeponie Pausendorf GW-Pegel 2	Hydrografiepegel GW	25,0 m	10
HLA_NN	N.N.	KNITTELFELD / Mülldeponie Pausendorf GW-Pegel 3	Hydrografiepegel GW	25,0 m	11
HLA_NN	N.N.	KNITTELFELD / Mülldeponie Pausendorf GW-Pegel 4	Hydrografiepegel GW	25,0 m	12
HLA_2345	2345_PÖLS	PÖLS	Hydrografiepegel GW (Bohrbrunnen)	46,6 m	13
HLA_2381	2381_TIEFENBACH	RITZERSDORF 1	Hydrografiepegel GW	47,0 m	14
HLA_2383	2383_KUMPITZ	KUMPITZ 3	Hydrografiepegel GW	31,0 m	15
HLA_23831	23831_KUMPITZ	KUMPITZ 1	Hydrografiepegel GW	30,0 m	16
HLA_2385	2385_KUMPITZ	---	Hydrografiepegel GW	k.D.	17
HLA_2387	2387_KUMPITZ	---	Hydrografiepegel GW	k.D.	18
HLA_2389	23_WALTERSDORF	---	Hydrografiepegel GW, priv. Brunnen	k.D.	19
HLA_23892	23892_HETZENDORF	SCHLOSS GABELHOFEN Pegel 1	Hydrografiepegel GW	40,0 m	20
HLA_2391	2391_HETZENDORF	---	Hydrografiepegel GW, priv. Brunnen	k.D.	21
HLA_23913	23913_HETZENDORF	SCHLOSS GABELHOFEN Pegel 2	Hydrografiepegel GW	57,0 m	22
HLA_2393	2393_DIETERSDORF	WASENDORF 1	Hydrografiepegel GW	29,0 m	23
HLA_23953	23953_AICHDORF	GABELHOFEN Brunnen 3	Hydrografiepegel GW	45,0 m	24
HLA_23974	23974_FOHNSDORF	HETZENDORF Pegel 3	Hydrografiepegel GW	54,0 m	25
HLA_23976	23976_FOHNSDORF	FOHNSDORF Bohrung 1	Hydrografiepegel GW	33,8 m	26
HLA_2414	2414_FISCHING	BAIERDORF 1	Hydrografiepegel GW	50,0 m	27
HLA_2422	2422_MÜHLDORF	EPPENSTEIN Bohrung 4	Hydrografiepegel GW	18,0 m	28
HLA_2431	2431_FARRACH	ZELTWEG Aichfeldzentrum Pegel 1	Hydrografiepegel GW	42,0 m	29
HLA_2434	2434_WEISSKIRCHEN	WEISSKIRCHEN Bohrung 3	Hydrografiepegel GW	30,0 m	30
HLA_2435	2435_RATTENBERG	RATTENBERG Pegel 4	Hydrografiepegel GW	34,0 m	31
HLA_2446	2446_ZELTWEG	ZELTWEG Bohrung 2	Hydrografiepegel GW	23,5 m	32
HLA_2447	2447_FLATSCHACH	FLIEGERHORST ZELTWEG GW-Sonde 1	Hydrografiepegel GW	34,0 m	33
HLA_2449	2449_ZELTWEG	FLIEGERHORST ZELTWEG GW-Sonde 2	Hydrografiepegel GW	40,0 m	34
HLA_2464	2464_FEISTRITZ	FEISTRITZ	Hydrografiepegel GW (Bohrbrunnen)	17,9 m	35
HLA_24891	24991_SPIELBERG	SPIELBERG 2 Pegel 3	Hydrografiepegel GW	26,0 m	36
HLA_24931	24931_LIND	LIND 2	Hydrografiepegel GW	33,0 m	37
HLA_24991	24991_PAUSENDORF	SPIELBERG 1 Pegel 2	Hydrografiepegel GW	30,0 m	38
HLA_24992	24991_PAUSENDORF	KNITTELFELD / Mülldeponie Pausendorf GW-Pegel 1	Hydrografiepegel GW	25,0 m	39
HLA_25091	25091_LIND	LIND 1	Hydrografiepegel GW	21,0 m	40
HLA_25181	25181_APFELBERG	APFELBERG	Hydrografiepegel GW (Bohrbrunnen)	21,9 m	41
HLA_2512	2512_GROSSLOBMING	GROSSLOBMING	Hydrografiepegel GW (Bohrbrunnen)	10,9 m	42
HLA_25313	25313_WEYERN	WEYERN (Ingeringbachmündung)	Hydrografiepegel GW	10,0 m	43
HLA_25351	25351_KNITTELFELD	BRUNNEN ALTENHEIM KNITTELFELD	Hydrografiepegel GW	23,0 m	44
HLA_25372	25372_APFELBERG	APFELBERG Brunnen 2	Hydrografiepegel GW	22,0 m	45
HLA_2551	2551_KOBENZ	KOBENZ Brunnen 4	Hydrografiepegel GW	25,0 m	46
HLA_25511	25511_KOBENZ	KOBENZ Brunnen 5	Hydrografiepegel GW	37,0 m	47
HLA_2557	2557	FEISTRITZ_1	Hydrografiepegel GW	20,0 m	48
HLA_2563	2563_ST. MAREIN	FEISTRITZ_2	Hydrografiepegel GW	12,0 m	49
HLA_2564	2564	FEISTRITZ_4	Hydrografiepegel GW	30,0 m	50
HLA_2569	2569	FEISTRITZ_3	Hydrografiepegel GW	27,5 m	51

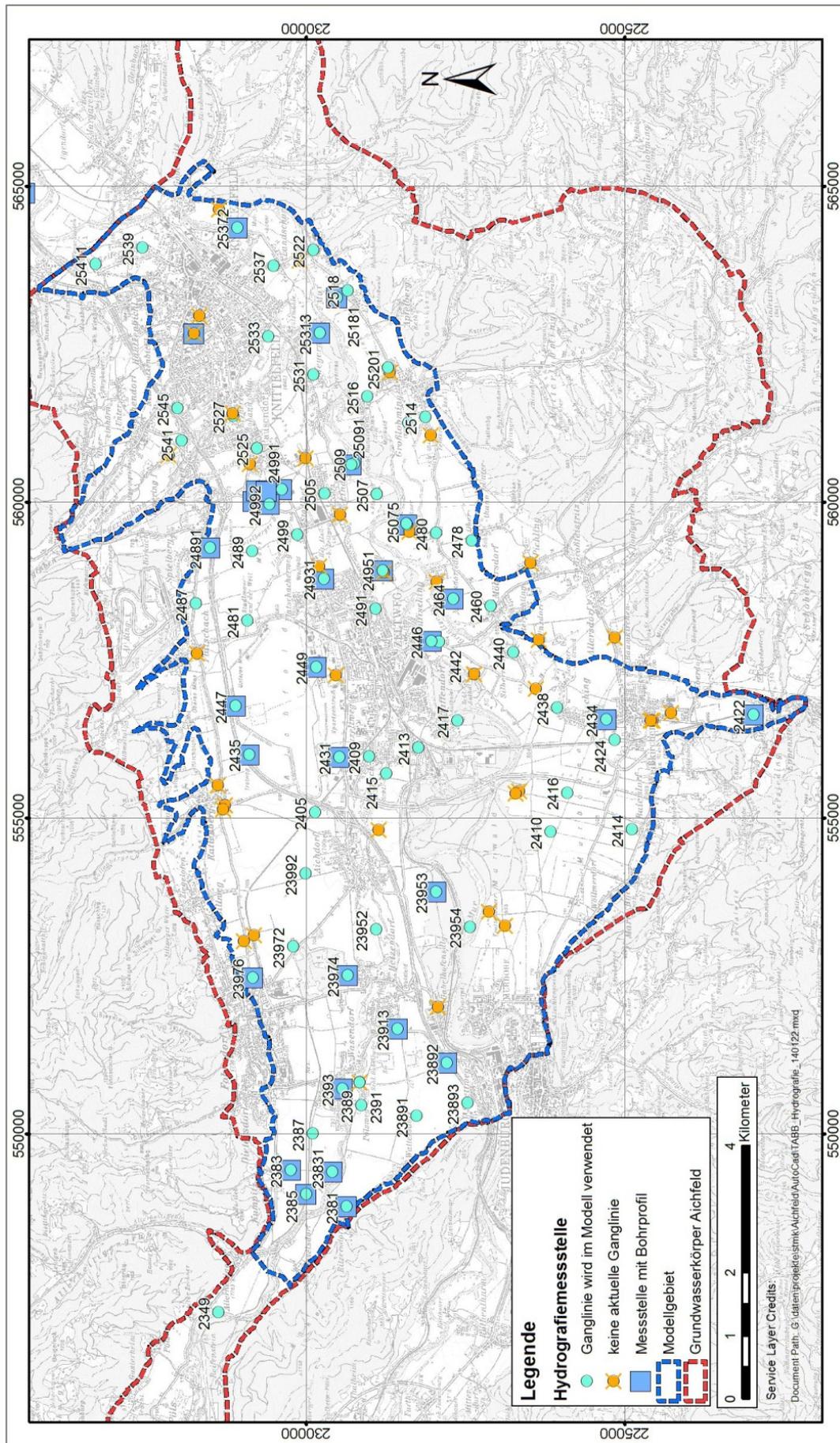


Abbildung 4.10: Übersichtskarte mit Lage der erhobenen Hydrografiepegel.

4.4.3. Bohrdatenarchiv Universalmuseum Joanneum

Im Digitalen Atlas der Steiermark (Kartenservice Geologie & Geotechnik, (17)) wurden die dort dargestellten Bohrpunkte im gegenständlichen Arbeitsgebiet samt nahem Umfeld abgefragt und von Geoteam die Bohrprotokolle beim UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM, Sammlungs- und Studienzentrum Natur, Abteilung Geologie & Paläontologie angekauft. Insgesamt wurden 78 Bohrpunkte ausgewählt. Von zwei Bohrungen (Inv.Nr.151110 und 156471) lagen die Daten beim UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM nicht mehr auf.

Beim überwiegenden Teil (68 Stück) handelt es sich um Erkundungsbohrungen aus dem Straßenbau, neun Aufschlüsse (Erkundungsbohrungen und Schächte) liegen aus dem Kohlebergbau vor. Schließlich wird auch die Thermalwasserförderbohrung Gabelhofen Thermal 1 (9) in der Datenbank des UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM (Inv.Nr. 158991) geführt.

Die pdf-Dateien der Bohrprofile wurden dem ersten Zwischenbericht (27) digital beigelegt. In Tabelle 4.4 sind die Bohrungen aufgelistet. Die Lage der Bohrungen ist in Abbildung 4.11 im Überblick dargestellt (Lage siehe auch Beilage 1).

Tabelle 4.4: Bohrdaten aus GIS Steiermark (Quelle: UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM (36)).
k.D. = keine Daten vorhanden.

BOHRUNGEN UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM							
ART	PROJEKT	INV.NR.	NAME	ANMERKUNG	TIEFE	LFD.#	
Erkundungsbohrung Straßenbau (Straßenbohrung)	L235-L246/Landschacherbrücke	150014	293		15,5 m	1	
	Obdacher Bundesstr./	150062	243/1		9,1 m	2	
	Schaffersägebrücke	150063	243/2		6,7 m	3	
	Obdacher Bundesstr./	150064	242/1		9,8 m	4	
	Eppensteiner Brücke	150065	242/2		10,5 m	5	
	B78/Hetzendorferbrücke	150073	195/1		11,1 m	6	
		150074	185/2		9,6 m	7	
	Feistritz-Kleinfeistritz/Schlackenbrücke	150151	201/1		7,8 m	8	
	Benkenbachbrücke	150340	312/1		14,2 m	9	
		152896	A1/1		12,0 m	10	
		152897	A1/2		15,0 m	11	
		152898	A2		8,0 m	12	
		152899	A2/1		15,0 m	13	
		152900	A2/2		12,0 m	14	
		152901	A3/1		10,0 m	15	
		152902	A3/2		13,5 m	16	
		152903	A3/3		15,0 m	17	
		152904	A3/4		10,0 m	18	
	S 36 Murtal-Schnellstraße	152905	A4/1		10,0 m	19	
		152906	A5/2		12,0 m	20	
		152907	J1		8,0 m	21	
		152908	J1/1		12,0 m	22	
		152909	J1/2		15,0 m	23	
		152910	J2		8,0 m	24	
		152911	J2/1		12,0 m	25	
		152912	J2/2		12,0 m	26	
		152913	J3/2		10,5 m	27	
		152914	Z2/B		15,0 m	28	
	S36/ÖBB-Unterführung Zeltweg	152915	Z3/B		10,0 m	29	
	S36/Umfahrung Knittelfeld / Einschnitt	154372	KnB		20,0 m	30	
		154373	K1Ba		10,0 m	31	
	S36/Unterführung B336	154374	K1Bb		10,0 m	32	
		154375	K2Ba		12,0 m	33	
	S36/Annerlbauerüberführung	154376	K2Bb		10,0 m	34	
		154377	K3Ba		15,0 m	35	
	S36/Überführung Waldesruhe	154378	K3Bb		10,0 m	36	
	S36/Unterführung Einhornweg	154379	K5B		10,0 m	37	
	S36/gedrehter Plattendurchlass	154380	K6B		6,0 m	38	
	S36/Unterführung Gaalerstraße	154381	K7Ba		6,0 m	39	
		154382	K7Bb		8,0 m	40	
	S36/Unterführung Anschlussstraße	154383	K8B		10,0 m	41	
		154384	K9Ba		3,0 m	42	
	S36/Ingeringbachbrücke	154385	K9Bb		10,0 m	43	
		154386	K9Bc		10,0 m	44	
		154469	77.2Ba		10,0 m	45	
	B7/Feistritzbachbrücke	154470	77.2Bb		6,3 m	46	
	B77/Wegunterführung	154471	77.3B		10,0 m	47	
		154472	77.4Ba		15,0 m	48	
	B77/Granitzenbachbrücke	154473	77.4Bb		10,0 m	49	
	B77/ÖBB-Brücke	154474	77.5B		10,0 m	50	
	L543/Möbersdorferstraße	154524	543/1Ba		10,0 m	51	
	Sparbauernbrücke	154525	543/1Bb		10,0 m	52	
	L504/Stahlbetonbrücke	155297	504/1B		12,0 m	53	
	L504/Sulzbachbrücke	155298	504/2B		8,3 m	54	
	Hochwasserüberleitungsstollen Purbach	156282	B1		23,0 m	55	
		156283	B2		20,0 m	56	
		156284	B3		10,0 m	57	
	L503 Rattenbergerstr. / Ingeringbrücke	158282	503/1B		10,0 m	58	
		159061	Ö/RS11		10,5 m	59	
		159062	Ö/RS12		12,0 m	60	
		159063	Ö/RS13		10,5 m	61	
		159064	Ö/RS14		9,8 m	62	
		159065	Ö/RS15		3,4 m	63	
	Österreich-Ring	159075	Ö/S5		1,9 m	64	
		159076	Ö/S6		5,2 m	65	
		159077	Ö/S7		5,2 m	66	
		159078	Ö/S8		4,8 m	67	
		159099	Ö/S29		5,1 m	68	
		151110	k.D.		ident mit 156466?	k.D.	69
		156466	MARIA BUCH			282,5 m	70
	Kohleprospektion	Erkundungsbohrung/Kohlebergbau	156465	BrL. SCHÖNBERG	nur Übersichts-Profil	k.D.	71
			156458	A1-Hetzendorf		553,5 m	72
			156459	A2-Murdorf		737,4 m	73
			156471	ANTONI NEUSCHACHT	Daten ex WORSCH (1963)	150,7 m	74
		Schacht Kohlebergbau	156463	KARL AUGUST Förderschacht	Daten ex WORSCH (1963)	633,6 m	75
			156472	KARL-AUGUST-SCHACHT	Wetterschacht? Bohrung?	293,0 m	76
			156464	WODZICKI-SCHACHT	Daten ex WORSCH (1963)	159,2 m	77
	Thermalbohrung	Thermalwasserschließung	158991	GABELHOFEN THERMAL 1	Daten ex GEOTEAM (2001)	2000,0 m	78

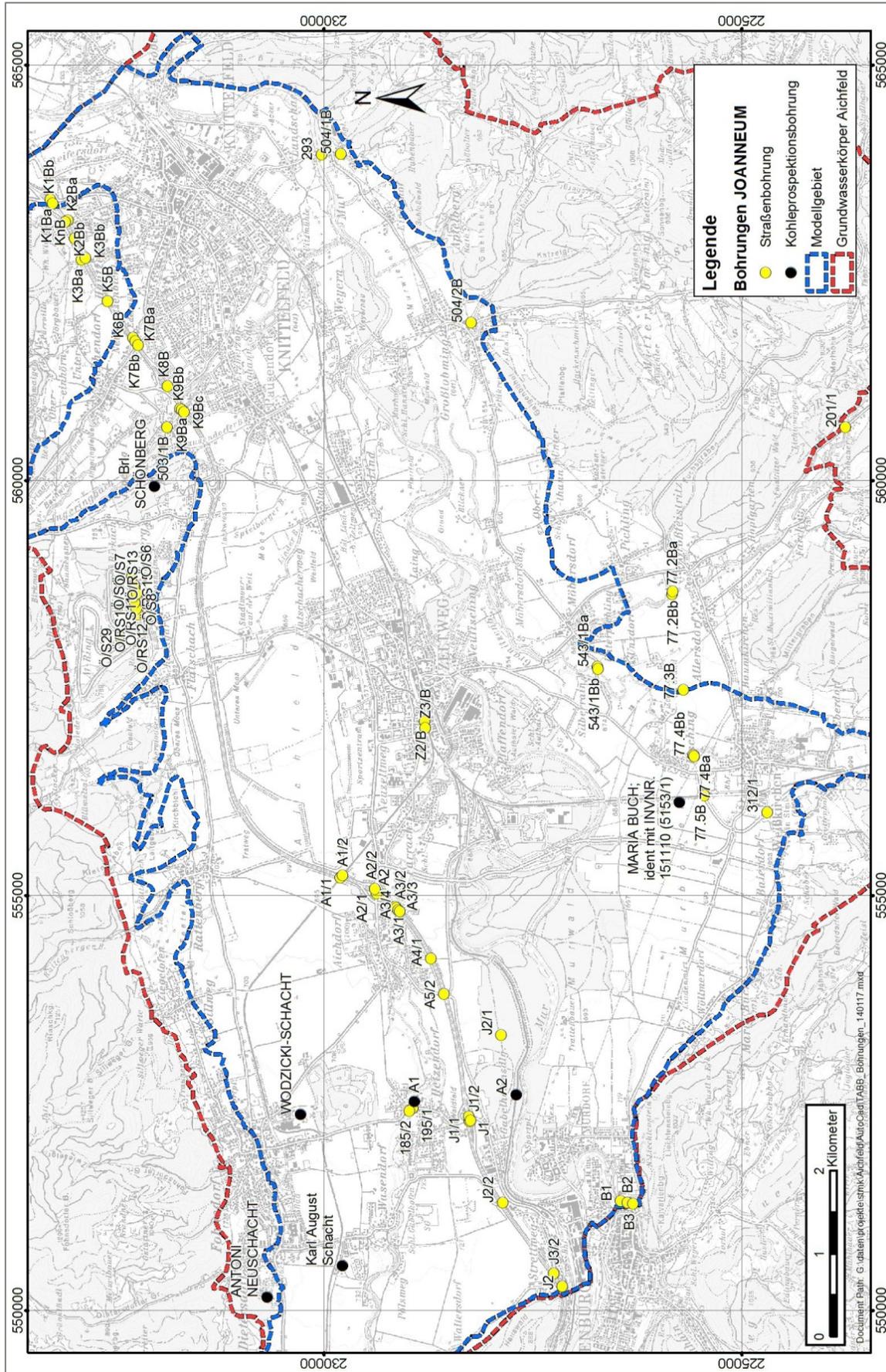


Abbildung 4.11: Übersichtskarte mit Lage der beim UNIVERSALMUSEUM JOANNEUM angekauften Bohrungen.

4.4.4. Brunnenanlagen

Tabelle 4.5: Liste ausgewählter Wasserrechte mit Tiefenangaben, Stand: Jänner 2014, ex WASSER-
BUCH STEIERMARK (19).

GRUNDWASSERANLAGEN AUS GIS/STMK.									
ART	PZ	NAME	EIGENTÜMER	ORT	TIEFE	DATEN		LFD. #	
						Geol.	Ausbau		
GRUNDWASSERENTNAHME	Trinkwasserversorgung von Gemeinden	8/259	Brunnen Wöllmerdorf I	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke	Maria Buch	43,0 m	x	1	
		8/259	Brunnen Wöllmerdorf II	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke	Maria Buch	43,0 m	x	2	
		8/259	Murdorfbrunnen II	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke	Judenburg	32,0 m	x	3	
		8/259	Feldgasse-Brunnen	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke	Judenburg	18,1 m	x	4	
		8/259	Murdorfbrunnen I	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke	Judenburg	32,0 m	x	5	
		8/259	Murdorfbrunnen III	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke	Judenburg	36,0 m	x	6	
		8/330	Bohrbrunnen 1	Stadtgemeinde Zeltweg	Farrach	13,6 m		7	
		8/330	Schachtbrunnen 1	Stadtgemeinde Zeltweg	Farrach	k.D.		8	
		8/330	Schachtbrunnen 2 (Sportzentrum)	Stadtgemeinde Zeltweg	Zeltweg	36,0 m	x	x	9
		8/770	Brunnen Aichdorf	Gemeinde Fohnsdorf	Aichdorf	25,4 m	x	x	10
		8/770	Schachtbrunnen Rattenberg	Gemeinde Fohnsdorf	Rattenberg	32,0 m	x	x	11
		8/770	Brunnen IV	Gemeinde Fohnsdorf	Fohnsdorf	45,2 m	x	x	12
		8/770	Brunnen VII	Gemeinde Fohnsdorf	Dietersdorf	29,5 m	x	x	13
		8/770	Brunnen IX	Gemeinde Fohnsdorf	Dietersdorf	33,3 m	x	x	14
		8/770	Brunnen X	Gemeinde Fohnsdorf	Fohnsdorf	33,0 m	x	x	15
		9/228	Tiefbrunnen 1	Gemeinde Flatschach	Flatschach	30,9 m		x	16
		9/228	Tiefbrunnen 2	Gemeinde Flatschach	Flatschach	30,9 m		x	17
		9/267	Uitzbrunnen	Stadtgemeinde Knittelfeld	Apfelberg	22,1 m	x	x	18
		9/267	Brunnen I (Sachendorf-Maßweg)	Stadtgemeinde Knittelfeld	Sachendorf	12,6 m	x	x	19
		9/267	Brunnen II	Stadtgemeinde Knittelfeld	Sachendorf	13,9 m			20
		9/267	Brunnen III	Stadtgemeinde Knittelfeld	Sachendorf	13,9 m			21
		9/267	Brunnen IV	Stadtgemeinde Knittelfeld	Sachendorf	13,8 m			22
		9/267	Brunnen V	Stadtgemeinde Knittelfeld	Sachendorf	13,8 m			23
		9/400	Brunnen Lind I	Marktgemeinde Spielberg	Lind	19,7 m		x	24
		9/400	Brunnen Lind II	Marktgemeinde Spielberg	Lind	19,4 m		x	25
		9/400	Betonschachtbrunnen	Marktgemeinde Spielberg	Pausendorf	18,0 m			26
		9/400	Schachtbrunnen	Marktgemeinde Spielberg	Pausendorf	k.D.			27
	Trinkwasserversorgung von Sonstigen	8/12	Rohrbrunnen 12/1	Heeresbauverwaltung Süd Betrieb	Zeltweg	30,5 m	x	x	28
		8/12	Rohrbrunnen 12/2	Heeresbauverwaltung Süd Betrieb	Zeltweg	30,4 m	x	x	29
	Trinkwasserversorgung von Betrieben	8/1401	Steirerschlossbrunnen	Projekt Spielberg GmbH und Co. KG	Zeltweg	25,6 m		x	30
		8/1145	Nutzwasserfassung 1	Energie Zotter Bau GmbH & Co KG	Unterzeiring	7,8 m	x	x	31
		8/1145	Nutzwasserfassung 2	Energie Zotter Bau GmbH & Co KG	Pöls	10,0 m	x	x	32
		8/378	Schachtbrunnen 1	Naintsch Mineralwerke GmbH	Weißkirchen	22,7 m		x	33
		8/378	Schachtbrunnen 2	Naintsch Mineralwerke GmbH	Weißkirchen	21,4 m		x	34
	VSA Trink- und Nutzwasser	9/164	Brunnen	Obersteir. Molkerei eGen	Knittelfeld	19,0 m		x	35
		9/164	Tiefbrunnen	Obersteir. Molkerei eGen	Knittelfeld	19?			36
	Nutzwasser/ Brunnen/ Bewässerungen	9/182	Betonschachtbrunnen LKH Knittelfeld	Stmk. Krankenanstalten GmbH	Knittelfeld	17,0 m			37
		20/5	Brunnen 1-Spedition	Mayer GmbH	Farrach	36,0 m	x	x	38
		20/5	Brunnen M-Rast	Mayer GmbH	Farrach	35,0 m	x	x	39
		8/267	Tiefbrunnen 2	Österr. Donaukraftwerke AG	Farrach	17,0 m	x	x	40
		8/267	Tiefbrunnen 1	Österr. Donaukraftwerke AG	Farrach	17,0 m	x	x	41
		8/670	Nutzwasserbrunnen 3	Stahl Judenburg GmbH	Judenburg	23,3 m			42
8/670		Tiefbrunnen 1	Stahl Judenburg GmbH	Judenburg	17,0 m x (< 10m)		x	43	
8/730		Brunnen	FA. Josef Adolf Kufner - Textilwerke GmbH	Weißkirchen	10,0 m		x	44	
8/730		Brunnen (1)	FA. Josef Adolf Kufner - Textilwerke GmbH	Weißkirchen	8,0 m		x	45	
20/26		Entnahme Grundwasser	Pilz Dietmar	Zeltweg	3,3 m		x	46	
Nutzwasser für Wärmeaggregate	8/1636	Entnahmebrunnen	Gier Harald Ing. und Carina	Feistritz	9,0 m	x	x	47	
	8/1804	Entnahme-Schachtbrunnen	Klaus Ewald	Zeltweg	14,1 m	x	x	48	
	8/1821	Entnahme Bohrbrunnen	Hubmann Alfred und Heidemarie	Zeltweg	17,1 m	x	x	49	
	9/457	Entnahmebrunnen Grundwasser	Gemeinn. Wohn- u. Siedlungsgen. Ennstal	Apfelberg	11,6 m	x	x	50	
	9/507	Entnahmebrunnen Grundwasser	Eppich Anton	Ingering I	3,5 m		x	51	
	9/806	Entnahmebrunnen	Glatz Jürgen	St. Margarethen	8,0 m		x	52	
	9/858	Entnahmebrunnen	Hopf Astrid und Prager Gerhard	Ingering I	7,7 m	x	x	53	
	8/12	Rückleitung Grundwasser	Heeresbauverwaltung Süd Betrieb	Zeltweg	k.D.			54	
GW- VERSICKERUNG	9/182	Oberflächenentwässerungsanlage	Stmk. Krankenanstalten GmbH	Knittelfeld	k.D.			55	
	8/1401	Versickerung Grundwasser	Projekt Spielberg GmbH und Co. KG	Zeltweg	k.D.		x	56	
	8/1636	Rückleitung - Schluckbrunnen	Gier Harald Ing. und Carina	Feistritz	2,0 m		x	57	
	8/1821	Rückleitung - Schluckbrunnen	Hubmann Alfred und Heidemarie	Zeltweg	8,0 m	x	x	58	
	9/457	Sickerschacht	Gemeinn. Wohn- u. Siedlungsgen. Ennstal	Apfelberg	4,3 m		x	59	
	9/507	Rückleitung Grundwasser	Eppich Anton	Ingering I	2,5 m		x	60	
9/806	Schluckbrunnen	Glatz Jürgen	St. Margarethen	4,0 m		x	61		

Aus dem Digitalen Atlas der Steiermark (17) (Kartenservice: Gewässer und Wasserinformation) wurden die Postzahlen der im Arbeitsgebiet aufscheinenden Wasserrechte (WIS_Wasserbuch) exportiert. Beim AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Abteilung 14 - Referat Fachinformation, Wasserbuch, Wassergut) wurden in der Folge die Wasserbuchakte der Grundwasseranlagen (vorerst kommunale Wasserversorgungen bzw. größere Konsensmengen, d.h. überwiegend > 2 l/s) eingesehen (vgl. dazu Kap. 5), und, wenn vorhanden, Daten (Profile und Ausbaupläne von Brunnen) zu den geologisch-hydrogeologischen Verhältnissen ausgehoben (Stand: Jänner 2014).

Die so ausgewählten 61 Grundwassergewinnungsanlagen sind in Tabelle 4.5 angeführt. 53 Grundwasserentnahmen (37 Trinkwasserbrunnen, 16 Nutzwasserbrunnen) stehen acht Versickerungen gegenüber. Ausbaupläne sind von 48 Anlagen vorhanden; Schichtverzeichnisse liegen jedoch von nur 23 Anlagen auf. Aufgrund der überwiegend nicht fachgerechten Gesteinsansprachen ist die geologische Qualität der Profile gering (siehe Kap. 4.4.6). Sie wurden ebenfalls auf der Daten-DVD des Zwischenberichts ((27)) in pdf-Form dokumentiert.

Die Lage der für geologische Informationen ausgewählten Grundwasserentnahmen und -einleitungen ist in Abbildung 4.12 dargestellt.

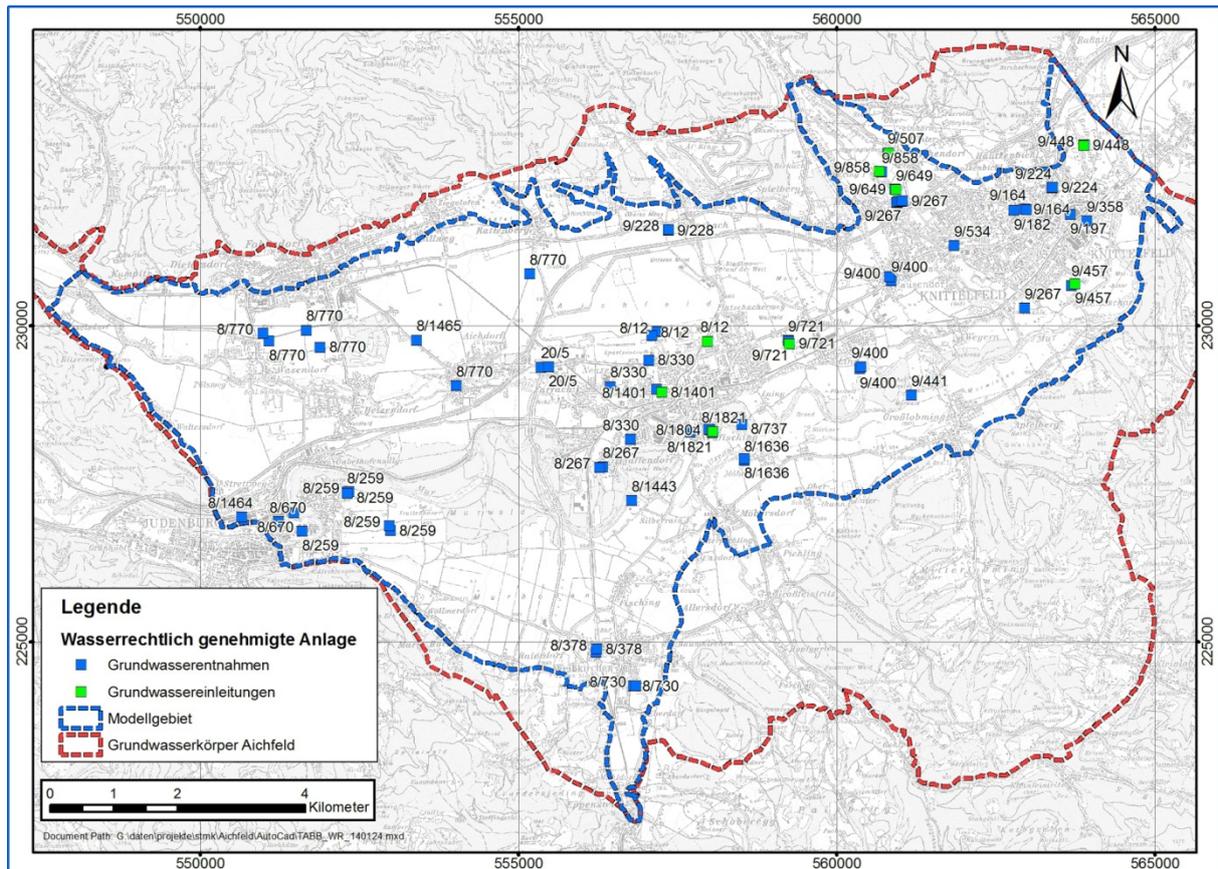


Abbildung 4.12: Übersichtskarte ausgewählter wasserrechtlich bewilligter Grundwasseranlagen mit geologischen Informationen.

4.4.5. Sonstige Bohrdaten

Weitere Untergundaufschlüsse (überwiegend Erkundungsbohrungen und Grundwassermessstellen) wurden von Geoteam aus diversen Wasserrechtsprojekten erhoben.

Zusätzlich wurden vom Auftraggeber, überwiegend ältere Bohrdaten aus dem Archiv zur Verfügung gestellt, die mit den bereits von Geoteam inventarisierten Bohrungen abgeglichen wurden. Einige Daten waren jedoch lagemäßig nicht mehr zuordenbar. Weiters wurde vom Auftraggeber die Freigabe von Bohrinformationen für die Errichtung des KW Fischening erwirkt.

Daten bzw. Schichtverzeichnisse von Erdwärmesonden (EWS) lagen dem Auftraggeber nicht vor und konnten daher auch nicht berücksichtigt werden.

Die ergänzenden bzw. "sonstigen" Bohrdaten werden in Tabelle 4.6 mit Bezeichnung, Tiefenlage des Stauers und Quartärmächtigkeit zusammengefasst. Koordinaten und Seehöhen dieser zusätzlichen Bohrungen finden sich im Zwischenbericht zusammen mit den pdf-Dateien der gescannten Profile digital dokumentiert.

Tabelle 4.6: Liste sonstiger Bohrungen.

BOHRUNGEN SONSTIGE (PROJEKTE GEOTEAM ETC.)					
PROJEKT	ART	NAME	STAUER OK	QUARTÄR- MÄCHTIG.	LFD. #
Kraftwerk Ritzersdorf	GW-Pegel	RITZ 1	718,5 m ü.A.	17,6 m	1
		RITZ 2	685,43 m ü.A.	55,0 m	2
		RITZ 3	711,53 m ü.A.	19,2 m	3
		RITZ 4	702,22 m ü.A.	46,0 m	4
		RITZ 5	715 m ü.A.	18,2 m	5
		RITZ 6	708,39 m ü.A.	30,7 m	6
		RITZERSDORF 4	711 m ü.A.	37,0 m	7
Deponie Gasselsdorf	GW-Pegel	Gas KP 7	730,2 m ü.A.	31,7 m	8
		Gas. KP 2	714,5 m ü.A.	41,7 m	9
		Gasselsdorf 1	ca. 718 m ü.A.	40,0 m	10
		Gasselsdorf 2	ca. 700 m ü.A.	60,0 m	11
		Gasselsdorf 3	ca. 705 m ü.A.	45,0 m	12
Therme Gabelhofen	Thermalwasserbohrung	GABELHOFEN THERMAL 1	682,00 m ü.A.	39,0 m	13
Schlackenhalde Judenburg	Erkundungsbohrung	S3	< 683 m ü.A.	> 25,0 m	14
		S4	< 674 m ü.A.	> 25,0 m	15
		S5	< 681 m ü.A.	> 25,0 m	16
		S6	< 677 m ü.A.	> 30,0 m	17
Stahl Judenburg Nutzwasserbr.3	Erkundungsbohrung	STAHL-JU E1	678,40 m ü.A.	28,8 m	18
GW-Untersuchungen im Murtal (Knittelfeld-Zeltweg)	Versuchsbohrung	BOHRUNG I - GROßLOBMING	612,55 m ü.A.	19,3 m	19
		BOHRUNG II - PFARRFELD	620,61 m ü.A.	19,8 m	20
		BOHRUNG III - EINÖDHOF	609,52 m ü.A.	18,6 m	21
		BOHRUNG IV - MURHOFWALD	617,60 m ü.A.	18,0 m	22
		BOHRUNG V - MÖBERSDORF	639,92 m ü.A.	13,0 m	23
		BOHRUNG VI - NEUFISCHING	633,89 m ü.A.	16,7 m	24
		BOHRUNG XII - MURHOF	616,32 m ü.A.	20,0 m	25
		BOHRUNG 24821 - BLICKNER	624,24 m ü.A.	17,8 m	26
	Filterrohrbrunnen	FILTERROHRBRUNNEN GROßLOBMING	616,88 m ü.A.	19,1 m	27
		BR SPIELBERG	k.A.	18,4 m	28
KW Judenburg	Erkundungsbohrung	KB1/10	657,29 m ü.A.	29,8 m	29
		KB2/10	658,70 m ü.A.	28,1 m	30
		KB6	681,80 m ü.A.	22,0 m	31
KW Fischeing (Farrach)	Erkundungsbohrung	KW FISCHING - B1	662,40 m ü.A.	33,0 m	32
		KW FISCHING - B1-83	< 667 m ü.A.	> 34,0 m	33
		KW FISCHING - B2-83	662,30 m ü.A.	33,0 m	34
		KW FISCHING - B3-83	< 657 m ü.A.	> 40,0 m	35
		KW FISCHING - B4-83	651,90 m ü.A.	32,5 m	36
		KW FISCHING - B5-83	656,90 m ü.A.	23,5 m	37
		KW FISCHING - B6-87	665,20 m ü.A.	31,5 m	38
		KW FISCHING - B10-87	660,80 m ü.A.	28,2 m	39
	Erkundungsbohrung/ Pegel	KW FISCHING - FT1-83	666,11 m ü.A.	15,0 m	40
		KW FISCHING - FK1-83	664,50 m ü.A.	12,5 m	41
		KW FISCHING - FK2-83	665,10 m ü.A.	11,6 m	42
		KW FISCHING - FK2a-83	665,00 m ü.A.	11,7 m	43
		KW FISCHING - FK3-83	665,35 m ü.A.	13,5 m	44
		KW FISCHING - FK4-83	661,20 m ü.A.	2,6 m	45
		KW FISCHING - FW1-83	659,90 m ü.A.	20,8 m	46
		KW FISCHING - FW2-83	657,20 m ü.A.	23,3 m	47
		KW FISCHING - FW3-83	663,72 m ü.A.	11,0 m	48
		KW FISCHING - FW4-83	661,72 m ü.A.	18,3 m	49
		KW FISCHING - FW5-83	662,00 m ü.A.	21,0 m	50
		KW FISCHING - FW6	665,12 m ü.A.	17,7 m	51
KW FISCHING - FW7	664,87 m ü.A.	19,7 m	52		
KW FISCHING - FW8	659,49 m ü.A.	21,5 m	53		
KW FISCHING - FWP1-87	< 661 m ü.A.	> 20,0 m	54		
KW FISCHING - FK5	665,00 m ü.A.	12,1 m	55		
KW FISCHING - FU1/5	< 638 m ü.A.	> 22,0 m	56		
KW FISCHING - B12	667,10 m ü.A.	24,3 m	57		
KW FISCHING - B13	668,34 m ü.A.	18,0 m	58		

4.4.6. Statistische Beurteilung der verfügbaren Bohrdaten (Bohrprofile)

Die verlässlichste Datenbasis der geologischen Informationen über den Untergrund im Arbeitsgebiet bilden die Bohrprofile. Bohrinformationen stellen somit die wichtigsten Eingangsdaten zur Ermittlung der Aquifergeometrie dar.

Der Informationsgehalt einer Bohrung ist jedoch von mehreren Faktoren abhängig, wobei die Tiefe einer Bohrung in Relation zur Gesamtmächtigkeit einer Schicht und die fachliche Qualität der geologischen Aufnahme die wichtigsten Punkte darstellen. Im Folgenden werden die erhobenen Schichtprofile hinsichtlich der Bohrtiefe und ihrer fachlichen Qualität durch statistische Untersuchungen beschrieben.

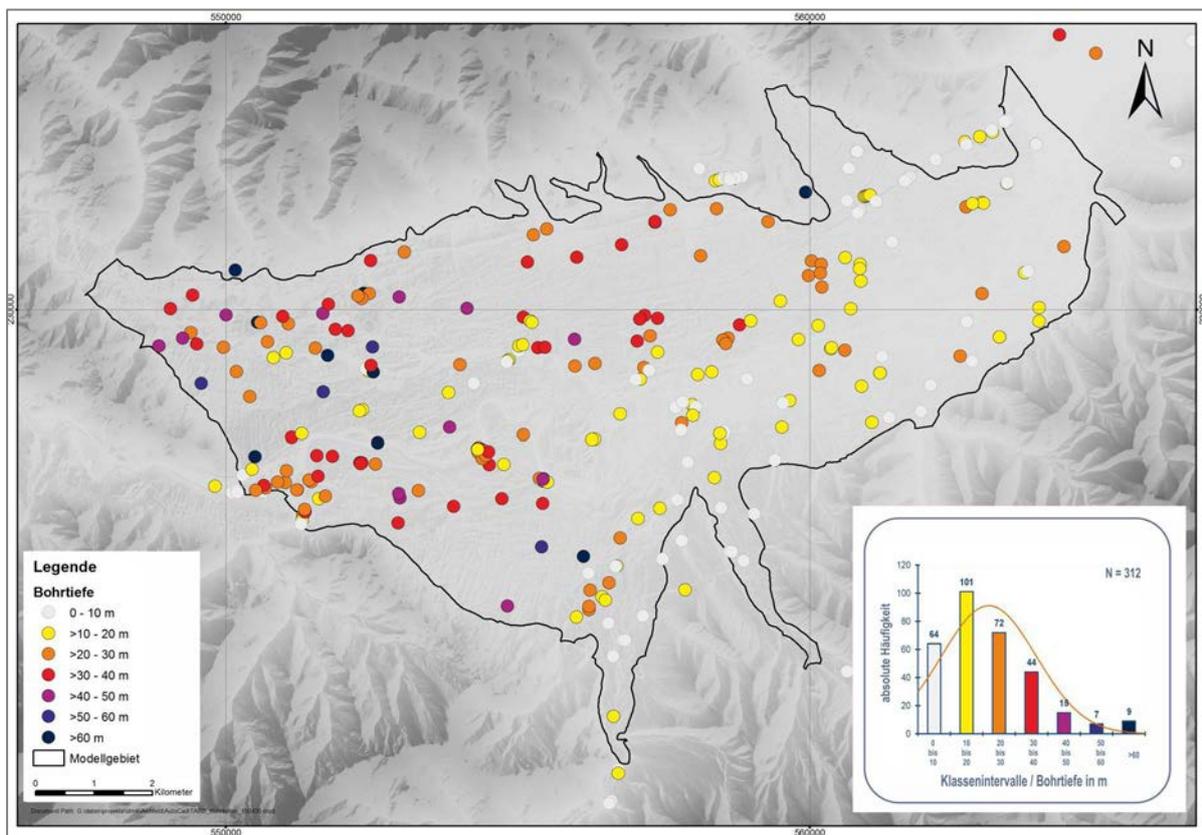


Abbildung 4.13: Tiefen sämtlicher erhobener Bohrungen (mit bekannter Endteufe).

Abbildung 4.13 gibt einen Überblick zu den Endteufen der insgesamt 312 erhobenen Bohrungen mit bekannter Endteufe im Arbeitsgebiet (von insgesamt 385 Bohrungen). Die Bohrungen sind in sieben Tiefenklassen mit Intervallschritten von 10 m unterteilt, die farblich unterschiedlich gekennzeichnet sind. Daraus ist ersichtlich, dass die Erkundungstiefe generell von Westen nach Osten hin abnimmt. Dies ist aber auch auf die Abnahme der Aquifermächtigkeit gegen Osten zurückzuführen.

Die sechste Tiefenklasse mit Bohrtiefen über 60 m beinhaltet im Wesentlichen die Bohrungen aus dem Kohlebergbau Fohnsdorf im westlichen Projektgebiet. Diese sind zwischen 150 m und 750 m tief. Die Thermalwasserbohrung GABELHOFEN TH1 repräsentiert mit einer Endteufe von 2.000 m das Maximum der Bohrtiefen. Darüber hinaus fällt auch noch ein 68 m tiefer Hydrografiepegel (HLA 23893; sog. Strettweg-Pegel nördlich von Judenburg) in diese Klasse. Die zweittiefste Klasse (50 – 60 m) enthält überwiegend Hydrografiepegel.

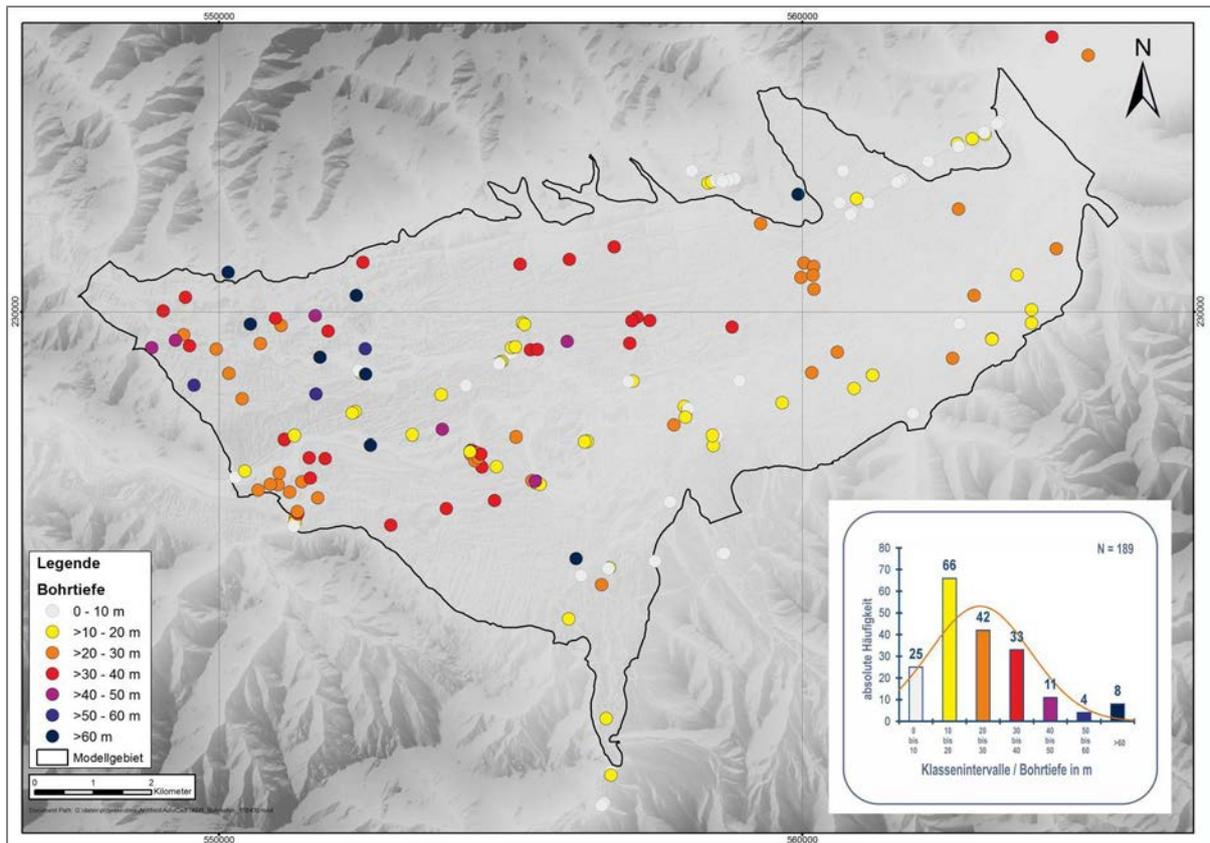


Abbildung 4.14: Bohrtiefen der Bohrungen mit Bohrprofil.

In Abbildung 4.14 sind nur jene Bohrungen mit ihren Endteufen in Tiefenklassen dargestellt, von denen ein Bohrprofil vorliegt (189 von 312 Bohrungen). Auch hier ist ein West-Ost-Trend hinsichtlich Tiefe und Datendichte zu erkennen.

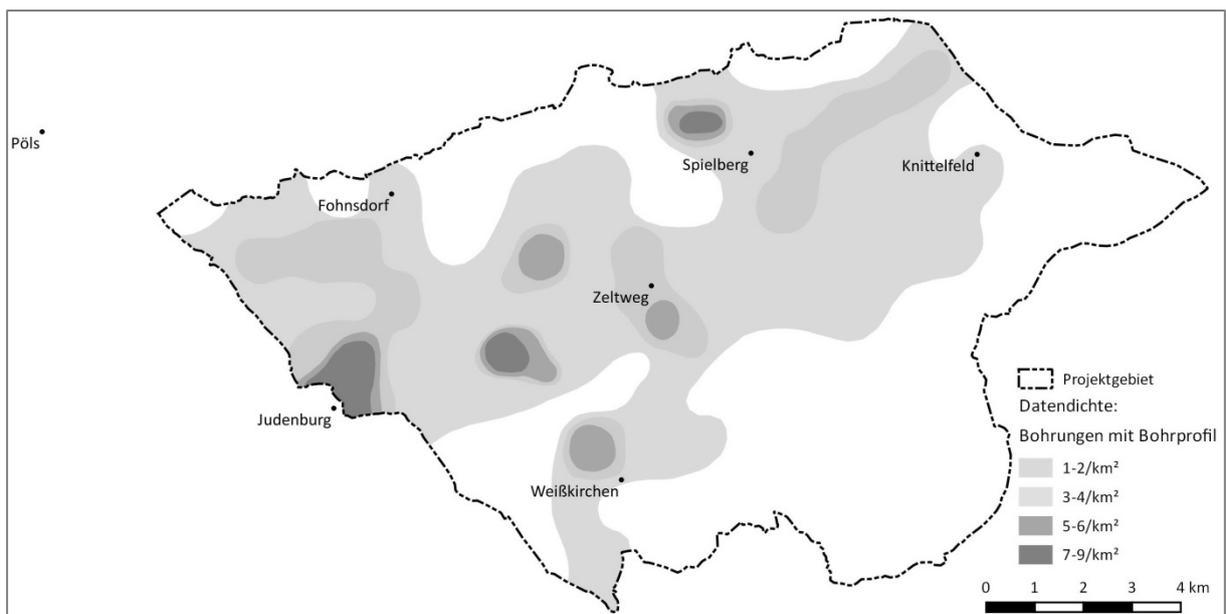


Abbildung 4.15: Datendichte der vorliegenden Bohrungen mit Bohrprofil (Anzahl der Bohrungen/km²).

Die Datendichte ist zur weiteren Veranschaulichung der Datengrundlagen für die Modellerstellung in zwei Abbildungen (Abbildung 4.15, Abbildung 4.16) dargestellt. Hierfür wurde das Modellgebiet gerastert und die Anzahl der Bohrungen (mit Bohrprofil bzw. angetroffenem Grundwasserstauer) pro Quadratkilometer ermittelt. Die Darstellungen unterscheiden im Wesentlichen Bereiche mit Unschärfen (fehlende Daten) von Gebieten mit hoher Informationsdichte und damit Aussagesicherheit.

Abbildung 4.15 zeigt die Datenlage zu den Informationen über den lithologischen Aufbau des Grundwasserleiters. Informationsdefizite liegen vor allem im südlichen und südöstlichen Projektgebiet vor. Die größte Datendichte tritt östlich von Judenburg im Bereich Murwald (KW Fischeing) mit neun Datenpunkten pro Quadratkilometer auf. In Judenburg selbst liegt mit acht bzw. sieben Bohrungen (mit Schichtprofil) pro Quadratkilometer die zweithöchste Datenkonzentration vor. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in Spielberg im Bereich der Rennstrecke (mit 8/km²). Bei Letzteren handelt es sich ausschließlich um Straßen-Erkundungsbohrungen. In Judenburg selbst ist die hohe Datendichte im Wesentlichen auf Grundwasserbeobachtungsspiegel und Brunnen der Industriestandorte (mit Altlasten/Altablagerungen-Monitoring) zurückzuführen.

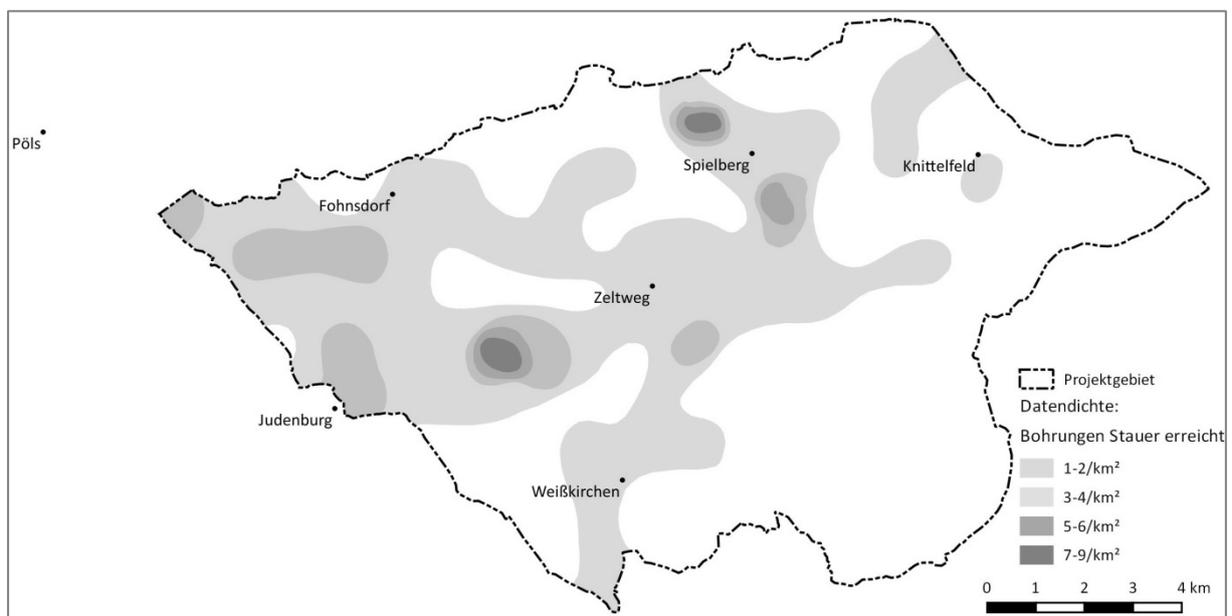


Abbildung 4.16: Datendichte der vorliegenden Bohrungen, die den Grundwasserstauer erreicht haben (Anzahl der Bohrungen pro km²).

In Abbildung 4.16 sind ausschließlich Bohrungen mit geologischer Information dargestellt, die auch den Stauer erreicht haben. Sie bilden die wesentliche Datengrundlage für die Erstellung der Stauerkarte. Auch hier treten die größten Unsicherheiten im Süden und Osten auf, während der westliche Bereich relativ gut mit Informationen abgedeckt ist. Das Datenmaximum bleibt im Bereich Murwald (9 Bohrungen/km²), an zweiter Stelle folgt mit 8 Bohrungen/km² die Rennstrecke in Spielberg, wobei hier anzumerken ist, dass in diesem Beckenrandbereich der Stauer sehr seicht vorliegt.

Von den insgesamt 189 Bohrungen mit Schichtprofilen haben mit 122 Bohrungen rund zwei Drittel den Grundwasserstauer erreicht.

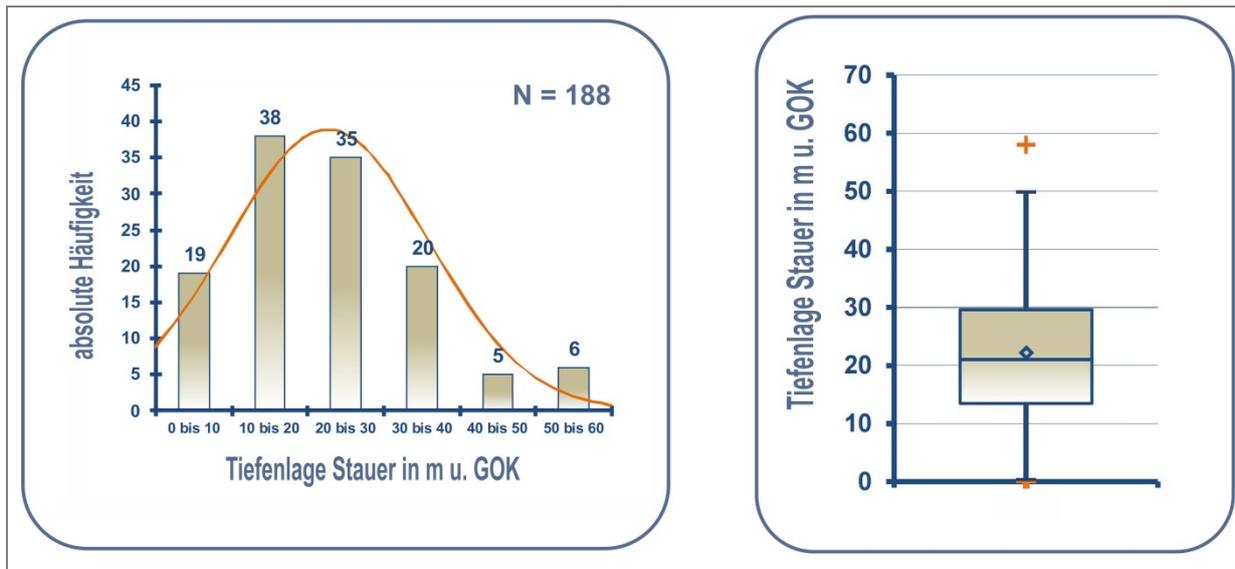


Abbildung 4.17: Tiefenlage des Grundwasserstauer in Bohrungen mit geologischen Informationen (Bohrprofil) im Histogramm bzw. box-whisker plot.

In Abbildung 4.17 und - nach Aufschlussarten gegliedert - in Abbildung 4.18 sind die vorliegenden Bohrprofile entsprechend der Endteufen ausgewertet. Dabei wurden Klassenintervalle im Ausmaß von Zehnmeter-Schritten gewählt.

Die größte Häufigkeit (66 Bohrungen) tritt in der Klasse 10 bis 20 m auf, was vor allem auf die 44 Erkundungsbohrungen aus dem Straßenbau in der Kategorie "Bohrungen GIS STMK (JO-ANNEUM)" zurückzuführen ist. Bei den Hydrografiepegeln sind zwei Drittel der Bohrungen zwischen 20 und 40 m tief. Die wasserrechtlich bewilligten Brunnen sind in den beiden Tiefenklassen "10 bis 20 m" sowie "30 bis 40 m" mit jeweils 35 % stärker besetzt. Die verbleibenden 30 % betreffen vor allem seichte Brunnen (< 10 m). Damit ist der Teufenabschnitt bis 40 m gut mit geologischen Informationen abgedeckt. Der Grundwasserstauer tritt in den Bohrungen in Teufen von maximal 58 m unter Gelände auf.

Der box-whisker Plot in Abbildung 4.17 (rechts) zeigt ebenfalls, dass der Hauptanteil (mittlere 50 % der Daten = box) im Teufenabschnitt 13 m bis 29 m liegt. Median (blauer Balken) und Mittelwert (blaue Raute) liegen mit Werten von 21 m bzw. 22 m eng beisammen. Das orange Kreuz markiert das Teufenmaximum von 58 m als "milden Ausreißer" innerhalb des zweifachen Interquartilsabstandes (Länge der Box).

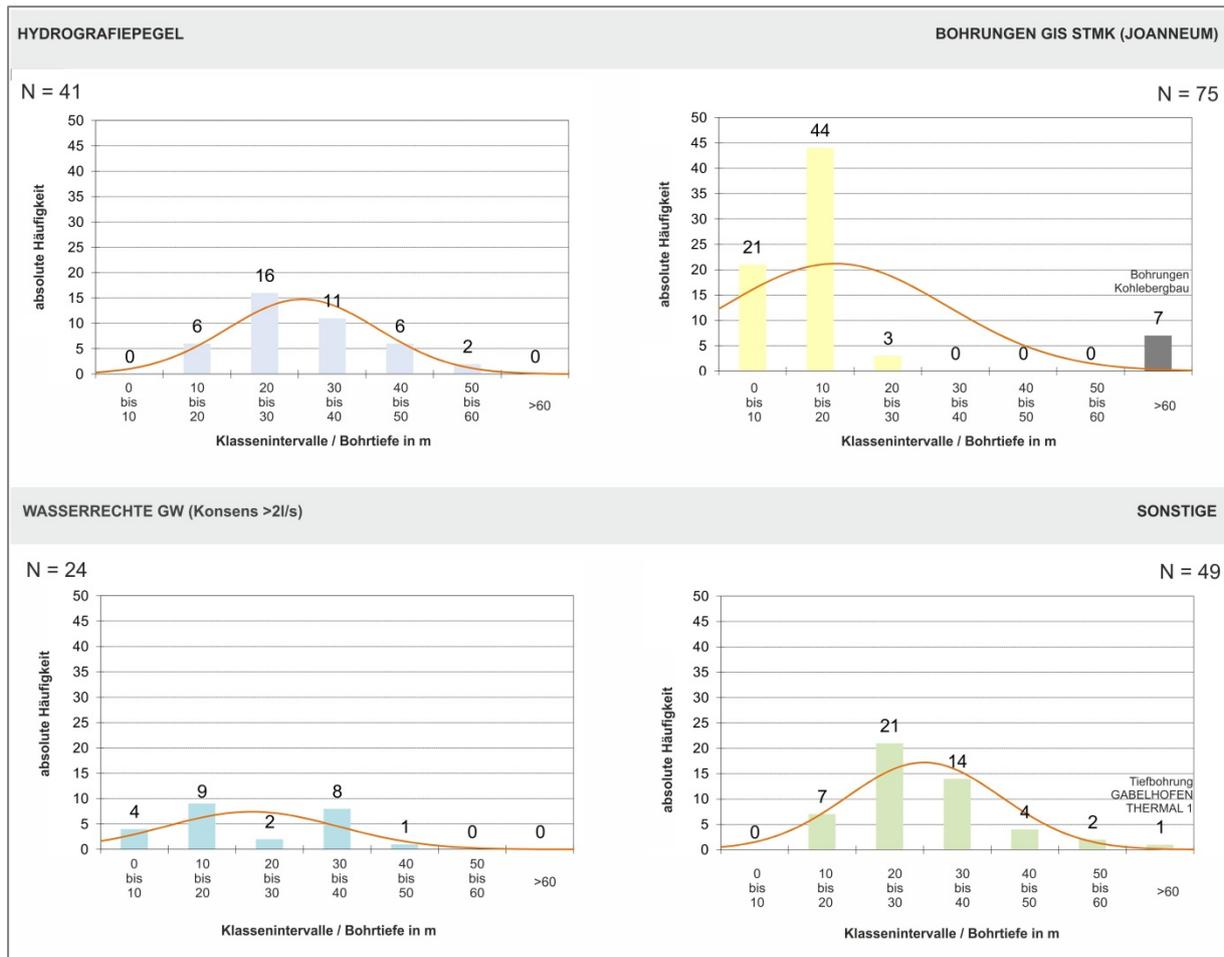


Abbildung 4.18: Tiefen der vorliegenden Bohrungen (mit Schichtprofilen) im Histogramm.

Die erhobenen Bohrprofile wurden im Zuge der Auswertung auch in Hinblick auf die fachliche Qualität der geologischen Aufnahme bewertet und in vier bzw. fünf Güteklassen unterteilt (siehe Tabelle 4.7). Sehr gute Aufnahmen werden der Klasse 1, fachlich ungenügende Aufnahmen der Klasse 3 zugeordnet. Profile ohne geologische Informationen werden nicht bewertet (Klasse 0).

Tabelle 4.7: Klassifizierung der Bohrprofile (n = 385).

QUALITÄTSKLASSE		BESCHREIBUNG	ANZAHL
0	"kein Profil"	Keine Informationen vorliegend	196
1	"sehr gut"	Aufnahme durch Geologen; ausführliche Dokumentation	92
2	"gut"	Aufnahme nicht durch Fachkraft; aber plausible und gute Dokumentation	21
2-3	"mäßig"	Aufnahme nicht durch Fachkraft; lückenhafte, unplausible Dokumentation	33
3	"ungenügend"	Aufnahme nicht durch Fachkraft; sehr grobe Differenzierung und/oder schlechte Dokumentation	43

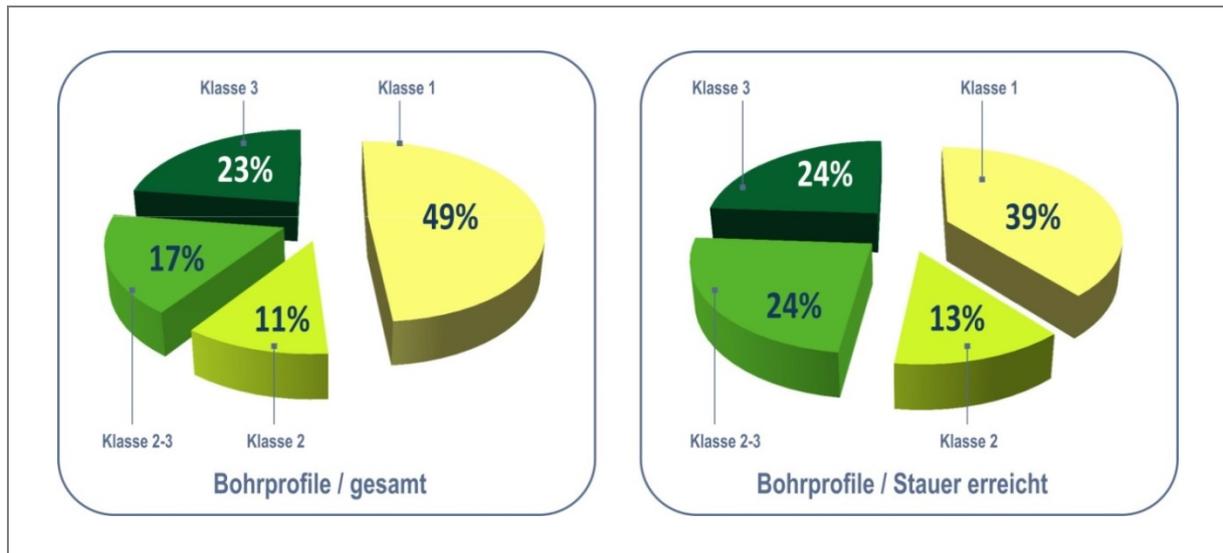


Abbildung 4.19: Qualitative Einstufung der vorliegenden geologischen Bohrprofile.

Eine Darstellung der prozentualen Anteile der Klassifizierung sind in Abbildung 4.19 ersichtlich. Die Güteklasse 1 ist mit rund der Hälfte der Profile am besten besetzt, was hier vor allem auf die große Anzahl von Erkundungsbohrungen (vorwiegend aus dem Straßenbau) zurückzuführen ist. Allerdings weisen diese Bohrungen relativ geringe Tiefen (bis 20 m) auf. Bei den Bohrprofilen der Klassen 2 und 2-3 war eine kritische Betrachtung bzw. häufig eine Interpretationen der angeführten lithologischen Beschreibungen erforderlich. Die Profile der Klasse 3 enthalten im Wesentlichen keine verwertbaren geologischen Informationen.

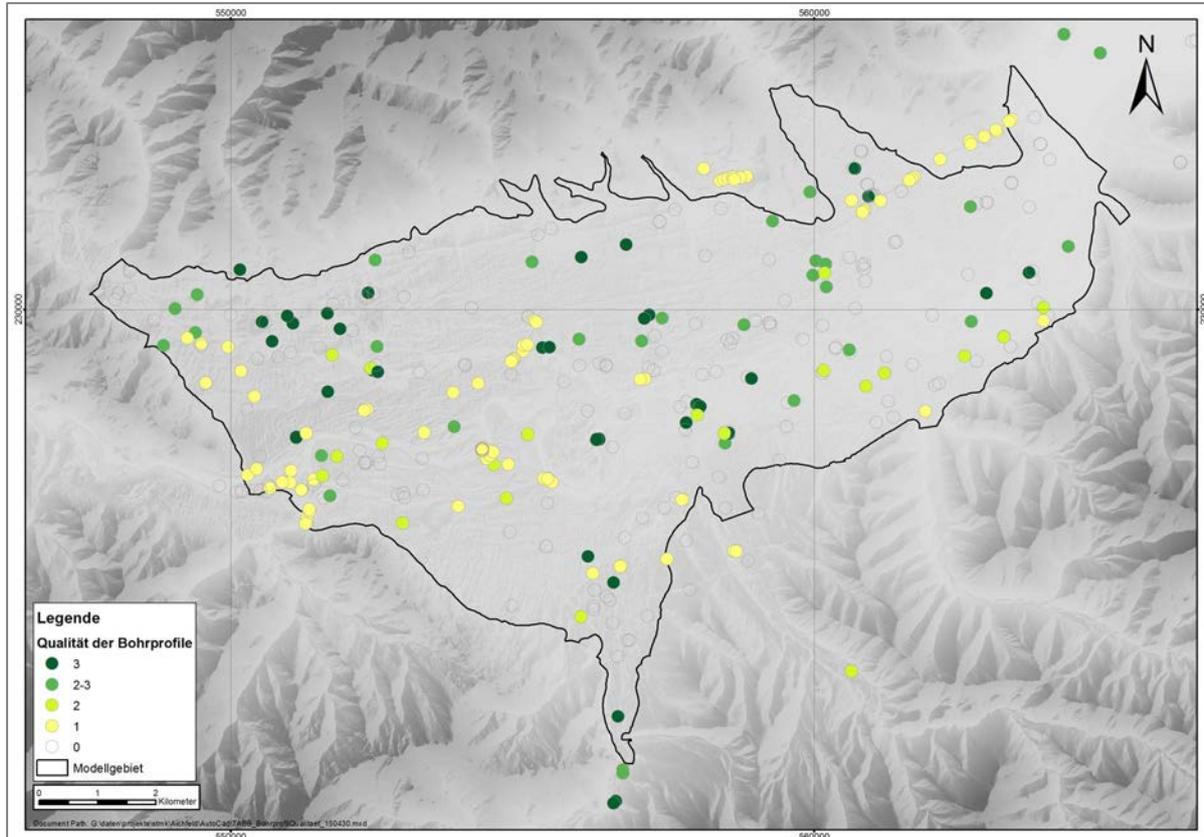


Abbildung 4.20: Klassifizierung der Qualität von Bohraufnahmen (0...kein Bohrprofil, 1...sehr gut, 2...gut, 2-3...mäßig, 3...ungenügend; ausführliche Klassendefinition siehe Tabelle 4.7).

Eine lagemäßige Darstellung aller klassifizierten Bohrungen enthält Abbildung 4.20. Demnach ist die Qualität der geologischen Aufnahmen im Westen höher als im Osten des Grundwasserkörpers. Dies ist in erster Linie auf die dort umgesetzten Infrastrukturprojekte zurückzuführen.

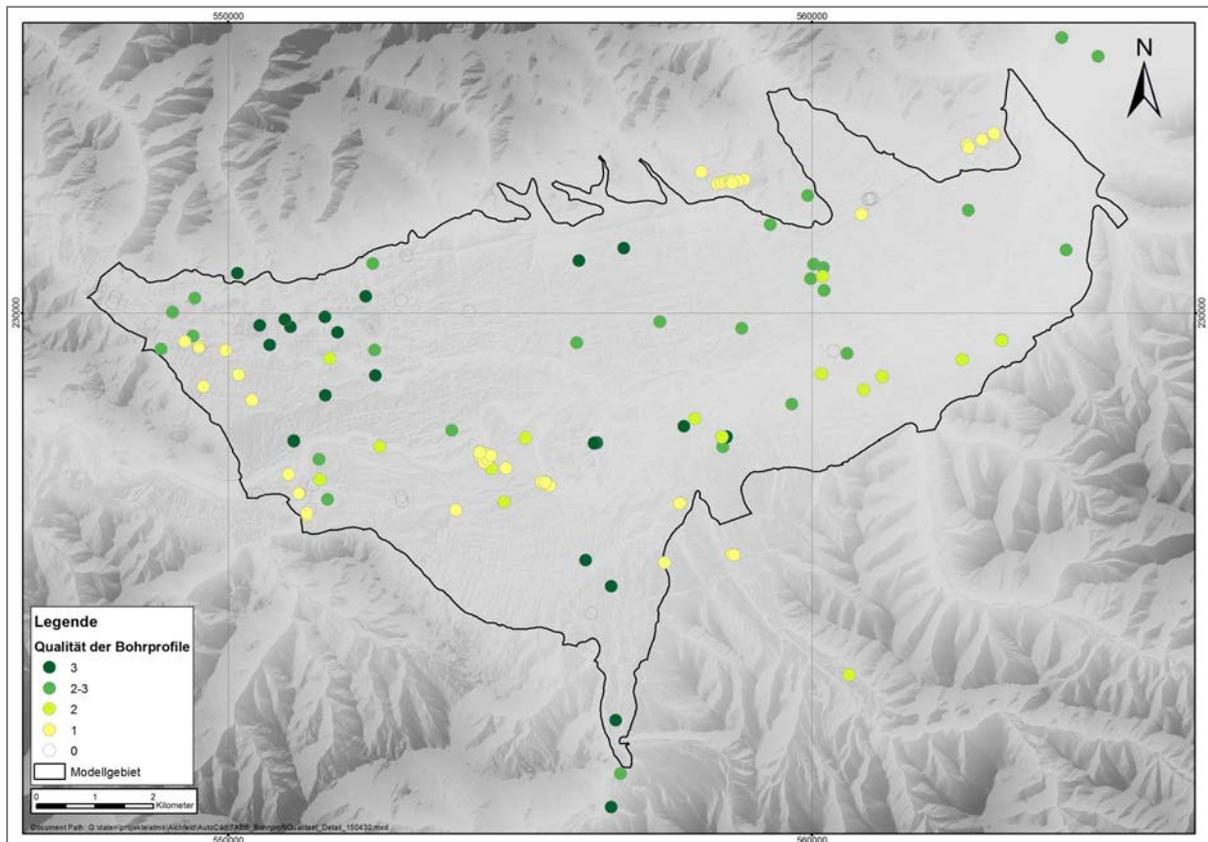


Abbildung 4.21: Klassifizierung der Qualität von Bohraufnahmen mit erreichtem Stauer (0...kein Bohrprofil, 1...sehr gut, 2...gut, 2-3...mäßig, 3...ungenügend; ausführliche Klassendefinition siehe Tabelle 4.7).

In Abbildung 4.21 findet sich eine lagemäßige Darstellung der Aufnahmequalität der Bohrungen, die den Stauer erreicht haben. Hierin ist eine deutliche Ausdünnung der Daten zu erkennen. Die Bereiche mit großen Datenlücken markieren Gebiete mit Unschärfen betreffend die Stauerlage. Die größten Datendefizite befinden sich in den Bereichen:

- Westlich und südwestlich von Fohnsdorf im Raum Aichdorf-Aichfeld: hier liegen nur zwei qualitativ minderwertige Bohrprofile vor
- Nördlich Maria Buch im Raum Murboden
- Knittelfeld und Umgebung

4.5. Aquifergeometrie

4.5.1. Vorhandene Grundwasserstauerkarten

Grundwasserstauerkarten wurden für den gegenständlichen Grundwasserkörper vor allem im westlichen Teil erstellt. Diese Stauerkarten stehen in Zusammenhang mit Kraftwerks- und Wasserversorgungsprojekten. Konkret liegen Stauerkarten von den folgenden Projekten vor:

- ➔ KW Ritzersdorf - Stauerkarte für den NW des Aichfeld (29)
- ➔ Brunnen Fohnsdorf - Stauerkarte für den NW des Aichfeld (28)
- ➔ Brunnen Stahl Judenburg - Numerisches Modell am Westrand des Grundwasserkörpers im Murtal (21)
- ➔ Brunnen Wöllmerdorf - Numerisches Modell für den Westen des Murboden (20)
- ➔ KW Judenburg - Numerisches Modell am Westrand des Grundwasserkörpers im Murtal (24).

4.5.2. Grundwasserstauer Modell Aichfeld-Murboden

Die Konturierung des Grundwasserstauers erfolgte händisch. Dazu wurden die vorhandenen Stauerkarten (siehe Kap. 4.5.1) gemeinsam mit den vorhandenen Bohrinformationen (siehe Kap. 4.4) in einer Arbeitskarte dargestellt.

Bei der Konturierung machte sich das Manko bemerkbar, dass von zahlreichen Grundwasserpegeln des Hydrographischen Dienstes die rudimentärsten Bohrinformationen (z.B. Schichtprofil des Bohrmeisters, Ausbauplan) fehlen. Diese Pegel stellen aber in weiten Gebieten oft den einzigen Untergrund-Aufschluss dar und hätten bei einer entsprechenden Dokumentation eine wichtige Stützstellenfunktion bei der Konstruktion der Aquifergeometrie übernehmen können.

Wenn von den Hydrographiepegeln Untergrundinformationen vorliegen, so handelt es sich dabei nur um Schichtverzeichnisse der Bohrmeister (siehe auch Kap. 4.4.6). Oft sind die Angaben in der geologischen Bearbeitung nicht mehr eindeutig zu interpretieren. Dies geht oft soweit, dass anhand der Beschreibungen nicht einmal der neogene Stauer eindeutig von den quartären Sedimenten zu differenzieren ist. Eine lithologische Zuordnung der Stauergesteine zu Neogen oder metamorphen Basement ist anhand der Angaben ebenfalls meist nicht möglich.

Eine adäquate geologische Aufnahme der Bohrproben hätte zu einem wesentlichen Kenntnisgewinn in Hinblick auf die Aquifergeometrie führen können.

Anders stellt sich die Situation bei den Erkundungsbohrungen für Infrastrukturprojekte (z.B. Straßen- und Kraftwerksbau) dar. Hier wurden die meisten Bohrungen geologisch aufgenommen und dokumentiert. Somit zeichnen sich diese Daten durch eine hohe Belastbarkeit aus. Aufgrund der großen Quartärmächtigkeiten war es bei Bohrungen für Verkehrswege meist nicht notwendig den Grundwasserstauer zu erreichen (vgl. dazu Kap. 4.4.6).

Grundsätzlich war es aber auf Basis der vorliegenden Daten möglich, eine plausible Stauerkarte zu konturieren. Festpunkte der Konturierung waren die anstehenden präquartären Gesteine sowie geologisch eindeutige Informationen aus den Bohrungen. Die Isolinien der Staueroberfläche weisen einen Abstand von 5 m auf (siehe Abbildung 4.22 und Beilage 7).

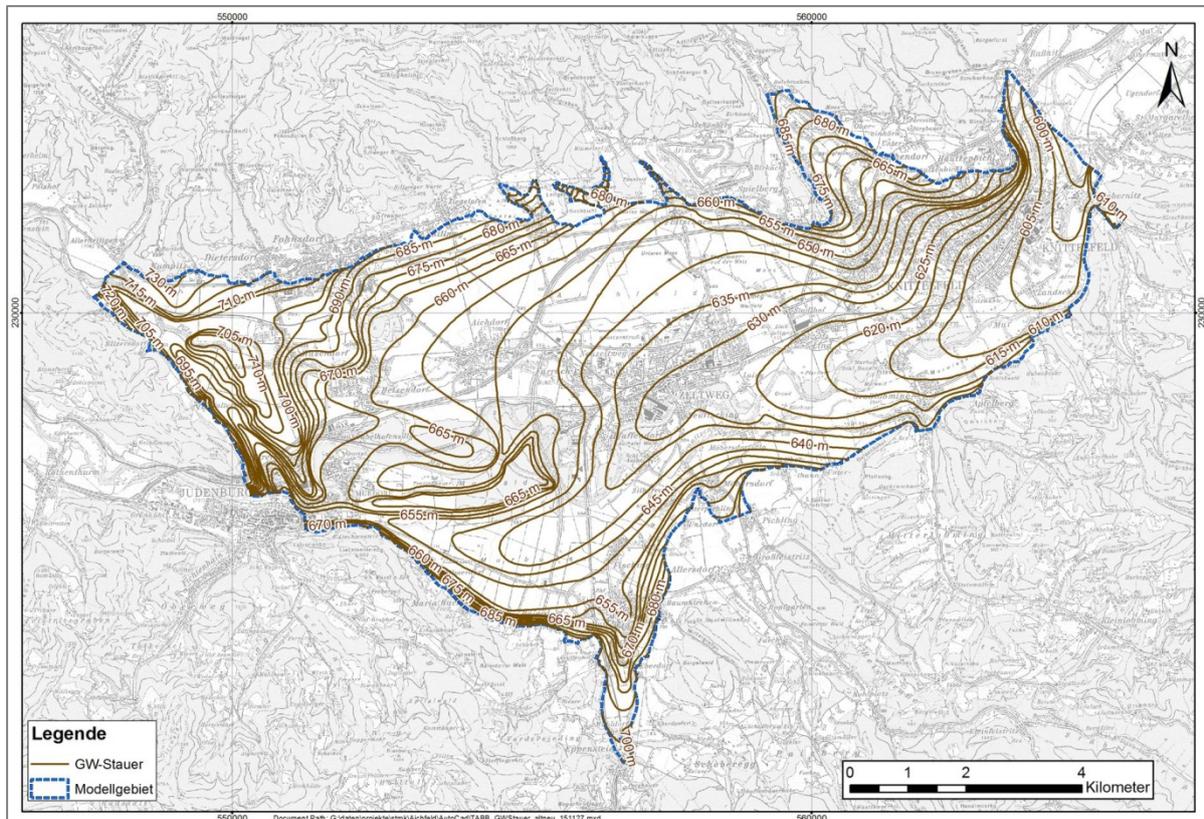


Abbildung 4.22: Grundwassermodell Aichfeld-Murboden - Isolinienkarte des Stauerreliefs.

Wie in Kap. 3 ausgeführt wird, musste die Stauerkarte nach den ersten Kalibrierungsläufen des Modells in einem zweiten Konturierungsschritt lokal angepasst werden, da eine Kalibrierung der Grundwasserspiegellagen von einigen wenigen Messstellen nur durch eine Anpassung der Aquifergeometrie möglich war. Abbildung 4.22 gibt bereits den aktuellsten Stand wieder.

Wie schon aufgrund von Projekten am Westrand des Grundwasserkörpers (GWK) bekannt war, weist der Grundwasserstauer ein tw. stark akzentuiertes Relief auf, die eine Gliederung in Rinnenstrukturen und Hochzonen erlaubt. Lineamentanalysen geben den Hinweis, dass die Untergrundstrukturen Störungsmustern folgen, die auch tektonisch subrezent bis rezent aktiv sind. Diese Bruchzonen sind Teil der sich im Projektgebiet begegnenden aktiven Lavanttal-Pöls- und Mur-Mürz-Störungssysteme (vgl. dazu Kap. 4.3).

So weist das Murtal am westlichen GWK-Rand eine tiefe Rinnenform auf. Einen wesentlichen Hinweis für die Tiefe gibt die für das KW Judenburg niedergebrachte Bohrung KB3/10 (24). Diese Bohrung kontrolliert mit ca. 652 m ü.A. die Rinnentiefe bei Judenburg. Diese Tiefe ist aber plausibel, da der Murtalgletscher, der zur Übertiefung des Tales führte, nur wenige Kilometer westlich von Judenburg endete (Endmoräne bei Grünhübl, siehe Kap. 4.3). Es ist daher zu erwarten, dass sich auch das Entwässerungssystem an das Niveau der Gletscherfront anpasste.

Die Murtalrinne teilt sich im Bereich der Murschleife nach Judenburg in einen nördlichen und südlichen Ast, der durch eine tw. grundwasserfreie Hochzone getrennt wird. Die südliche Rinne folgt dabei dem Talrand und ist anfänglich tief eingeschnitten. Gegen Osten weitet sich die Rinne zu einer Muldenstruktur auf und das Stauergefälle nimmt ab. Die nördliche Rinne ist im Gegensatz dazu nicht so tief und schmal ausgeprägt, wie die südliche Rinne. Genetisch kann die Situation dahin gehend interpretiert werden, dass die nördliche Rinne zuerst erodiert wurde. Erst mit der gletscherbedingten Tieferlegung der Vorflut und tektonischen Bewegungen begann sich die südliche Rinne auszubilden.

Im Osten endet diese markante Hochzone wahrscheinlich mit dem Ausbeiben neogener Sedimente im Bereich Murwald, wo der Ausleitungskanal des KW Fischening verläuft. Hier treten auch die sogenannten Siebenbrunnquellen auf, die eine mittlere Gesamtschüttung von 2,4 l/s aufweisen. (23) schließen bei diesen "Schichtgrenzquellen" auf ein lokales Einzugsgebiet.

Diese Hochzone wurde auch westlich des anstehenden Neogen durch Bohrungen für das KW Fischening nachgewiesen. Eine dieser Bohrungen erschloss den Stauer jedoch in einer größeren Tiefe. Aus diesem Grund wurde die Rinnenstruktur im Murwald weiter Richtung NNW geführt. Alternativ könnte die Rinne nordwestlich der Mur, ungefähr im Bereich der Eisenbahn, verlaufen. Dies würde aber einen ausgeprägten Kolk im Bereich der Hochzone des Murwaldes bedingen.

Ebenso wie im Murtal ist beim Eintritt der Pöls in das Projektgebiet eine bereits bekannte, tw. grundwasserfreie Hochzone vorhanden, die eine Aufgabelung der Paläorinne bedingt. Die westliche Rinne ist relativ schmal und tief ausgebildet, verläuft parallel zum Grundgebirgsrand entlang einer aktiven Störungszone und mündet nördlich von Judenburg in die Rinne des Murtales ein. In dieser Rinne treten Quartärmächtigkeiten von bis zu 70 m auf. Die nördliche Eintiefung des Stauers verläuft ungefähr entlang der Ortschaften Wasendorf und Hetzendorf. Diese ist breiter und weniger steil entwickelt als jene, die über Ritzersdorf streicht. Die Konturierung der Staueroberfläche ist in diesem Bereich aufgrund des starken Reliefs und der im Verhältnis dazu geringen Dichte an qualitativ belegten Aufschlüssen sehr unsicher.

Ungefähr auf Höhe von Farrach vereinigt sich in der Staueroberfläche die Muldenstruktur des Pölstales mit der nördlichen Rinne des Murtales. Ab Zeltweg ist nur mehr eine Rinnenstruktur vorhanden, bzw. es gibt keine Hinweise auf weitere Hochzonen im östlichen Projektgebiet. Aufgrund der geringen Datendichte ist auch hier das Auftreten einer komplexeren Aquifergeometrie nicht auszuschließen.

Die Rinne folgt von Zeltweg ostwärts im Wesentlichen dem südlichen Talrand bzw. dem holozänen Verlauf der Mur. Im Querschnitt ist sie asymmetrisch ausgebildet, d.h. sie weist eine steile Flanke im Süden und einen flacheren Verlauf im Norden auf.

Bei Knittelfeld mündet aus dem Ingeringbachtal ebenfalls eine Rinne ein, deren Verlauf und Tiefe aber aufgrund der geringen Datendichte relativ unsicher ist.

Auch die südlich in das Projektgebiet einmündenden Täler weisen Vertiefungen auf, die durch Bohrungen und Brunnentiefen tw. nachgewiesen werden konnten.

Bisher liegen keine Hinweise auf das Auftreten von Moränen(resten) aus dem Prävürm im gegenständlichen Projektgebiet, die durch fluviatile Ablagerungen überschüttet wurden, vor. Dies kann aber auch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

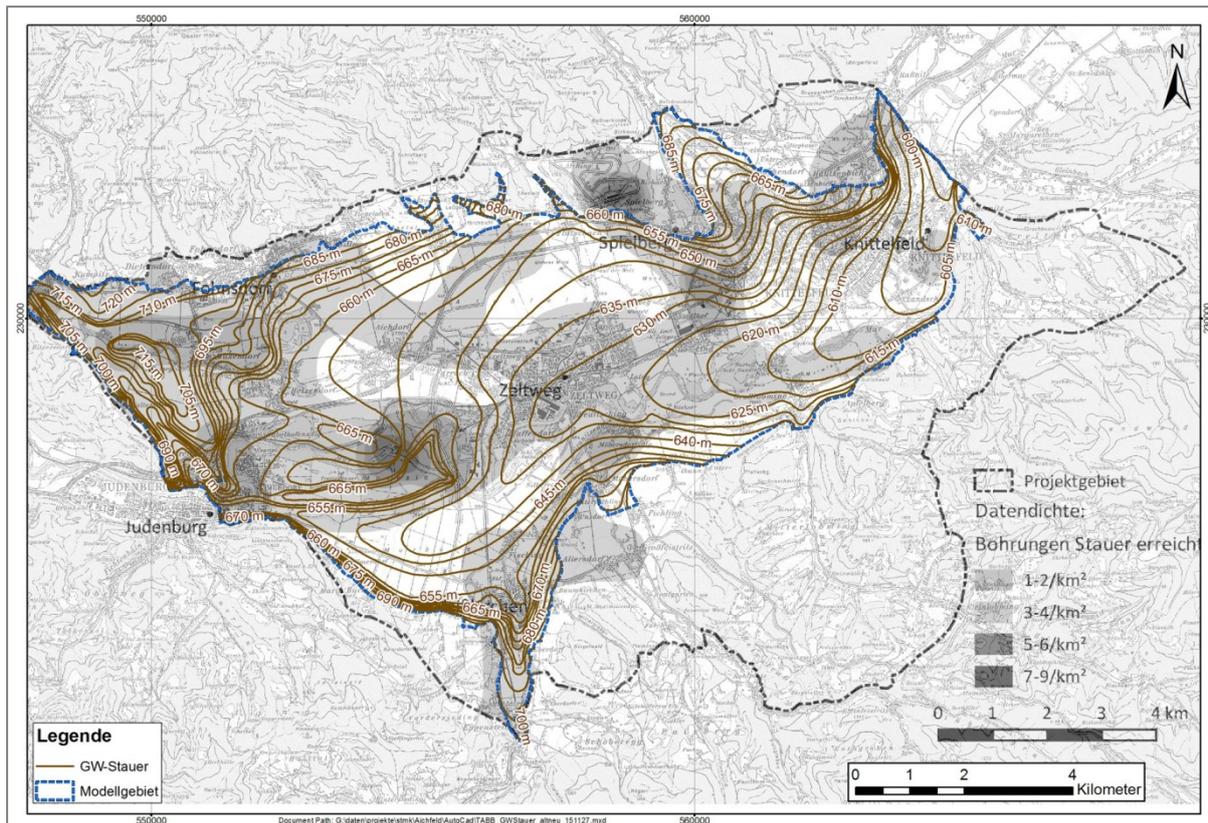


Abbildung 4.23: Grundwassermodell Aichfeld-Murboden - Grundwasserstauer und geologische Informationsdichte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Stauergeometrie natürlich meist dort die größten Unsicherheiten aufweist, wo die Dichte an geologischen Informationen am geringsten ist. Neben der Datendichte erhöht auch die Komplexität des Reliefs die Sicherheit bzw. Belastbarkeit der konturierten Stauerkarte. Um Bereiche mit erhöhten Unsicherheiten darzustellen, wurde in Abbildung 4.23 die Stauerkarte mit der Dichteverteilung jener Bohrungen die den Grundwasserstauer erreicht haben, überlagert.

So können die Bereiche Aichdorf/Hetzendorf und Judenburg/Weißkirchen sowie generell der Raum Knittelfeld bzw. das östliche Modellgebiet als geologisch schlecht erkundet ausgewiesen werden. Die Staueroberfläche westlich von Fohnsdorf weist demgegenüber eine höhere Aufschlussdichte auf, ist aber bedingt durch die komplexe Reliefstruktur als ebenfalls nicht ausreichend belastbar erkundet zu bewerten. In Kap. 8 werden Standorte für die zukünftige geologische und hydrogeologische Erkundung zur Verbesserung der Datenlage ausgewiesen.

4.5.3. Aquiferdeck- und Zwischenschichten

Anhand der Bohrprofile (siehe Kap. 4.4) wurden analog zur Erfassung des Stauers in erster Linie als schluffig beschriebene Bereiche, untergeordnet aber auch Konglomeratlagen, ausgewiesen, die innerhalb des Aquifers als geringer durchlässig einzustufen sind. Ebenso wurde auf Basis der geologischen Informationen versucht, Deckschichten am Top des Aquifers – wenn möglichst auch in ihrer Mächtigkeit – zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Auswertungen finden sich in Tabelle 4.8 und Tabelle 4.9, getrennt nach der Herkunft der Bohrinformationen, zusammengefasst.

Tabelle 4.8: Aquiferdeck- und zwischenschichten in den Hydrografiepegeln und Brunnen.

AQUIFERDECK- UND ZWISCHENSCHICHTEN (Hydrografiepegel und Brunnen)							
BOHRUNG			AQUIFER				
ART	BEZEICHNUNG		DECKSCHICHT	ZWISCHENSCHICHTEN			Lithologie
	NR/PZ/HLA	Name	Mächtigkeit m	Tiefe		Mächtigkeit	
				von m	bis m	m	
HYDROGRAFIEPEGEL	HLA_2381	2381_TIEFENBACH	1,6				
	HLA_2385	2385_KUMPITZ, PG60804102	4,2				
	HLA_23892	23892_HETZENDORF	1,2	14,5 ?	27,0 ?	12,5 ?	Kies, stark schluffig, dicht
	HLA_23913	23913_HETZENDORF	2,8	21	25,4	4,4	Schluff, schwach kiesig/steinig
	HLA_23953	23953_AICHDORF	0,4	9	11,5	2,5	zzgl: 682,2-672; 671-669,6; Kies/Konglomerat
	HLA_23974	23974_FOHNSDORF	1,8	28,6	39	10,4	zzgl: 690,2-687,2; 682,2-672,0; alle Kies, schluffig, sandig, steinig, dicht
	HLA_23976	23976_FOHNSDORF, PG60804222	5,6	20	25,4	5,4	Kies, stark schluffig, sandig, steinig, dicht
	HLA_2422	2422_MÜHLDDORF, PG60803132	1,8				
	HLA_2431	2431_FARRACH	4,2	15,9	23,6	7,7	Feinsand, Schluff mit Kieslage (M = 1m)
	HLA_2434	2434_WEISSKIRCHEN, PG60823122	1,7	16,4	17	0,6	Schluff, schwach sandig-kiesig
	HLA_2446	2446_ZELTWEG, PG60824112	3,2				
	HLA_2447	2447_FLATSCHACH	0,0	21,1	26,5	5,4	Kies, sandig, schluffig
	HLA_2464	2464_FEISTRITZ, PG60809232	2,0				
	HLA_24821	24821_GROSSLOBMING_BIV	0,8				
	HLA_24991	24991_SPIELBERG1	1,0	12,8	14,9	2,1	Feinsand, schwach schluffig, kiesig
	HLA_24891	24891_SPIELBERG	3,9				
	HLA_NN	PAUSENDORF S1	3,9	12,7	16,8	4,1	Schluff, sandig, kiesig, graubraun, fest
	HLA_NN	PAUSENDORF S2	1,0	7,9	10	2,1	Kies, schluffig & Schluff, kiesig
	HLA_24992	24992_PAUSENDORF	1,2				
	HLA_NN	PAUSENDORF S4	0,8	11,8	14,5	2,7	Schluff, sandig, kiesig, graubraun, fest
	HLA_25091	25091_LIND, PG60905192	0,8				
	HLA_24931	24931_LIND, PG60824202	0,6				
	HLA_25181	25181_APFELBERG	1,0				
	HLA_25372	25372_APFELBERG	1,2				
	HLA_25313	25313_WEYERN	0,9				
	HLA_25351	25351_KNITTELFELD	0,3				
	HLA_25511	25511_KOBENZ	2,5				
	HLA_25631	25631_FEISTRITZ	2,0				
	HLA_2581	2581_FEISTRITZ	0,7	18,2	18,7	0,5	Feinsand, schluffig
	HLA_2564	2564_ST.LORENZEN_UNTERBIRKA	1,4				
	HLA_2568	HLA_2568_PICHL	0,7				
	HLA_24951	24951_LAING	0,5				
	HLA_2550	2550_ST.LORENZEN	2,2				
HLA_2435	2435_RATTENBERG	1,2	21,6	22,5	0,9	Kies, stark schluffig, sandig !Wasserzutritt!!!	
BRUNNEN	8/1108	Brunnen 1	2,2				
	8/1145	Nutzwasserfassung 1	k.D.	5,5	6	0,5	"undurchlässige Schicht", ca. 0,5 m mächtig
	8/12	Rohrbrunnen 12/1	0,9	17,5	19,05	1,55	Konglomerat; auch bei 10,65-11,13 m
	8/12	Rohrbrunnen 12/2	0,8	17,1	19,8	2,7	Konglomerat; auch weitere Kongl.-Horizonte
	8/1821	Entnahme Bohrbrunnen	1,0				
	8/1821	Rückleitung - Schluckbrunnen	2,0				
	8/267	Tiefbrunnen 2	2,2				
	8/267	Tiefbrunnen 1	2,2				
	8/330	Schachtbrunnen 2 (Sportzentrum)	0,0	20,4	22,4	2	Konglomerat; im Liegenden auch kiesig
	8/770	Schachtbrunnen Rattenberg	1,5	28	30	2	Kies, schluffig-tonig, im Liegenden Wasser?
	9/267	Uitzbrunnen	2,0	12	14,4	2,4	festgelagerter grober schluffiger Kies mit Steinen (Kongl?)
	9/267	Brunnen I (Sachendorf-Maßweg)	2,0				
9/457	Entnahmebrunnen GW-WG Ennstal	1,0					

Zwischenschichten konnten in ca. einem Drittel der Bohrprofile ausgewiesen werden (Tabelle 4.8 und Tabelle 4.9). Die Mächtigkeiten der Zwischenschichten variieren mit Werten zwischen 0,5 m und 8 m stark, was aber zum Teil auch auf die mangelhafte Qualität der geologischen Bohraufnahmen zurückzuführen ist. Konglomeratlagen wurden in ca. zehn Bohrprofilen beschrieben, wobei diese Verfestigungen auf die lokalen Bedingungen zurückzuführen sind.

Tabelle 4.9: Auferdeck- und zwischenschichten in den Kategorien "Straßen- und Erkundungsbohrungen GIS Stmk." bzw. "Sonstige".

AQUIFERDECK- UND ZWISCHENSCHICHTEN (Straßen-/Erkundungsbohrungen, Sonstige)						
BOHRUNG ART	BEZEICHNUNG		AQUIFER			
	NR/PZ/HLA	Name	DECKSCHICHT	ZWISCHENSCHICHTEN		
			Mächtigkeit m	Tiefe von m	bis m	Mächtigkeit m
STRÄßEN-/ERKUNDUNGSBOHRUNG JOANNEUM	150014	293	2,0			
	152896	A1/1	0,4	7,1	12	4,9 Kies sandig, steinig, schwach schluffig, dicht, feucht
	152897	A1/2	0,5	7,5	15	7,5 Kies, schwach schluffig, sandig, dicht, feucht
	152898	A2	2,0			
	152899	A2/1	0,3			
	152900	A2/2	0,8			
	152901	A3/1	2,9			
	152902	A3/2	1,1			
	152903	A3/3	0,7			
	152904	A3/4	2,1			
	152905	A4/1	1,5			
	152906	A5/2	0,8			
	152907	J1	3,0			
	152908	J1/1	0,3			
	152909	J1/2	2,3			
	152910	J2	1,7			
	152911	J2/1	0,3			
	152912	J2/2	0,8			
	152913	J3/2	0,8			
	152914	Z2/B	0,8	4,5	10,6	6,1 Konglomerat mit Kieslagen
	152915	Z3/B	1,2	6,7	10	3,3 5, X, G tw. Verfestigt (ZS oder Stauer?)
	154372	KnB	0,4			
	154373	K1Ba	2,0			
	154374	K1Bb	5,7			
	154379	K5B	4,0	7,4	10,00	2,6 Sand, schluffig, kiesig, schwach steinig wasserführend
	154380	K6B	1,0			
	154381	K7Ba	0,8			
	154382	K7Bb	1,5			
	154383	K8B	0,4			
	154384	K9Ba	0,4			
	154385	K9Bb	0,0	5,1	6,3	1,2 Kies bis Sand, schluffig, steinig, wasserführend
	154386	K9Bc	0,9			
	154473	77.4Bb	3,4			
	154474	77.5B	0,4			
	155297	504/1B	5,1			
	155298	504/2B	0,4	5,4	6,9	1,5 Kies, Feinsand, schluffig, sandig, im Lieg. Wasserf.
	156282	B1	3,2			
	156283	B2	4,3			
	158282	503/1B	1,6			
	156472	Karl August Schacht	2,5			
SONSTIGE	S6		0,0	6,8	7,6	0,8 zahlreiche Zwischenschichten
	STAHL-JU-E1		2,1			
	BOHRUNG I - GROßLOBMING		1,0			
	BOHRUNG II - PFARRFELD		0,6			
	BOHRUNG III - EINÖDHOF		1,0			
	BOHRUNG IV - MURHOFWALD		1,0			
	BOHRUNG V - MÖBERSDORF		1,8			
	BOHRUNG VI - NEUFISCHING		1,4			
	BOHRUNG XII - MURHOF		1,2			
	FILTERRORBRUNNEN GROßLOBMING		2,0			
	KW FISCHING - B6-87		2,5	12,8	13,4	0,6 Konglomerat
	KW FISCHING - B10-87		0,2	21,5	24,2	2,7 "Blockwerk"
	KW FISCHING - FT1-83		0,5			
	KW FISCHING - FK1-83		0,2	8	8,3	0,3 Konglomerat
	KW FISCHING - FK2-83		0,3			
	KW FISCHING - FK2a-83		0,1			
	KW FISCHING - FK3-83		0,1			
	KW FISCHING - FK4-83		0,2			
	KW FISCHING - FW1-83		1,4			
	KW FISCHING - FW2-83		0,8			
	KW FISCHING - FW3-83		1,4			
	KW FISCHING - FW4-83		0,6			
	KW FISCHING - FW6		0,0	8,4	10	1,6 Konglomerat
	KW FISCHING - FW7		0,5	17	18	1 Kies, schluffig, sandig
	KW FISCHING - FW8		1,0			
	KW FISCHING - FWP1		0,5			
	KW FISCHING - FK5		1,0	6	6,8	0,8 Konglomerat
	KW FISCHING - FU1/5		2,5	> 18,0	20	2 (<641,6 m ü.A.) sandiger Kies, gering schluffig, steinig
	KB6		3,8	9,7	10,5	0,8 Konglomerat & Mittelsand, gering schluffig
	RITZ 2		0,0	21,5	24,00	2,5 Sand, dicht
RITZ 6		0,9	9,1	13,80	4,7 Sand, kiesig, schluffig, dicht & kernfähig	

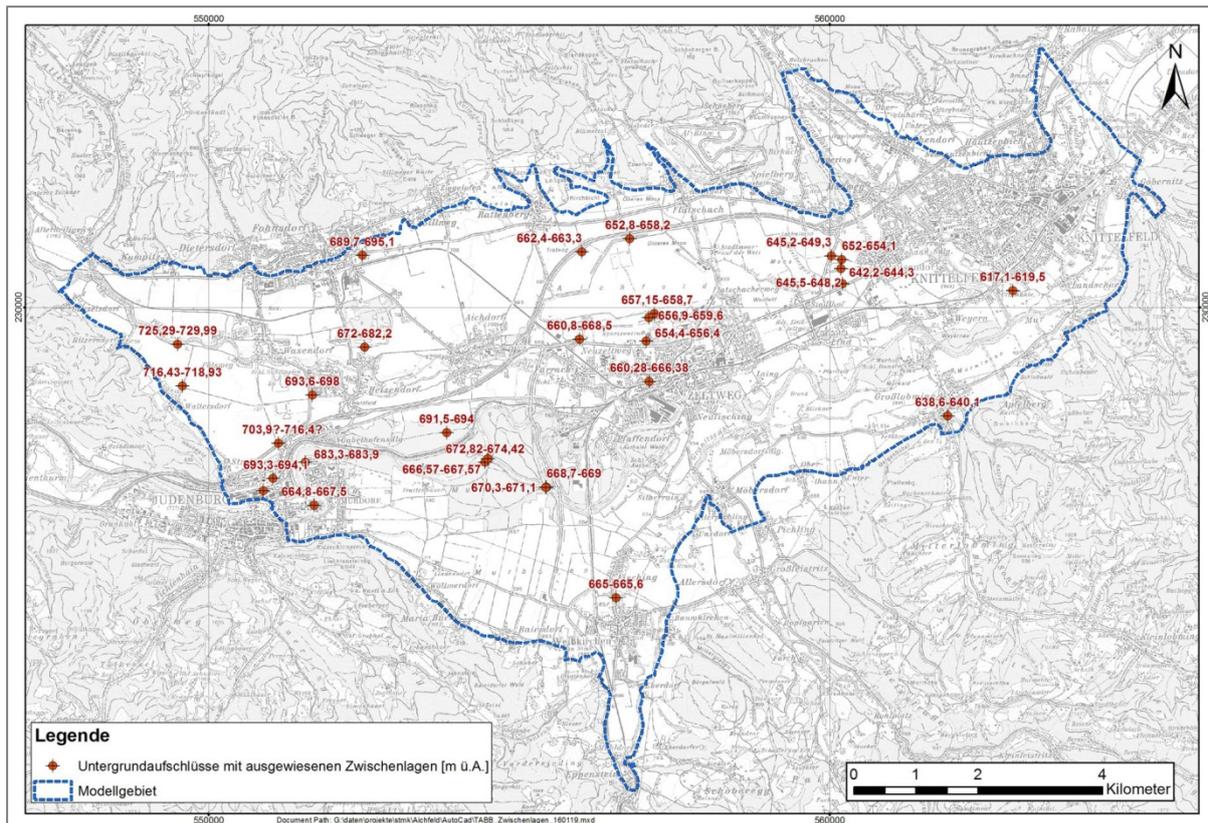


Abbildung 4.24: Lage der Bohrungen mit ausgewiesenen minderdurchlässigen Zwischenschichten.

Abbildung 4.24 zeigt die Lage von jenen Bohrungen im Projektgebiet, in deren Bohrprofilen Zwischenschichten ausgewiesen werden konnten. Demnach treten Zwischenlagen häufiger im Westen und Norden als im Süden und Osten des Untersuchungsgebietes auf. Geologisch lässt sich diese Beobachtung dahingehend erklären, dass im Osten die holozänen Sedimente eine weitaus größere flächenhafte Verbreitung aufweisen als im Westen (siehe Abbildung 4.6). Im Unterschied zu den pleistozänen Terrassenablagerungen fehlen in der Regel feinklastische Zwischenlagen in den Sedimenten der Austufe.

Die Dominanz einer bestimmten Tiefe der Zwischenschichten oder geologischen Positionierung konnte nicht belegt werden. Die Konturierung einer Mächtigkeitskarte der Zwischenschichten war aufgrund der Datenlage bzw. der Aufnahmequalität nicht möglich.

Aquiferdeckschichten konnten praktisch in jedem Bohrprofil ausgewiesen werden (Tabelle 4.8 und Tabelle 4.9). Die Mächtigkeiten dieser Deckschichten schwanken lokal sehr stark, was neben geologischen Ursachen auch auf die mangelnde Aufnahmequalität der Bohrprofile sowie anthropogene Einflüsse (Abtragungen) zurückzuführen ist. Eine Regionalisierung bzw. Konturierung der Mächtigkeiten der Deckschichten war ebenso wie bei den Zwischenschichten aufgrund der Variabilität nicht möglich.

4.6. Grundwasserspiegeldaten der Hydrografiepegel

Am 20.07.2013 wurden vom Referat Hydrografie (Abteilung 14 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung) freundlicherweise sämtliche Grundwasserspiegeldaten aller im Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden in Beobachtung stehenden bzw. beobachteten Grundwassermessstellen übermittelt. Diese Grundwasserspiegellagen stellen eine wichtige Eingangsgröße bei der numerischen Modellkalibrierung dar (siehe 7.5).

Die im ASCII-Format erhaltenen Daten wurden in das Programm Excel importiert und in der Folge Ganglinien erstellt. Die Daten im Excel-Format sind der Daten-DVD des Zwischenberichts (27) zu entnehmen.

Die Grundwasserganglinien sind in ihrem Trend lokal zum Teil sehr unterschiedlich ausgebildet und können daher auch nicht eindeutig korreliert werden. Dies kann natürlich auf unterschiedliche lokale Einflussfaktoren, wie die unmittelbare Nähe zu einem Vorfluter, zurückgeführt werden, aber so zeigen einige Messstellen hydrogeologisch völlig unplausible Ganglinien. Auf mögliche Ursachen wird weiter unten eingegangen.

Abbildung 4.25 zeigt jedenfalls die Ganglinien von zwei, im zentralen Murtal im östlichen Untersuchungsgebiet (HLA 2507, Pfarrfeld zwischen Zeltweg und Knittelfeld; HLA 25372: östlich von Knittelfeld) gelegenen Messstellen, die trotz ihrer Entfernung eine gute Korrelation aufweisen. Die Grundwasserschwankungsbreite beträgt ca. 1,5 m bzw. im Extremfall ca. 2,0 m, wobei der Verlauf das hydrologische Jahr gut wiedergibt.

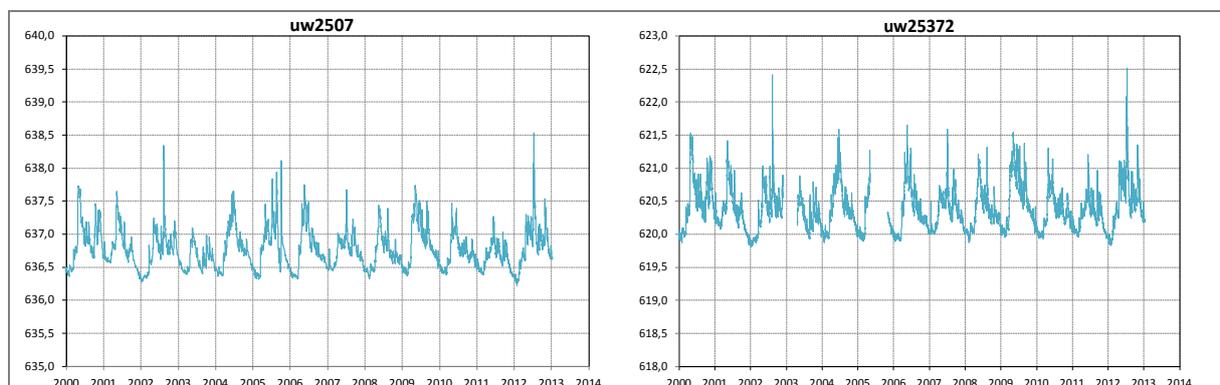


Abbildung 4.25: Grundwasserganglinien der Messstellen HLA 2507 und HLA 25372.

In der Grundwasserganglinie der Messstelle HLA 2417 (bei Pfaffendorf, südlich von Zeltweg) setzt sich der oben beschriebene Trend in Richtung Westen fort (siehe Abbildung 4.26). Schwankungsbreite und Akzentuierung korrelieren mit den Messstellen im östlichen Untersuchungsgebiet. In Abbildung 4.26 ist ergänzend die Ganglinie der mit einer Entfernung von ca. 700 m zu HLA 2417 am nächsten gelegenen Messstelle HLA 2413 dargestellt. Diese Ganglinie repräsentiert mit einer Schwankungsbreite von ca. 0,2 m exemplarisch eine der nicht plausiblen Ganglinien im Untersuchungsgebiet.

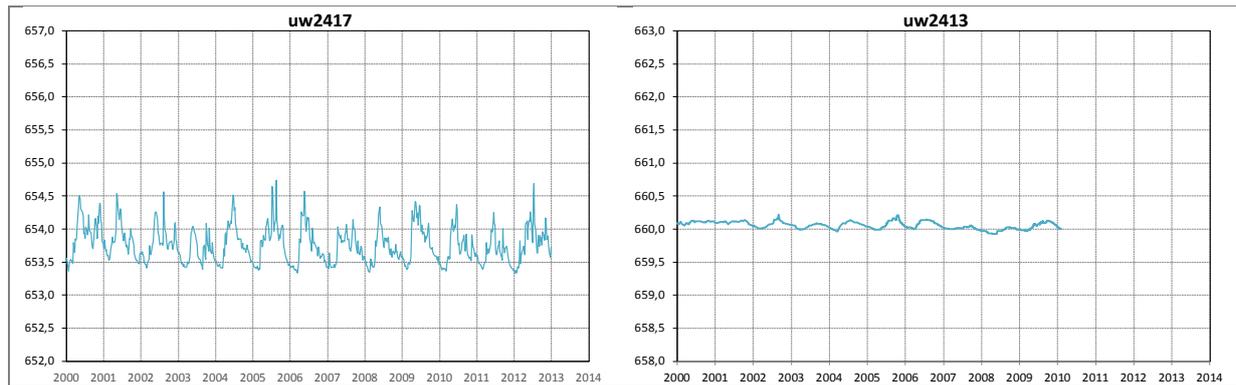


Abbildung 4.26: Grundwasserganglinie der Messstellen HLA 2417 und HLA 2413.

Im Murtales weiter in Richtung Westen ändert sich die Akzentuierung der Trendlinien gegenüber den Messstellen im zentralen und östlichen Projektgebiet. In Abbildung 4.27 finden sich die repräsentativen Ganglinien der Messstellen HLA 23952 (östlich von Hetzendorf) und HLA 23954 (nordöstlich von Murdorf). Die Schwankungsbreite liegt bei ungefähr 1,5 m.

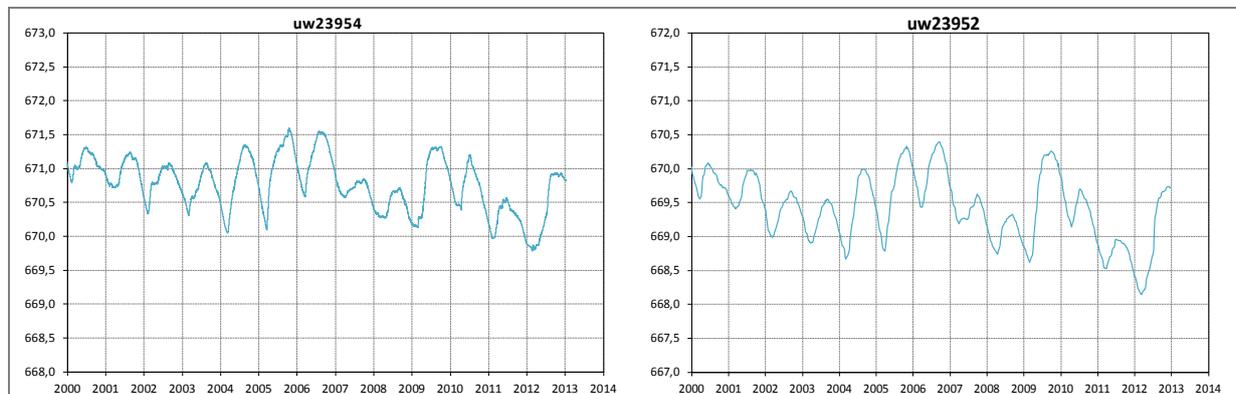


Abbildung 4.27: Grundwasserganglinie der Messstellen HLA 23954 und HLA 23952.

Grundwassermessstellen, die im Einflussbereich der in das Aichfeld-Murboden einmündenden Seitenzubringer (Pöls, Granitzenbach, Feistritz usw.) liegen, weisen Ganglinien auf, die von jenen des Murtales abweichen können. In Abbildung 4.28 sind die Ganglinien der westlich von Fohnsdorf gelegenen Messstellen HLA 2387 und HLA 2393 dargestellt.

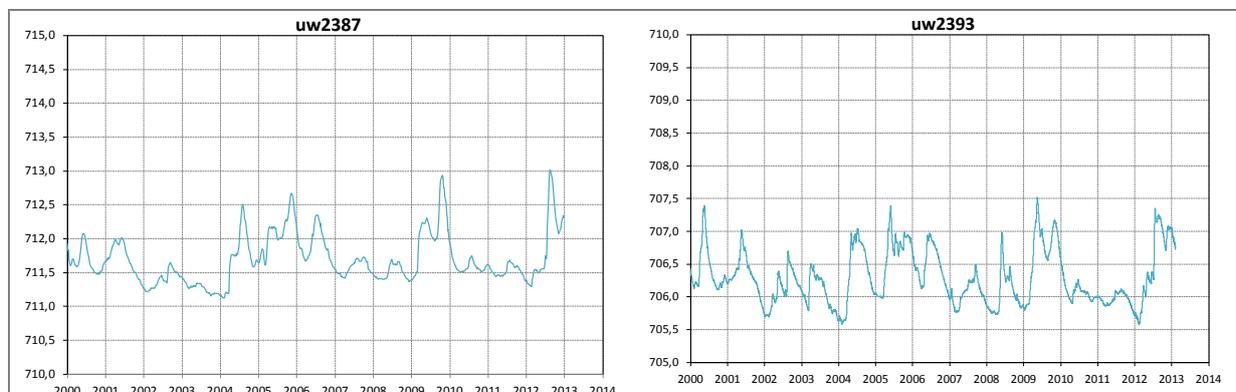


Abbildung 4.28: Grundwasserganglinie der Messstellen HLA 2387 und HLA 2393.

Wie oben erwähnt, weisen einige der Hydrographiemessstellen nicht plausible Ganglinien auf. Dies kann mehrere Gründe haben. So dürften einige Messstellen, von denen zumindest eine Bohrmeisteraufnahme vorliegt, ausschließlich in neogenen Sedimenten ausgebaut worden sein. Gemessen wird in derartigen Fällen ein Wasserspiegel im Sumpfrohr. Dies dürfte z.B. bei den Messstellen HLA 23831 (Kumpitz) und HLA 2480 (Großlobming) der Fall sein (siehe Abbildung 4.29).

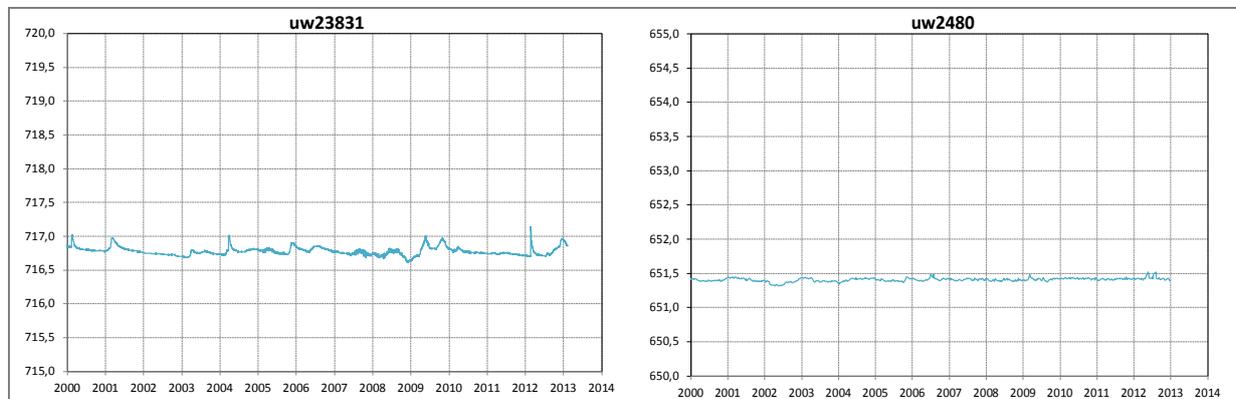


Abbildung 4.29: Grundwasserganglinie der Messstellen HLA 23831 und HLA 2480.

Weiters befinden sich Grundwassermessstellen in ausgewiesenen Hochzonen der Staueroberfläche, deren Ganglinien aufgrund einer ausschließlich diffusen Sickerwasserführung keine Dynamik aufweisen.

Außerdem liegen Daten von Grundwassermessstellen vor, die die lokalen Grundwasserbegleitströme von Bächen in Neogenhochlagen repräsentieren. Diese lokalen Grundwasserspiegellagen liegen teilweise um bis zu 10 m höher als der Grundwasserspiegel im angrenzenden Talgrundwasserleiter des Aichfeld-Murboden.

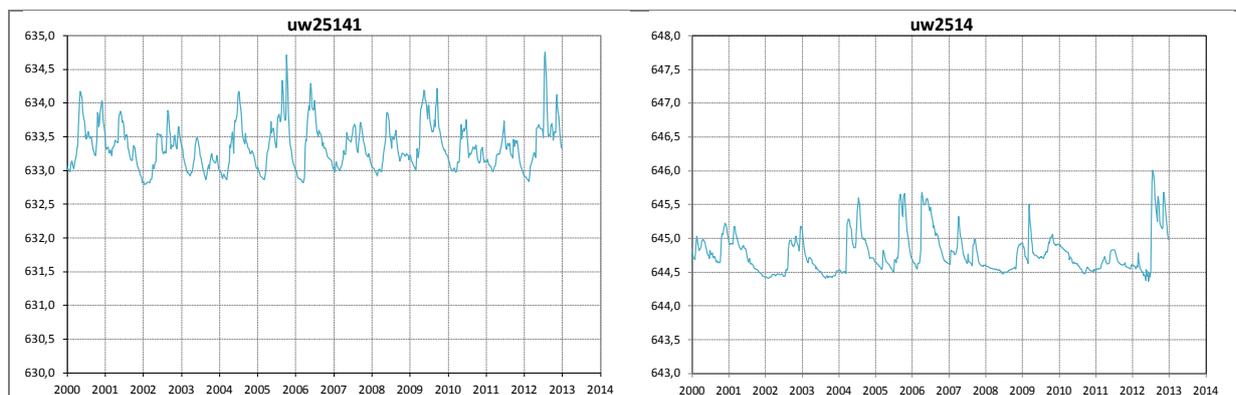


Abbildung 4.30: Grundwasserganglinie der Messstellen HLA 25141 und HLA 2514.

Abbildung 4.30 gibt eine derartige Situation wieder. Die beiden Messstellen sind westlich von Großlobming situiert und weisen bei einer Entfernung von 250 m eine Differenz im Grundwasserspiegel von rund 12 m auf. Abgesehen von diesem Höhenunterschied unterscheiden sich diese beiden Messstellen auch in ihrer Dynamik. Dies weist auf verschiedenen Grundwassersysteme hin. Die Messstelle HLA 25141 repräsentiert dabei den zu untersuchenden holozänen Talgrundwasserleiter und korreliert auch mit den in Abbildung 4.25 dargestellten Ganglinien im östlichen Untersuchungsgebiet. Die Messstelle HLA 2514 dürfte ihr hydrogeologisches Einzugsgebiet in den pleistozänen Terrassenablagerungen haben, wobei dieses lokale Grundwassersystem geologisch bedingt vom Talgrundwasserleiter hydraulisch abgekoppelt ist. Auf-

grund dieser Situation sind an der Terrassenkante zwischen den beiden Messstellen auch Quellaustritte zu erwarten

Meist fehlen jedoch gerade von Pegeln mit auffälligen Ganglinien die Profile und Ausbaupläne, um eine entsprechende hydrogeologische Plausibilitätsprüfung durchzuführen. Derartige Messstellen wurden nicht zur Kalibrierung herangezogen.

Da eine Plausibilitätsprüfung der Grundwasserdaten der Hydrographiemessstellen im Auftrag nicht vorgesehen war und auch den Umfang der zu erbringenden Leistungen weit überschritten hätte, wird an dieser Stelle eine hydrogeologische Plausibilitätsprüfung und eine Untersuchung der Funktionsfähigkeit aller aktuell als Messstellen im Einsatz befindlichen Grundwasserpegel empfohlen. Dazu empfiehlt sich in einem ersten Schritt die Durchführung einer Kamerabefahrung, in der der Zustand und die Lage der Filterstrecke überprüft werden.

In einem nächsten Schritt sind von Messstellen ohne geologische Profile geophysikalische Messungen anzuraten, anhand derer zumindest feinklastische und grobklastische Horizonte unterschieden werden. Eventuell wäre es damit auch möglich den Stauer zu erkunden.

Weiters sind auch hydraulische Untersuchungen an den Messstellen anzuraten, einerseits um den Ausbauzustand zu überprüfen, andererseits um Durchlässigkeitsbeiwerte zu generieren, die nur in geringer Zahl vorliegen (siehe Kap. 4.7). Es liegen keine Dokumentationen zur ordnungsgemäßen Entsandung der Messstellen vor und es ist daher nicht eindeutig belegt, inwieweit die Grundwasserpegel an den Aquifer angeschlossen sind. Aufgrund des Alters der Pegel sind auch Alterungsprozesse, die zu einer Herabsetzung der Filterdurchlässigkeit und damit zum Auftreten von hohen Brunnenwiderständen führen können, möglich,

Darüber hinaus wäre auch das Bezugsniveau der Messungen zu prüfen. Auch hier gibt es Indizien, dass dieses nicht immer korrekt ist.

4.7. Aquiferdurchlässigkeiten

Aus den vorhandenen Unterlagen und Dokumenten (in erster Linie von Bohrungsdaten und Wasserrechten) wurden die aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) entnommen. Eine fachliche Überprüfung und Qualitätsbewertung der aus verschiedenen Projekten entnommenen Durchlässigkeiten und ihrer Ausgangsdaten war nicht vorgesehen und wurde daher auch nicht durchgeführt. Die k_f -Werte finden sich in Tabelle 4.10 aufgelistet.

Tabelle 4.10: Auflistung von k_f -Werten aus den erhobenen Unterlagen.

HYDRAULISCHE DURCHLÄSSIGKEITEN						
NAME	BOHRTIEFE	Art	k_f -Wert	AQUIFER	Kommentar	LFD. #
BOHRUNG I - GROßLOBMING	20,6 m	gG, X, s	$5,4 \times 10^{-3}$			1
BOHRUNG II - PFARRFELD	21,1 m	G, x	$6,7 \times 10^{-3}$			2
BOHRUNG III - EINÖDHOF	19,5 m	G, s, X	$1,5 \times 10^{-2}$			3
BOHRUNG IV - MURHOFWALD	19,8 m	G, S, X	$6,2 \times 10^{-3}$			4
BOHRUNG V - MÖBERSDORF	13,5 m	G, X, s	$4,4 \times 10^{-4}$			5
BOHRUNG VI - NEUFISCHING	18,5 m	G, S, x	$5,3 \times 10^{-3}$			6
BOHRUNG 24821 - BLICKNER	19,0 m	G, S	$4,3 \times 10^{-3}$			7
FILTERRORBRUNNEN GROßLOBMING	19,6 m	G, S, x	$8,0 \times 10^{-3}$			8
BR SPIELBERG	k.A.		$3,5 \times 10^{-3}$			9
PZ 8/770 BRUNNEN IV	45,1 m	gG, X	$2,2 \times 10^{-3}$		(Aufspiegelung: $2,8 \times 10^{-3}$)	10
PZ 8/770 BRUNNEN VII	29,5 m	gG, s, t	$1,2 \times 10^{-3}$		(Aufspiegelung: $3,0 \times 10^{-3}$)	11
PZ 8/770 BRUNNEN X	33,0 m	Kies, steinig (H: t)	$7,5 \times 10^{-4}$		(Aufspiegelung: $9,0 \times 10^{-4}$)	12
20/26 Entnahme Grundwasser	3,3 m	S, G	1×10^{-2} bis -3		Literatur	13
20/5 Brunnen 1-Spedition	36,0 m	S, gS, mg-gg, X	1×10^{-3}		PV 2. u. 4.03.2010, max. 11,7 l/s Entnahme	14
20/5 Brunnen M-Rast	35,0 m	S, gS, mg-gg, X	1×10^{-3}		PV 2. u. 4.03.2010, max. 11,7 l/s Entnahme	15
8/1401 Steirerschlossbrunnen (=Werkshotelbrunnen)	25,6 m	G, S	1×10^{-2}		PV 1949	16
8/1636 Entnahmebrunnen	9,0 m	mG-fG, S	1×10^{-3}		PV 2008	17
8/1636 Rückleitung - Schluckbrunnen	2,0 m	mG-fG, S	1×10^{-3}		PV 2008	18
8/1804 Einleitung-Schluckbrunnen	3,0 m	K, s	1×10^{-3}		Erfahrungswert/Literatur	19
8/1804 Entnahme-Schachtbrunnen	14,1 m	K, s	1×10^{-3}		Erfahrungswert/Literatur	20
8/1821 Entnahme Bohrbrunnen	17,1 m	G, s	1×10^{-3}		Erfahrungswert/Literatur	21
8/1821 Rückleitung - Schluckbrunnen	8,0 m	G, s	1×10^{-3}		Erfahrungswert/Literatur	22
8/259 Brunnen Wöllmerdorf I	43,0 m	k.A.	$2,8 \times 10^{-3}$		PV 1992	23
8/259 Brunnen Wöllmerdorf II	43,0 m	k.A.	$2,8 \times 10^{-3}$		PV 1992	24
8/267 Tiefbrunnen 2 = Teil von Brunnengruppe	17,0 m	S, G, x	$1,8 \times 10^{-2}$		PV 12.7.1959 / 40 l/s	25
8/267 Tiefbrunnen 1 = Teil von Brunnengruppe	17,0 m	S, G, x	$1,8 \times 10^{-2}$		PV 12.7.1959 / 40 l/s	26
8/378 Schachtbrunnen 1	22,7 m	G	3×10^{-4}		PV 1978 / 4 m ³ /h Entnahme	27
8/378 Schachtbrunnen 2	21,4 m	k.A.	3×10^{-4}		PV 1978 / 4,4 m ³ /h Entnahme	28
8/670 Tiefbrunnen 1	17,0 m	k.A.	$1,7 \times 10^{-2}$		PV 01.02.-07.02.2007 max. 24 l/s Entnahme	29
8/670 Nutzwasserbrunnen 3	23,3 m	gG - fS; teils U, t	$1,6 \times 10^{-3}$		PV 19.12.2007 - 18.01.2008, 19,7 l/s Entnahme	30
9/182 Betonschachtbrunnen LKH Knittelfeld	17,0 m	k.A.	$7,69 \times 10^{-5}$		PV 02.-05.06.2001 3,56 l/s Entnahme	31
9/228 Tiefbrunnen 1	30,9 m	gS, "Opok"	$8,4 \times 10^{-4}$		PV 13.05.-15.05.2003 2,5 l/s Entnahme	32
9/228 Tiefbrunnen 2	30,9 m	gS	$8,4 \times 10^{-4}$		PV 13.05.-15.05.2003 2,5 l/s Entnahme	33
9/400 Brunnen Lind I	19,7 m	S, G	$6,7 \times 10^{-3}$			34
9/400 Brunnen Lind II	19,4 m	S, G	$6,7 \times 10^{-3}$			35
9/801 Entnahmebrunnen	5,0 m	S, G	1×10^{-3}			36
9/858 Rückleitung Grundwasser	6,3 m	gS, mS	$5,33 \times 10^{-4}$		PV	37

Neben diesen Durchlässigkeitswerten aus Kleinpumpversuchen liegen im äußersten Westen (Raum Judenburg) des Grundwasserkörpers Aichfeld-Murboden noch Kartendarstellungen von Durchlässigkeitsverteilungen aus kalibrierten numerischen Grundwassermodellen vor (siehe (20) und (21)).

(23) erwähnen für den Bereich der Siebenbrunnenquellen (siehe 4.5.2) beim KW Fischen eine "Durchlässigkeit um 10^{-3} m/s".

In der hydrogeologischen Charakterisierung des Grundwasserkörpers GK100096 (1) wird auf die inhomogenen Verhältnisse hingewiesen, wobei die höchste zuverlässige Durchlässigkeit mit $5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s und die niedrigste durch Messung ermittelte mit $3,2 \cdot 10^{-6}$ m/s angegeben wird.

Nach den erhobenen Daten (siehe Tabelle 4.10) variiert demnach die Durchlässigkeit im Modellgebiet generell zwischen $8,0 \cdot 10^{-4}$ m/s und $3,5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Die Lage der Messstellen mit ermittelten Durchlässigkeitswerten geht aus Beilage 9 und in Abbildung 4.31 hervor. Die Informationen über die Durchlässigkeiten sind jedoch ungleichmäßig verteilt. Die Karte zeigt, dass sich die erkundeten Durchlässigkeiten im westlichen Untersuchungsgebiet und in erster Linie in den holozänen Bereichen des Murtales auf die größeren Wasserversorgungsanlagen und die Industriegebiete konzentrieren.

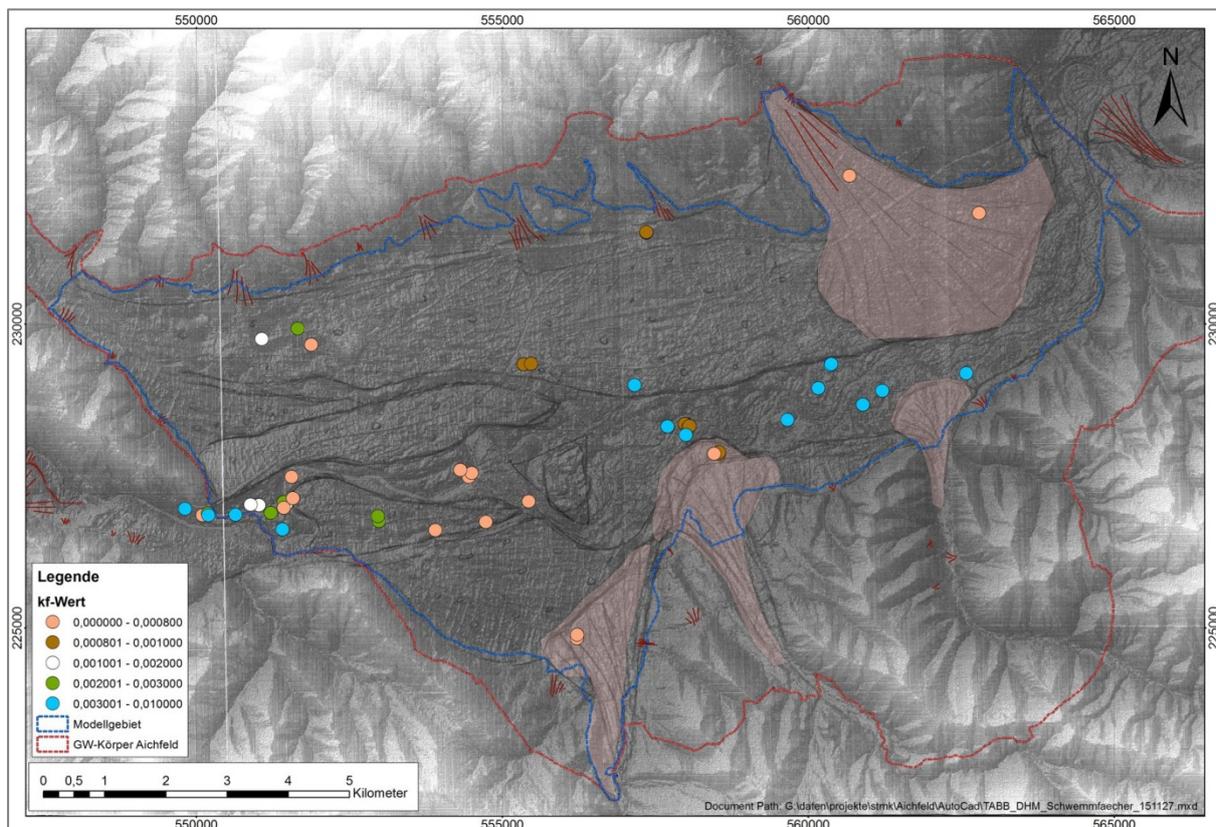


Abbildung 4.31: DHM und auskartierte geologische Homogenbereiche als Basis einer ersten Durchlässigkeitsverteilung.

Sämtliche Durchlässigkeitswerte - egal ob aus Einzeltests oder kalibrierten Modellen - wurden auf ihre grundsätzliche Plausibilität geprüft und in einem ersten Schritt regionalisiert. Dazu wurden geologische Homogenbereiche anhand des DHM und in Rückkoppelung mit der geologischen Karte zusammengefasst. Anhand der unterschiedlich strukturierten Oberflächen und Musterungen können im DHM sehr gut die in den Talböden einmündenden Schwemmfächer von den pleistozänen und holozänen Ablagerungen unterschieden werden (siehe Abbildung 4.31).

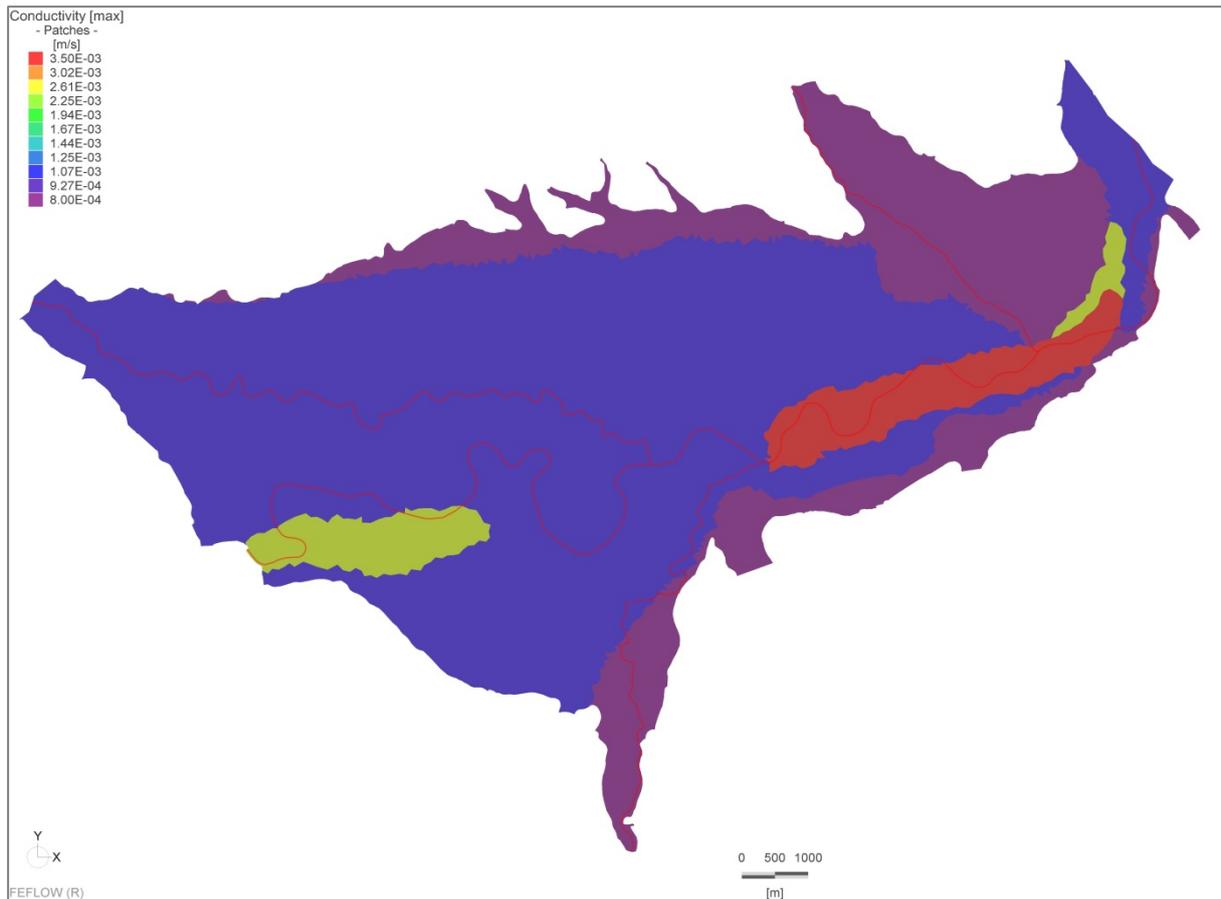


Abbildung 4.32: Anfangsverteilung der Durchlässigkeit als Grundlage der Modellkalibrierung.

Die in Abbildung 4.32 dargestellte Durchlässigkeitsverteilung wurden durch die Regionalisierung der im Modellgebiet erhobenen, punktuell vorliegenden Durchlässigkeitswerte unter Berücksichtigung der geologischen Strukturen erarbeitet. Diese Verteilung wurde als Ausgangszustand der numerischen Modellkalibrierung herangezogen (siehe Kap. 7.4).

5. WASSERRECHTE UND GRUNDWASSERENTNAHMEN

Insgesamt sind im Arbeitsgebiet 169 Grundwasseranlagen im Wasserbuch eingetragen (Stand: 2013, Ergänzungen 2014). Davon weisen 57 Anlagen eine Konsensmenge von über 2 l/s auf. Anlagen mit Konsensmengen von über 2 l/s werden in weiterer Folge im numerischen Modell berücksichtigt (siehe Kap. 7.5.3.4). In Tabelle 5.1 sind die ausgewählten Grundwasserentnahmen, in Tabelle 5.2 die Versickerungen bzw. Einleitungen in den Grundwasserkörper zusammengefasst. Die Lage der Anlagen ist Beilage 10 und Abbildung 5.1 zu entnehmen.

Tabelle 5.1: Liste der wasserrechtlich bewilligten Grundwasser-Entnahmen >2 l/s mit Angabe der Konsensmengen (Quelle: WASSERBUCH STEIERMARK (19)).

GRUNDWASSERENTNAHME										
ART	PZ	EIGENTÜMER	NAME	LFD.	SCHUTZ- GEBIET	KONSENSMENGE			ANMERKUNG	
				#		l/s	m ³ /h	m ³ /d		
Trinkwasser- versorgung von Gemeinden	8/259	Stadtgemeinde Judenburg / Stadtwerke Judenburg AG	Brunnen Wöllmersdorf I	1	1	50		4.320	Gesamtkonsens aller 6 Brunnen: 175 l/s (Höchstmenge)	
			Brunnen Wöllmersdorf II	2	1	50		4.320		
			Murdorfburgen II	3	1,2,3	20		1.728		
			Feldgasse-Brunnen	4	1	k.A.		k.A.		
			Murdorfburgen I	5	1,2,3	20		1.728		
			Murdorfburgen III	6	1,2,3	120		1.728		
	8/330	Stadtgemeinde Zeltweg	Bohrbrunnen 1	7	1	11,17		965,1	Teilkonsens zum Hauptkonsens	
			Schachtbrunnen 1	8	1	k.A.		1.498	tatsächl. Tagesentnahme	
	8/770	Gemeinde Fohnsdorf	Schachtbrunnen 2 (Sportzentrum)	9		20		1.728	Teilkonsens zum Hauptkonsens	
			Brunnen Aichdorf	10	1	10	864,0	864,0	Teilkonsens zum Hauptkonsens (Höchstmenge)	
			Schachtbrunnen Rattenberg	11	1	k.A.		k.A.	keine Angaben	
			Brunnen IV	12	1	12	1.036,8	1.036,8	lt. Bescheid: "Pumpe Vogel mit einer Leistung von 12 l/s"	
			Brunnen VII	13	1	16,7	1.440,3	1.440,3	lt. Bescheid: "Pumpe Vogel mit einer Leistung von 1.000 l/min"	
			Brunnen IX	14	1	17	1.468,8	1.468,8	lt. Bescheid: "UW-Pumpe mit Maximalleistung von 17 l/s"	
			Brunnen X	15	1	6,1	528	528	Wortlaut Bescheid: "367 l/min"	
			9/228	Gemeinde Flatschach	Tiefbrunnen 1	16	1	5,8		501
	9/267	Stadtgemeinde Knittelfeld	Tiefbrunnen 2	17	1					
			Uitzbrunnen	18	1	90		7.776		
			Brunnen I (Sachendorf-Maßweg)	19	1					Teilkonsens zum Hauptkonsens (Höchstmenge):
			Brunnen II (Sachendorf-Maßweg)	20	1					173 l/s
Brunnen III (Sachendorf-Maßweg)			21	1	10					
9/400	Marktgemeinde Spielberg	Brunnen IV (Sachendorf-Maßweg)	22	1						
		Brunnen V (Sachendorf-Maßweg)	23	1						
		Brunnen Lind I	24	1	45		3.888	Gesamtkonsens (Höchstmenge) beider Brunnen		
9/441	Wasserverband Aichfeld-Murboden	Brunnen Lind II	25	1						
		Betonschachtbrunnen	26		k.A.		k.A.	k.A.		
		Schachtbrunnen	27	1	k.A.		k.A.	In GIS STMK grafisch nicht dargestellt		
Trinkwasser- versorgung von Sonstigen	8/12	Heeresbauverwaltung Süd Betrieb	Brunnen Murhof	28	1	100		8.640	Teilkonsens zum Hauptkonsens (Höchstmenge)	
			Rohrbrunnen 12/1	29	1	16,5		800	Teilkonsens zum Hauptkonsens: max. 1.600 m ³ /d aus beiden Brunnen	
	8/1401	Projekt Spielberg GmbH und Co. KG	Rohrbrunnen 12/2	30	1	11,7		800	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
			Steierschlösslbrunnen	31		38,0		(3.283,2)*	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
	8/378	Naintsch Mineralwasser GmbH	Schachtbrunnen 1	32	1	2,5		201	Gesamtkonsens (Höchstmenge) beider Brunnen	
			Schachtbrunnen 2	33	1					
9/164	Obersteir. Molkerei eGen	Brunnen	34	1	4,1		350	Gesamtkonsens (Höchstmenge) beider Brunnen: 350 m ³ /d		
35	Tiefbrunnen									
VSA Trink- und Nutzwasser	9/182	Stmk. Krankenanstalten GmbH	Betonschachtbrunnen LKH Knittelfeld	36	1	4,17		360,3	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
Nutzwasser/ Brunnen/ Bewässerungen	20/5	Mayer GmbH	Brunnen 1-Spedition	37		5		70,5	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
			Brunnen M-Rast	38		5		79,5	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
	8/267	Österr. Donaukraftwerke AG	Tiefbrunnen 2	39	1,2,3	30		2.660	Gesamtkonsens Brunnen 1 und 2 (Höchstmenge)	
			Tiefbrunnen 1	40	1,2,3					
	8/670	Stahl Judenburg GmbH	Nutzwasserbrunnen 3	41		26		1.987	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
			Tiefbrunnen 1	42		45		3.900	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
	8/730	FA. Josef Adolf Kufner - Textilwerke GmbH	Brunnen	43		3		250	Gesamtkonsens (Höchstmenge) beider Brunnen	
			Brunnen (1)	44						
	8/1443	Transbeton-Lieferbeton GmbH	Nutzwasserbrunnen	45		33		2.851	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
	8/1464	Hendrickson Austria GmbH	Nutzwasserbrunnen	46		18		1.555,2	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
	8/1465	Fahrttechnik Murtal GesmbH	Nutzwasserbrunnen	47		3,6		195	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
	8/737	AWV Raum Zeltweg	Nutzwasserbrunnen	48		25		2.160	Gesamtkonsens (Höchstmenge)	
9/197	Austria Email Wärmetechnik GmbH	Nutzwasserbrunnen	49		20		500	Gesamtkonsens (Höchstmenge)		
9/358	Österr. Bundesbahnen BBdion Villach	Nutzwasserbrunnen	50		30		2.592	Teilkonsens zum Hauptkonsens (Höchstmenge)		
9/534	Fritz Schömer GesmbH	Nutzwasserbrunnen	51		2,5		216	Gesamtkonsens (Höchstmenge)		
9/721	Kunststoff-Bearbeitungs GmbH	Entnahmebrunnen 1 Grundwasser	52		6,94	25	(600,0)*	Teilkonsens zum Gesamtkonsens:		
		Entnahmebrunnen 2 Grundwasser	53		6,94	25	(600,0)*	50 m ³ /h (Höchstmenge)		

* neutral wegen Rückführung durch Versickerung

SUMME >

66.550

Die kumulative Entnahme der wasserrechtlich bewilligten Grundwasserentnahmen mit Konsensmengen über 2 l/s beträgt rund 950 l/s (Spitzenentnahmen) bzw. 70.000 m³/d (bzw. 66.500 m³/d ohne Anlagen mit Grundwasser-Rückführung). Da bewilligte Spitzenentnahmemengen - meist angegeben in (l/s) - und bewilligte Tagesentnahmemengen (m³/d) voneinander abweichen können, unterscheiden sich auch die kumulativen Entnahmemengen.

Eine Übersicht der bei Geoteam eingelangten und zur Kalibrierung herangezogenen Daten findet sich in einer Matrixdarstellung in Beilage 2. Der Rücklauf war relativ gut, so liegen nur von einem Drittel der Brunnen überhaupt keine Angaben vor. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei einigen Brunnen erst einige Jahre nach dem Beginn des Kalibrierungszeitraumes mit Aufzeichnungen der Förderraten begonnen wurde. Dabei ist aber eine generelle Verbesserung der Aufzeichnungsintensität in den letzten Jahren gegenüber 2000 festzustellen.

Die für die Kalibrierung benötigten Tagessummen liegen nur von wenigen Brunnen (8 Anlagen) und dann auch nicht über den gesamten Kalibrierungszeitraum vor. Von den meisten Brunnen liegen nur Wochen- und Monatssummen vor.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im Kalibrierungszeitraum 2000 – 2010 mehr als 50 % der benötigten Förderdaten fehlen (siehe Kap. 7.5).

6. NIEDERSCHLAG-ABFLUSSMODELL

6.1. Einleitung

Grundsätzlich ermittelt das Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) die vertikalen Wasserflüsse, die die Grundwasserneubildung steuern. Ziel der gegenständlichen Niederschlag-Abfluss-Modellierung war es daher, die vertikalen Wasserflüsse zeitlich-räumlich hoch aufgelöst zu ermitteln und in weiterer Folge dem Grundwassermodell als raumbezogene Zeitreihen für die jeweiligen vordefinierten Raumeinheiten zur Verfügung zu stellen.

Die Datenanforderungen zum Niederschlag-Abfluss-Modell wurden von Geoteam in den Schreiben vom 06.03.2013 und 17.05.2013 an den Auftraggeber definiert.

Die vom Auftraggeber bei der ZAMG angeforderten meteorologischen Daten wurden am 30.05.2013 (Station: Zeltweg 2000-2012) und am 05.07.2013 (Stationen: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael in Obersteiermark) übermittelt. Am 09.07.2013 wurden sämtliche Dateien für die sechs Messstationen ergänzt mit den Daten der Windgeschwindigkeit neuerlich übermittelt.

6.2. Modellierungsprogramm

Zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung wurde die hydrologische Simulationssoftware **WaSiM/ETH** (Version 9.1.0) verwendet. Dabei handelt es sich um ein physikalisches Modell auf Rasterbasis. Das Programm wurde Mitte der 1990er Jahre an der ETH-Zürich entwickelt und fortlaufend weiterentwickelt (35). Das N-A-Modell WaSiM ist nach einer Kontaktaufnahme mit den Entwicklern für kommerzielle Zwecke frei einsetzbar.

Das WaSiM-Modell erfordert eine Vielzahl an verschiedenen meteorologischen und hydrologischen Zeitreihen sowie raumbezogener Rasterdaten. Eine Liste der erforderlichen zeit- und raumbezogenen Daten sind in der jeweils aktuellsten WaSiM-Dokumentation zu finden (35).

Eine Stärke des WaSiM-Modells gegenüber anderen hydrologischen Modellen ist die große Flexibilität in der Modellkonfiguration. Dadurch ist es in der Regel möglich, das Modell in Abhängigkeit von der jeweiligen Datensituation im zu modellierenden Einzugsgebiet zu konfigurieren. So sind z.B. für die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration im Modell vier verschiedene Berechnungsmethoden vorhanden.

Weiters stellt WaSiM für die Penmann-Monteith Methode (dient der Ermittlung der realen Evapotranspiration) zwölf verschiedene Berechnungsvarianten zur Verfügung. Diese Berechnungsvarianten greifen dabei auf sehr unterschiedliche meteorologische Inputdaten zurück. Dadurch ist es möglich eine Variante zu finden, für die die erforderlichen Inputdaten vorhanden sind.

WaSiM operiert wie oben erwähnt auf Rasterbasis und errechnet die lateralen sowie vertikalen Wasserflüsse für jede Rasterzelle. Das zu modellierende Gebiet innerhalb der Wasserscheide (sprich Einzugsgebietsgrenze EZG) wird dafür mit einem Raster überzogen. Dieses Raster muss mindestens die Größe eines Rechtecks haben, innerhalb dessen das gesamte Einzugsgebiet liegt. Der Ursprung des Rasters mit gleicher Kantenlänge liegt in der unteren Ecke links

des Umhüllungsrechtecks. Für alle im N-A-Modell verwendeten Sachdaten (DGM, Landnutzung, Boden, usw.) gilt das gleiche Raster mit der gleichen Kantenlänge und mit dem gleichen Ursprung.

Die erforderlichen Raster mit gleicher Kantenlänge (hier 50 m x 50 m) stellen die räumlichen Inputdaten des hydrologischen Modells dar. Folgende Raster müssen dem N-A-Modell zur Verfügung gestellt werden:

- Digitales Höhenmodell (DGM)
- Digitales Raster der Landnutzungen mit folgenden Landnutzungsklassen (Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Gebüsch, Wiese, Acker, usw.)
- Digitales Bodenraster mit den Bodenarten im Modellgebiet

6.3. Kopplung des Grundwasser- und Niederschlag-Abfluss-Modells

Das instationäre Grundwassermodell (GW-Modell) erfordert die in vertikaler Richtung zufließenden Wasserströme in der Zweiphasenzone als diskrete Zeitreihe. Der vertikale Zufluss muss in jedem Dreieckselement des GW-Modells zu jedem Zeitschritt vorhanden sein, was eine Kopplung der zwei Modelle erforderlich macht. Zur Kopplung der Modelle stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Auswahl.

- a) Im Zeitschritt i werden alle vertikalen Wasserflüsse in den Elementen des GW-Modells durch das N-A-Modell berechnet und dem GW-Modell übergeben, wonach das GW-Modell die Wasserbewegungen im Zeitschritt i ermittelt. Dieser Berechnungsprozess wird so lange fortgesetzt bis auch der letzte Zeitschritt des zu modellierenden Zeitraums abgearbeitet ist.
- b) Das N-A-Modell berechnet die vertikalen Wasserflüsse zu jedem Zeitschritt in den Rasterzellen des N-A-Modells und stellt diese als Zeitreihen zur Verfügung. Das GW-Modell holt sich in jedem Dreieck zu jedem Zeitschritt einen Wert aus der Zeitreihe der vertikalen Wasserflüsse. Der Berechnungsprozess wiederholt sich bis Ende des zu modellierenden Zeitraums.

Die erste Kopplungsmethode (a) setzt voraus, dass das N-A-Modell für jedes Dreieck des GW-Modells den Wert des vertikalen Wasserflusses ermittelt. Das Problem liegt bei der Anwendung dieser Methode darin, dass das GW-Modell auf Dreiecken und das N-A-Modell auf Rasterzellen mit gleicher Kantenlänge basieren. Da diese Modellkopplung, die einen Datenaustausch in Echtzeit benötigt, nicht existiert, wurde die Methode (b) gewählt.

Weiters spricht für die Methode b) der Offline-Kopplung die tiefe Position der grundwasserführenden Horizonte in Bezug zum N-A-Modellbereich. Aufgrund des großen Flurabstandes – auch unter Berücksichtigung seiner zeitlich-räumlichen Varianz sowie des Kapillaraufstieges – wird die aktive Wurzelzone nicht durch Grundwasser alimentiert.

Wie die lokale Niederschlag-Abfluss-Modellierung für die Brunnen Murdorf und Wöllmerdorf gezeigt hat (20), beträgt der Anteil der Grundwasserneubildung aus dem N-A-Modell an der Gesamtbilanz ca. 6 %. Auch diese geringe Einflussgröße spricht für die Methode b).

6.4. Abgrenzung des Modellgebietes

Bei Erfassung der vertikalen Wasserflüsse muss das N-A-Modell das gesamte Grundwassermodellgebiet einschließen. Somit ist das Modellgebiet in einem N-A-Modell zumindest so groß, wie jenes für das Grundwasser. Voraussetzungen dafür sind, dass Langzeitaufzeichnungen des Durchflusses an Pegeln hydrologisch beobachteter Oberflächengewässer sowohl an der Eintritts- als auch an der Austrittsstelle der Gewässer im Modellgebiet vorliegen.

In der Regel werden diese Voraussetzungen bezüglich der Durchflussaufzeichnungen an den Grundwasserkörper- bzw. Grundwassermodellgrenzen nicht erfüllt. Daher ist es erforderlich, die Grenzen des N-A-Modells solcher Art auszudehnen, dass entsprechende Durchflusszeitreihen zur Verfügung stehen. Durch die erforderliche Ausdehnung des Modellgebietes übertrifft ein N-A-Modell daher meist die Fläche eines Grundwassermodells um ein Vielfaches.

Als westliche Grenze des N-A-Modells wurde an der Mur die Messstelle St. Georgen ob Judenburg (HLA-Nummer 2170) herangezogen (siehe Tabelle 6.1). Am Pöls-Fluss begrenzt der Pegel Pöls (HLA-Nummer 2380) das N-A-Modell im Westen.

In der Mitte des Grundwassermodellgebietes befindet sich der Murpegel Zeltweg (HLA-Nummer 2400). Das Einzugsgebiet der Mur bis zum Pegel Zeltweg beträgt 2.967 km².

Tabelle 6.1: Kenngrößen der Gewässerpegel des N-A-Modells.

Pegel	Gewässer	HLA-Nr.	HZB-Nr.	Einzugsgebiet
St. Georgen ob Judenburg	Mur	2170	11102	2334,4 km ²
Zeltweg	Mur	2400	11136	2957,5 km ²
Leoben	Mur	2700	11185	4391,9 km ²
Pöls	Pöls-Fluss	2380	11128	422,0 km ²

Was die östliche Begrenzung des N-A-Modells betrifft, liegt der nächste flussabwärts des Grundwasserkörpers Aichfeld-Murboden gelegene und noch aktive Murpegel in Leoben (HLA-Nummer: 2700, siehe Tabelle 6.1). Die Einzugsgebietsgröße wird für diesen Pegel mit 4.391,9 km² angegeben.

Um die Größe des N-A-Modells in einer plausiblen Relation zur Fläche des Grundwassermodells (ca. 83 km²) zu halten, wurde das N-A-Modell in einen westlichen und östlichen Bereich aufgeteilt, deren Grenze der Murpegel Zeltweg bildet (siehe Abbildung 6.1).

Dazu wurde in einem ersten Schritt nun das westliche N-A-Modell für das Einzugsgebiet des Pegels Zeltweg bis zu den Pegeln St. Georgen ob Judenburg im Murtal und Pöls im Pölstal (Fläche ca. 170 km²) abgegrenzt. Dafür wurden die an den beiden letztgenannten Pegeln gemessenen Pegelzeitreihen als Zuflusszeitreihen dem N-A-Modell übergeben. Die Kalibrierung des Teilmodells erfolgte dann in weiterer Folge mit den Durchflussdaten des Pegels Zeltweg.

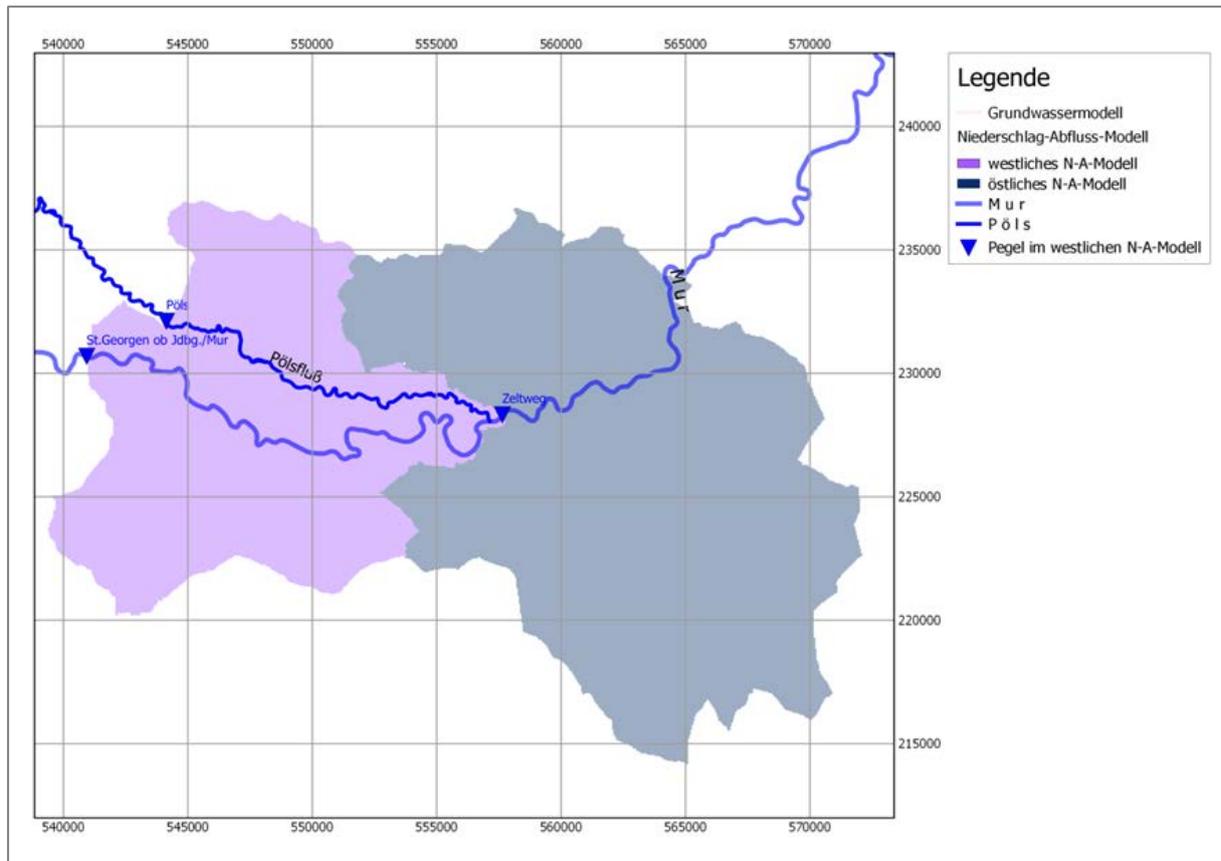


Abbildung 6.1: Westliches und östliches Teilgebiet des N-A-Modells Aichfeld-Murboden.

Das östliche Teilgebiet des N-A-Modells wurde im Osten an der Mur entsprechend der Ausdehnung des Grundwasserkörpers Aichfeld-Murboden begrenzt. Daraus resultierte eine Fläche dieses N-A-Modell-Teiles von 271 km². Die N-A-Modellfläche beträgt somit insgesamt 441 km².

Da für das östliche Modell kein Murpegel und somit auch keine Abflussdatenzzeitreihen zur Verfügung stehen, konnte dieser N-A-Modellteil nicht kalibriert werden. So wurde zur Ermittlung der Grundwasserneubildung im östlichen Modellteilgebiet die Hypothese aufgestellt, dass sich der östliche Modellteil hydrologisch analog zum kalibrierten westlichen Modellteil verhält, und dafür die im westlichen Modellgebiet kalibrierten Parameter auf den östlichen Teil übertragen werden können.

6.5. Datengrundlage

6.5.1. Einleitung

Eine wesentliche Datengrundlage – nicht nur für das N-A-Modell – stellen die Informationen aus dem GIS-Steiermark dar. Die angefragten Daten wurden im gdb-Format als Geodatenbank zur Verfügung gestellt. Eine Auflistung der ausgewählten Themengruppen, Titel und Kurzbezeichnungen erfolgt in Anlage 3 der Daten-DVD des Zwischenberichtes (27). Die Originaldaten finden sich ebenfalls auf der Daten-DVD des Zwischenberichtes (27) gespeichert.

Neben den GIS-Steiermark Daten wurden für das N-A-Modell auch meteorologische Daten benötigt, die vom Auftraggeber bei der ZAMG angefordert wurden. Die meteorologischen Daten der Stationen Zeltweg, Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1 und St. Michael in Obersteiermark wurden digital bereitgestellt.

6.5.2. Raumbezogene Daten

Digitales Geländemodell (DGM)

Das DGM wurde aus einem LASER-Scanning in einem 1 m x 1 m-Raster aus den Geodaten des GIS-Steiermark übernommen. Dieses DGM bedeckt jedoch nicht das vollständige Modellgebiet des N-A-Modells. Zur Gebietsabdeckung musste daher auf das frei verfügbare DGM vom BEV zurückgegriffen werden. Dieses DGM hat eine Auflösung von etwa 90 m x 90 m. Für diese Daten musste daher vor dem Import in das DGM ein sogenanntes Resampling auf ein 1 m x 1 m-Raster vorgenommen werden. Eine Darstellung des Höhenreliefs gibt Abbildung 6.2.

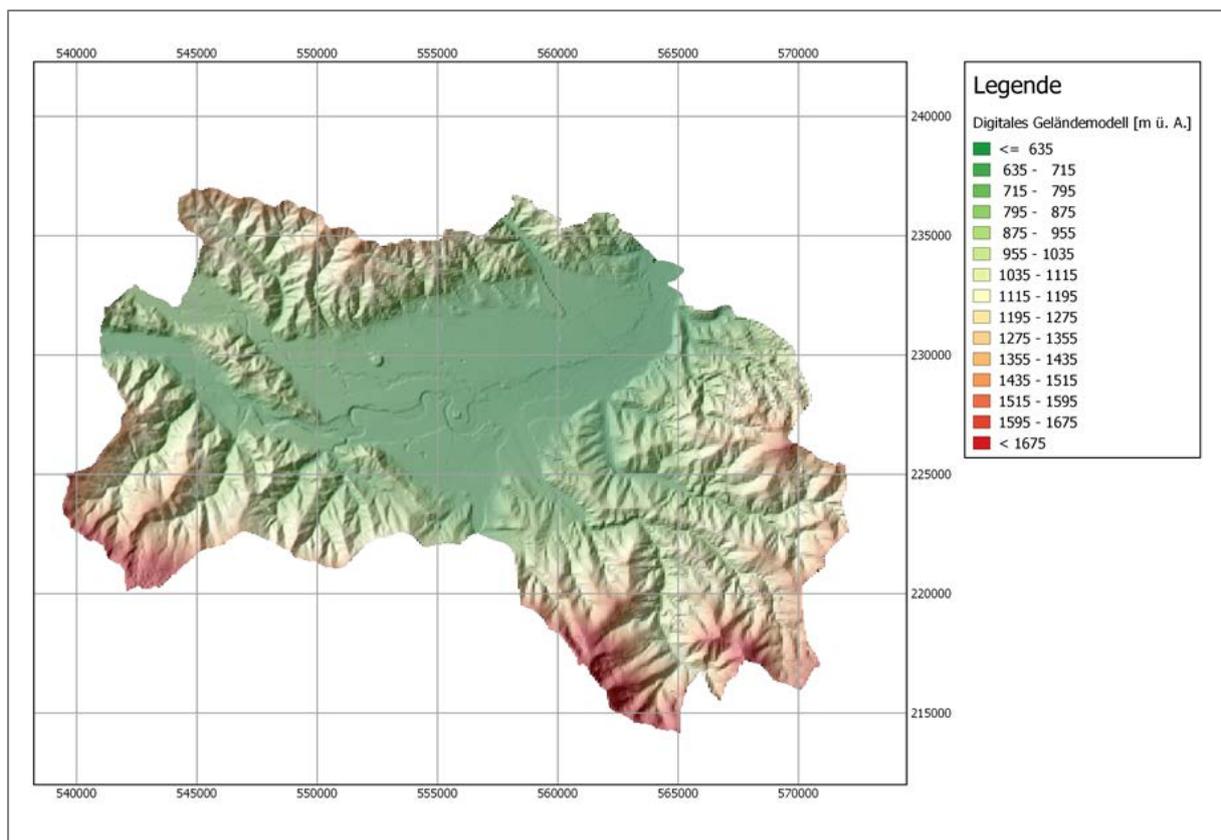


Abbildung 6.2: Digitales Höhenrelief im Gebiet des N-A-Modells.

Landnutzungsraaster

Das Landnutzungsraaster enthält die Landnutzungsarten in den Rasterzellen des N-A-Modells. Es wurde auf Basis des CORINE-Datensatzes des GIS-Steiermark durch Ausschneiden und Rasterung erstellt (siehe Abbildung 6.3).

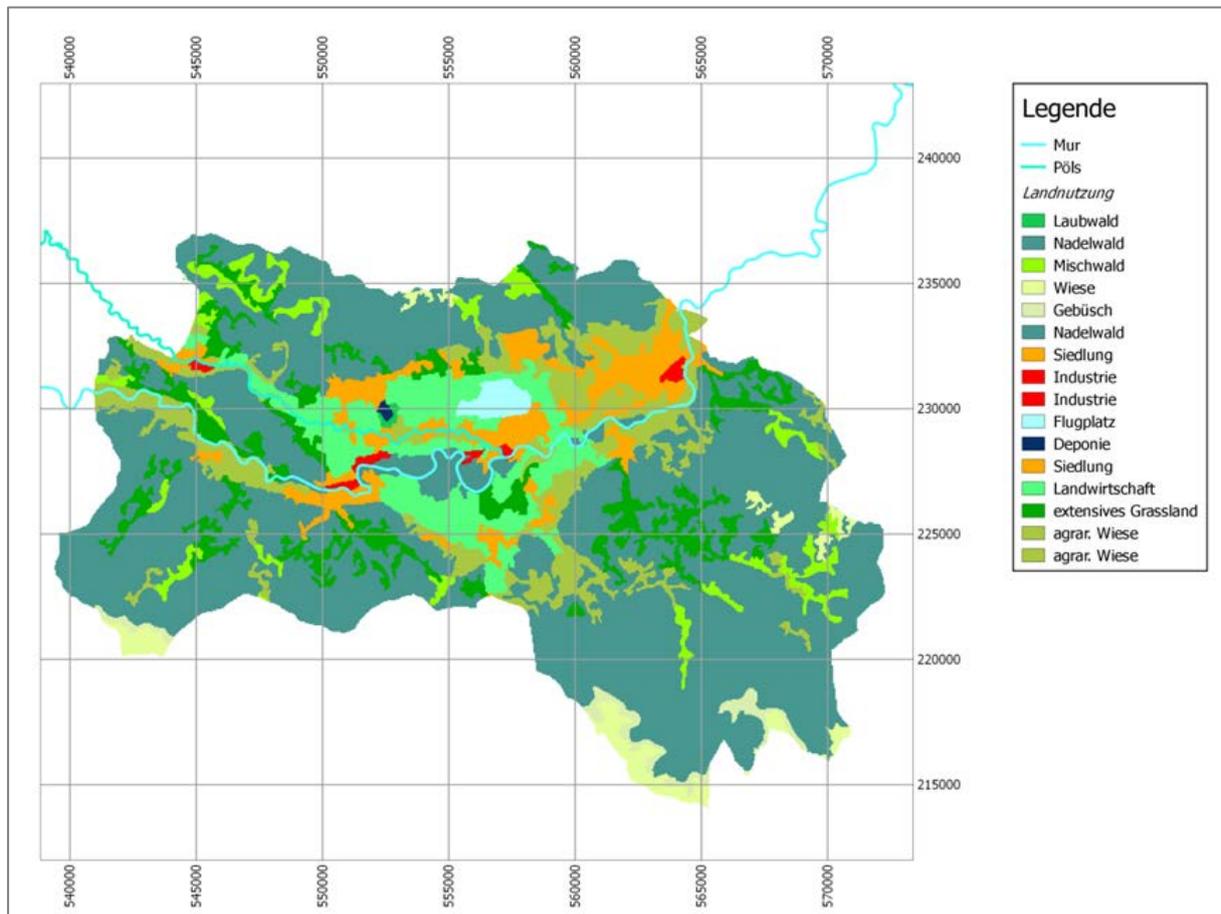


Abbildung 6.3: Landnutzungsraaster für das N-A-Modell.

Bodenraaster

Das Bodenraaster enthält nach den internationalen Standards die Bodenarten mit den zugehörigen Bodenparametern, wobei die Codenummern in den einzelnen Rasterzellen mit einer Parametertabelle verbunden sind. Die Bodenparameter werden im N-A-Modell zur zeitlich-räumlichen Berechnung der Bodenfeuchte, der realen Evapotranspiration und der Wasserbewegungen im Boden eingesetzt.

Die Modellierung mit dem Wasserhaushaltsmodell WaSiM erfordert spezifische Bodenparameter. Sie sind repräsentativ für die einzelnen Rasterzellen und werden in der Regel in Attributtabelle hoch aufgelöster, digitaler Bodenkarten (DigBodK) zur Verfügung gestellt.

Die benötigten Daten liegen jedoch weder im GIS-Steiermark vor, noch hat der Auftraggeber einen Zugriff auf sie. Recherchen ergaben weiters, dass die DigBodK-Daten des Lebensministerium (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)) - die sogenannte eBOD - nur käuflich erworben werden können.

Die Recherche ergab weiters, dass eine digitale Bodenkarte nur für die Talebenen existiert, aber die Frage, welche Parameter bei einem Ankauf mitgeliefert werden könnten, konnte vom BFW nicht beantwortet werden. Abschließend ist dazu noch festzustellen, dass die Anschaffungskosten in keiner Relation zu den Gesamtkosten des Grundwassermodells stehen.

Um trotzdem relevante Bodendaten in der Modellierung einzubeziehen, wurden die einzelnen in online einsehbaren Karten-eBOD als Bilder ("snapshot") im jpg-Format abgelegt. Diese Bilder wurden georeferenziert und mit aus Erfahrungswerten aus diversen WaSiM-Modellen und in bestehenden Modellen abgeleiteten Parametern ausgestattet. Einige der Bodenparameter wurden, wie das in der Modellierungspraxis mit WaSiM üblich ist, im Kalibrierungsprozess noch zusätzlich an das Modellgebiet angepasst.

Die Bodenarten in eBOD sind nicht in allen Raumeinheiten des Geländes vorhanden. In Bereichen ohne Angaben zu Bodenarten wurden Böden auf Grund von Landnutzungen und Geländegefallen erstellt. An den Hanglagen im N-A-Modellgebiet wurde grundsätzlich eine einzige Bodenart mit niedriger Bodenmächtigkeit angenommen.

Um eine höhere Auflösung der Bodendaten der Modellierung zugrunde legen zu können, wurde zusätzlich, die ab 01.01.2014 vom BFW in eBOD online kostenlos bereitgestellte Bodenkarte Boka_1km_ETRS89, in einem 1 km x 1 km-Raster heruntergeladen und mit den georeferenzierten Bildinformationen abgeglichen (siehe Abbildung 6.4).

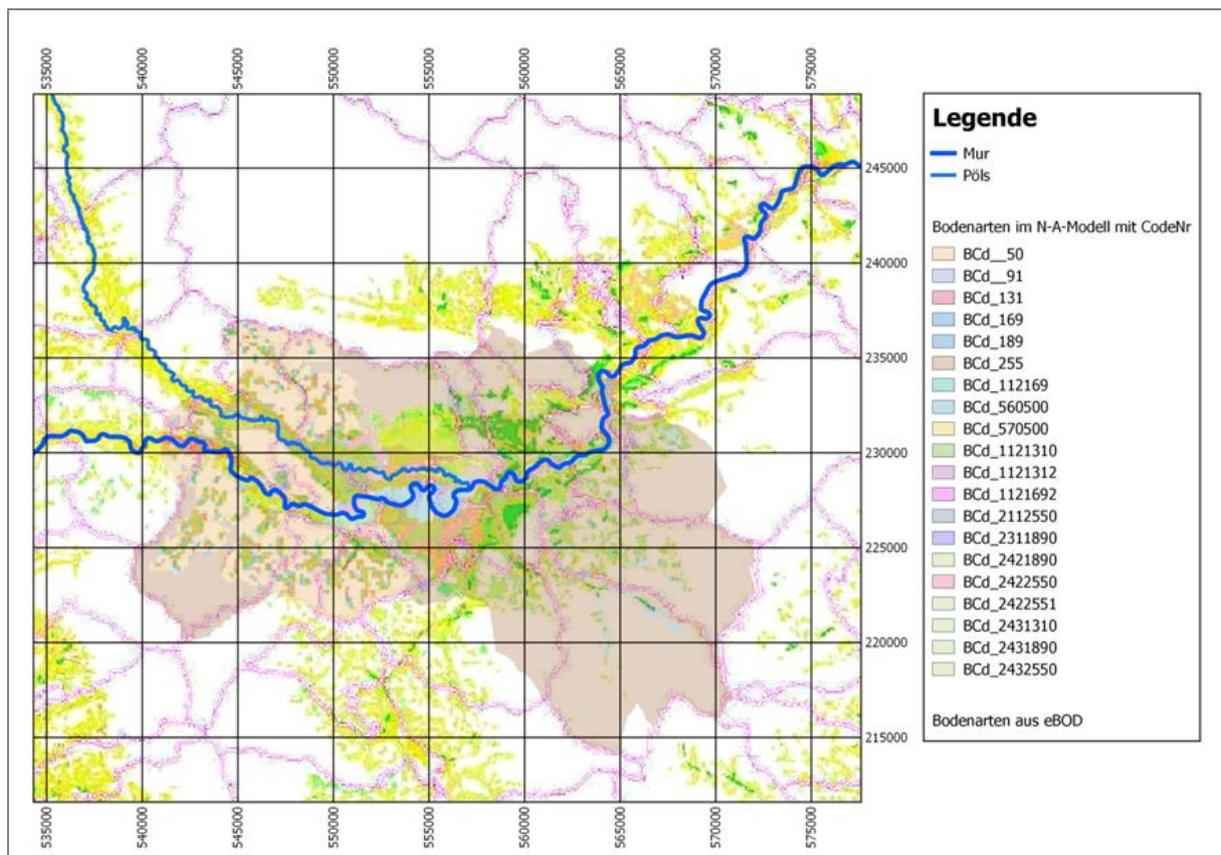


Abbildung 6.4: Verteilung der Bodenarten nach der abgegriffenen und georeferenzierten eBOD-Karte.

Auf Basis der abgegriffenen Bodenarten wurde ein Bodenraster für das N-A-Modellgebiet generiert (siehe Abbildung 6.5). Dieses wird für die Fragestellungen in Zusammenhang mit der Etablierung eines regionalen Grundwassermodells als ausreichend genau bewertet.

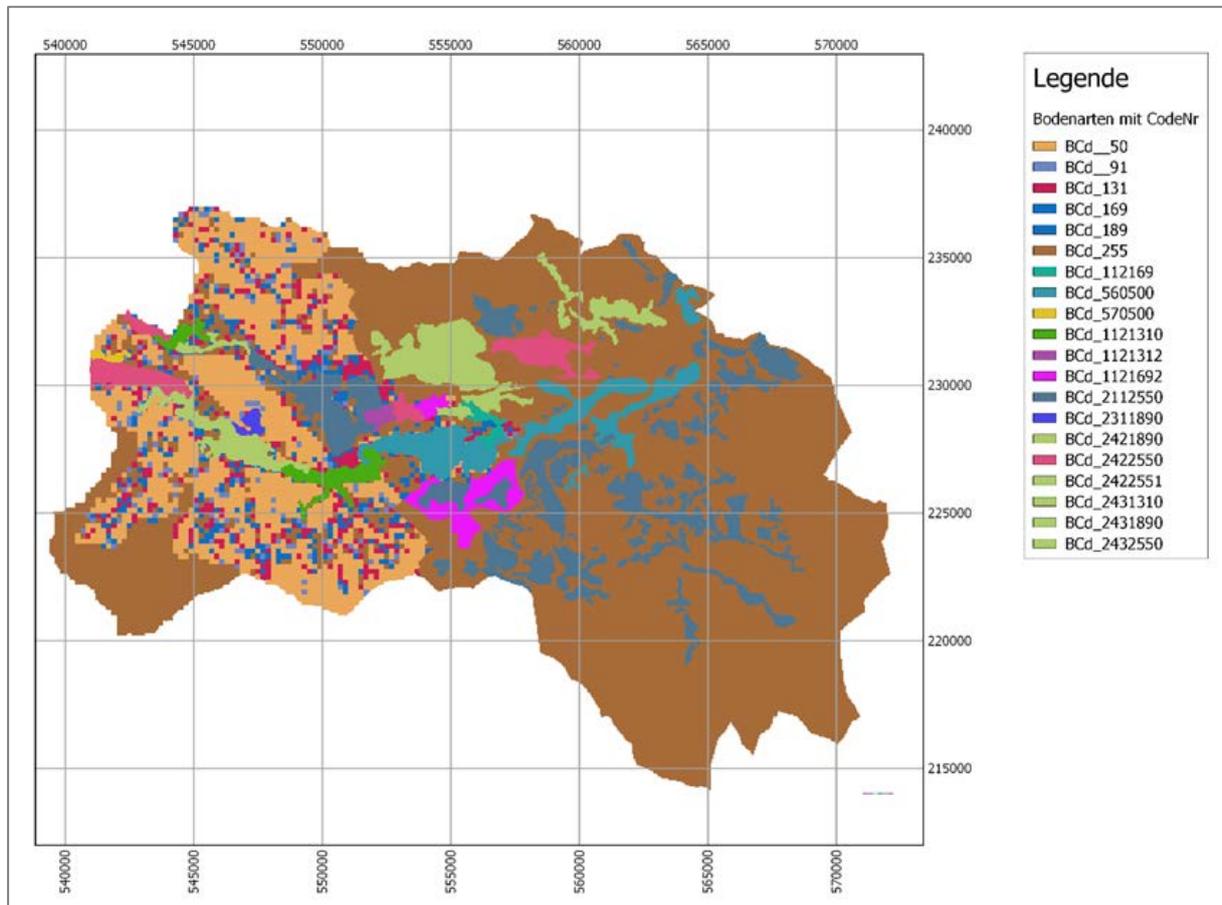


Abbildung 6.5: Bodenraster mit einer Verteilung der Bodenarten im N-A-Modell.

Tabelle 6.2: Verwendete Bodenparameter in WaSiM für den Bodencode BCd_189 (nach (35)).

189	BCd_189	{	method =	MultipleHorizons	;
	PMacroThresh	=	0.050		;
	MacroCapacity	=	0.050		;
	CapacityRedu	=	1.000		;
	MacroDepth	=	4.500		;
	horizon	=	1	2	3
	Name	=	H1	H2	H3
	ksat	=	2.22E-04	7.89E-04	5.56E-04
	k_recession	=	0.800	0.800	0.800
	theta_sat	=	0.410	0.430	0.380
	theta_res	=	0.095	0.078	0.068
	alpha	=	14.5	14.5	14.5
	Par_n	=	2.68	2.78	2.98
	Par_tau	=	0.500	0.500	0.500
	thickness	=	0.300	0.15	0.250
	layers	=	1	1	1
	maxratio	=	10		;
					};

In Tabelle 6.2 finden sich beispielhaft eine Zusammenfassung der für die Bodenart mit der Codierung "BCd_189" verwendeten Bodenparameter. Detaillierte Angaben zu den einzelnen Bodenparametern sind der WaSiM-Dokumentation (35) zu entnehmen.

Digitales Gewässernetz

Über die Geodaten des GIS Steiermark wurde ein sehr genaues digitales Gewässer-Netz zur Verfügung gestellt. Für das N-A-Modell wurde das digitale Gewässernetz entsprechend vereinfacht.

Digitale Einzugsgebietsgrenzen

Das Einzugsgebietsgrenzen-Netz wurde aus den Geodaten des GIS-Steiermark übernommen und für die Fragestellung entsprechend reduziert und angepasst.

Pegelkoordinaten

Die Abflusspegelzeitreihen wurden mit Koordinaten im geographischen Bezugssystem des GIS-Steiermark zur Verfügung gestellt und in das GK M31 Bezugssystem umgerechnet (Lage der Pegel siehe Abbildung 6.1).

6.5.3. Zeitbezogene Daten

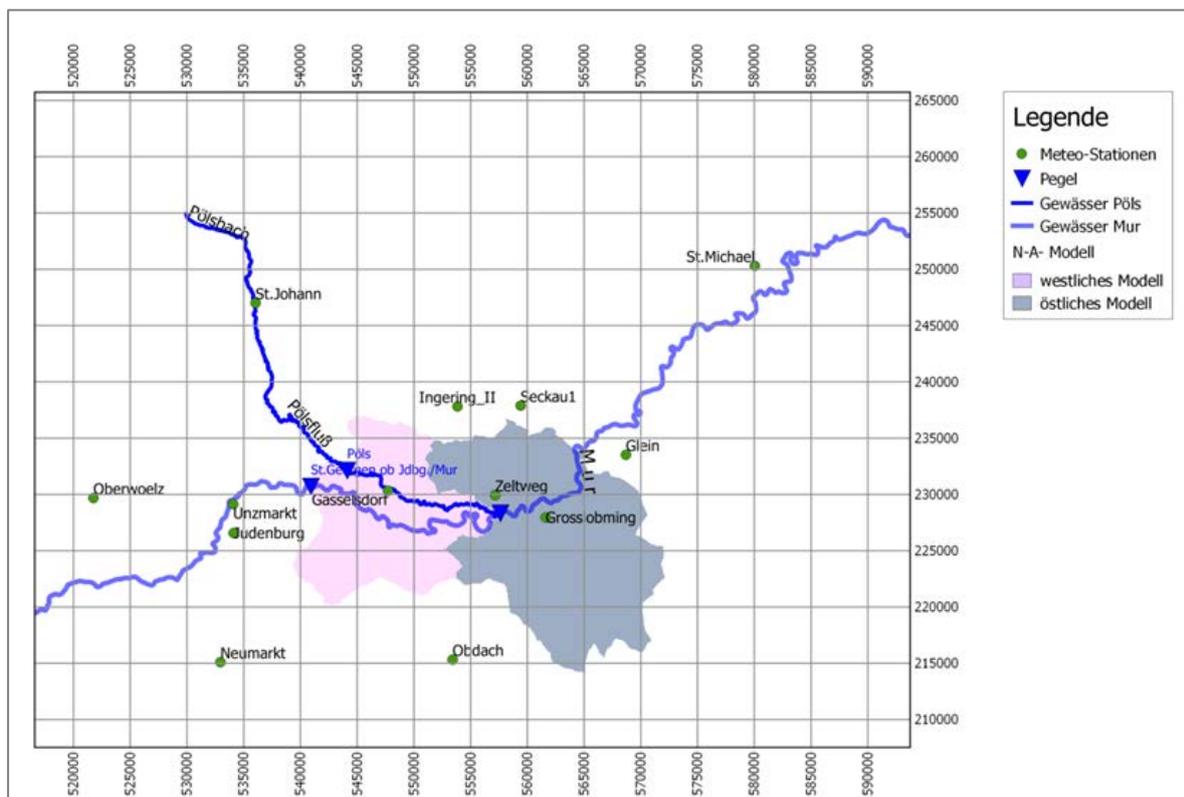


Abbildung 6.6: Lage der Messstellen mit dem N-A-Modellgebiet.

Zeitbezogene Daten stammen in erster Linie aus den zur Verfügung gestellten meteorologischen Datensätzen der ZAMG.

Weiters wurden Niederschlagsdaten der eHYD-Stationen sowie die Abflusszeitreihen von Gewässerpegeln einbezogen. Die Lage der im N-A-Modell letztendlich verwendeten Messstellen ist Abbildung 6.6 zu entnehmen.

Aus den vorliegenden Abflusszeitreihen wurden nur Messpegel in dem westlichen N-A-Modell verwendet, da am Gebietsauslass im östlichen N-A-Modell kein Pegel existiert. Zur Modellierung im östlichen Teil wurden daher die im westlichen N-A-Modell ermittelten Parameterwerte aufgrund der hydrologischen Analogie herangezogen.

Niederschlag (Tagessummen)

Die Niederschlagszeitreihe folgender ZAMG-Station wurden als Tagessummen übergeben: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael (in Obersteiermark), Zeltweg.

Neben den ZAMG-Daten wurden Niederschlagszeitreihen als Tagessummen von zwölf Hydrografischen Messstationen aus dem eHYD-System des Lebensministerium heruntergeladen (siehe Tabelle 6.3).

Tabelle 6.3: Niederschlagsstationen aus dem eHYD-System des BMLFUW.

HZB-NR	Name	HZB-NR	Name
101030	Gasselsdorf	111773	Obdach
111682	St. Lambrecht	111781	Ingering
111708	Unzmarkt	112508	Paal-Stadl
111716	Judenburg	112771	Großlobming
111724	St. Johann am Tauern	123018	Kleinlobming
111732	Pusterwald-Hinterwinkel	123158	Oberwölz

Schneehöhe (Tagessummen)

Die Tagessummen der Schneehöhe wurden für die ZAMG-Stationen Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael in Obersteiermark, Zeltweg zur Verfügung gestellt.

Lufttemperatur (Tagesmittel)

Die Temperaturzeitreihen folgender ZAMG-Stationen wurden als Tagesmittel übergeben: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael, Zeltweg.

Zusätzlich wurden die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur an den HD-Messstellen Judenburg (111716), Großlobming (112771) und Glein (115071) zur Verfügung gestellt.

Luftdruck (Tagesmittel)

Die Luftdruckdaten wurden für die ZAMG-Stationen Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael und Zeltweg als Tagesmittelwerte übergeben.

Relative Luftfeuchte (Tagesmittel)

Die relative Luftfeuchte folgender ZAMG-Station wurde als Tagesmittel übergeben: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael, Zeltweg.

Globalstrahlung (Tagesmittel)

Die Globalstrahlung folgender ZAMG-Station wurde als Tagesmittel übergeben: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael, Zeltweg.

Sonnenscheindauer (Tagessummen)

Die Sonnenscheindauer folgender ZAMG-Station wurde als Tagessumme übergeben: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael, Zeltweg.

Windgeschwindigkeit (Tagesmittel)

Die Windgeschwindigkeit folgender ZAMG-Station wurde als Tagesmittel übergeben: Neumarkt, Oberwölz, Seckau, Seckau1, St. Michael, Zeltweg.

Zusammenfassende Bewertung der ZAMG-Daten

Die von der ZAMG zur Verfügung gestellten Zeitreihen wurden nicht in den für das Modell erforderlichen Datenformaten und Strukturen geliefert. Daher war ein Mehraufwand erforderlich, um die modellseitig benötigten Datenstrukturen zu erstellen. Dazu wurde ein Programm zum Auslesen und Strukturieren der Daten aus den gelieferten Datenformaten des erforderlichen WaSiM-Formats unter Excel erstellt. In Tabelle 6.4 finden sich die zeitlichen Lücken in den von der ZAMG gelieferten Datensätzen - geordnet nach Stationen und meteorologischen Größen - zusammengefasst.

Tabelle 6.4: Lücken in den ZAMG-Datensätzen (Zeitraum: 01.01.2000 - 31.12.2012).

METEOGRÖßE	STATION	DATENLÜCKE	
		von	bis
Niederschlag	Neumarkt		
	Oberwölz	03.06.2005	31.12.2012
	Seckau	01.12.2010	31.12.2012
	Seckau1	02.01.2002	31.12.2012
	St. Michael		
	Zeltweg		
Lufttemperatur	Neumarkt		
	Oberwölz		
	Seckau		
	Seckau1	02.01.2002	31.12.2012
	St. Michael		
	Zeltweg		

Luftdruck	Neumarkt		
	Oberwölz		
	Seckau		
	Seckau1	02.01.2002	31.12.2012
	St. Michael		
	Zeltweg		
Rel. Luftfeuchte	Neumarkt		
	Oberwölz	03.06.2005	31.12.2012
	Seckau	01.12.2010	31.12.2012
	Seckau1	02.01.2002	31.12.2012
	St. Michael		
	Zeltweg		
Sonnenscheindauer	Neumarkt		
	Oberwölz	03.06.2005	31.12.2012
	Seckau	01.01.2000	28.06.2005
		01.12.2010	31.12.2012
	Seckau1	01.01.2000	31.12.2012
	St. Michael		
Globalstrahlung	Neumarkt		
	Oberwölz	03.06.2005	31.12.2012
	Seckau	01.01.2000	28.06.2005
	Seckau1	01.01.2000	31.12.2012
	St. Michael		
	Zeltweg		
Windgeschwindigkeit	Neumarkt		
	Oberwölz	03.06.2005	31.12.2012
	Seckau	01.12.2010	31.12.2012
	Seckau1	02.01.2002	31.12.2012
	St. Michael		
	Zeltweg		

Abfluss (Tagesmittel und Tagesmaxima)

Abflusszeitreihen (Tagesmittel und Tagesmaxima) wurden für die Pegel (HD-Nummer) Pöls (2380), Zeltweg (2400), Eppenstein (2482), Großlobming (2486), Hammerjäger (2494), St. Georgen ob Judenburg (2170) und Gestüthof (2055) für den Zeitraum 2000 bis 2012 im Juni 2013 geliefert.

Für die Messstellen Kobenz (2510) und St. Margarethen (2505) wurden Wasserstandsdaten und die Ergebnisse von Profilausmessungen am 16.12.2013 übermittelt.

6.6. Modellkonfiguration und Parametrisierung

Eine qualitativ hochwertige N-A-Modellierung erfordert langjährige Aufzeichnungen meteorologischer Stationen als Modellkomponenten mit Messung von

- Niederschlag in Abhängigkeit von der jeweiligen Lufttemperatur (Regen / Schnee),
- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchte,
- Windgeschwindigkeit,
- Sonnenscheindauer,
- Globalstrahlung,
- Luftdruck,

in einer dem N-A-Modell entsprechenden räumlichen Abdeckung des zu modellierenden Gebietes.

Da die Aufzeichnungen der meteorologischen Stationen am Punkt erfolgen, müssen die einzelnen Größen (wie Niederschlag, Lufttemperatur, usw.) zu jedem Zeitpunkt der Modellierung mit geeigneten Interpolationsmethoden auf die einzelnen Rasterzellen des N-A-Modells übertragen werden. Besonders im alpinen Raum erschwert u.a. die ausgeprägte Morphologie die räumliche Interpolation.

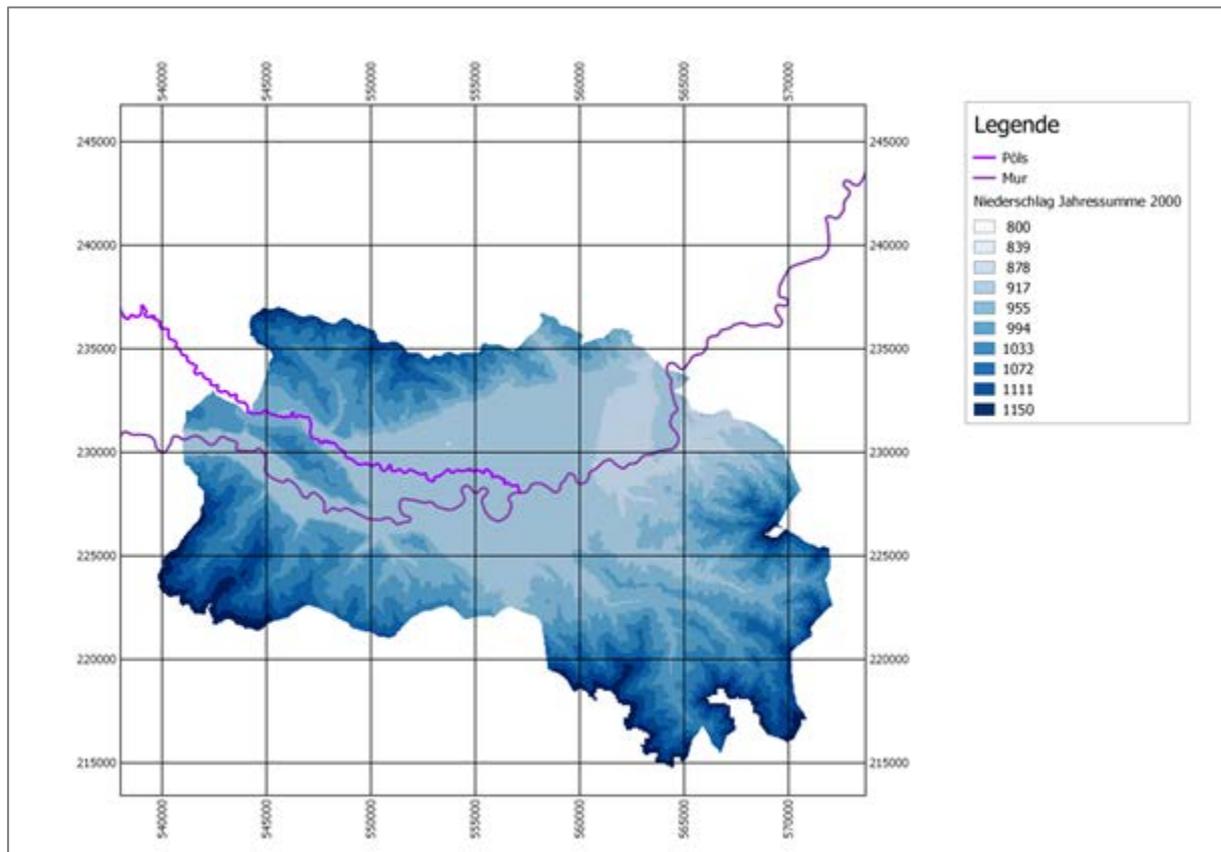


Abbildung 6.7: Räumliche Verteilung der Jahressumme des Niederschlages im Jahr 2000 für das N-A-Modellgebiet.

Abbildung 6.7 zeigt exemplarisch die interpolierte Niederschlagsverteilung für das Jahr 2000 im N-A-Modellgebiet. Weitere Modellkomponenten sind:

- Verdunstung.
 - potentielle Evapotranspiration
 - reale Evapotranspiration in Abhängigkeit vom Feuchtzustand der ungesättigten Zone im Boden (siehe exemplarische Darstellung des Jahres 2000 in Abbildung 6.8)
- Schneemodell.
 - Schneeakkumulation
 - vertikale/laterale Wasserflüsse durch Schneeschmelze
 - Änderung der vertikalen/lateralen Wasserflüsse durch Rückfrieren des Schmelzwassers
 - Permafrost

- Interzeption In Abhängigkeit der zeitlichen Entwicklung der Phänophasen der Pflanzen.
- Berechnung der vertikalen Wasserflüsse in der ungesättigten Bodenzone mit der Richards-Gleichung.
- Routing des Durchflusses in den Gewässern im Einzugsgebiet.

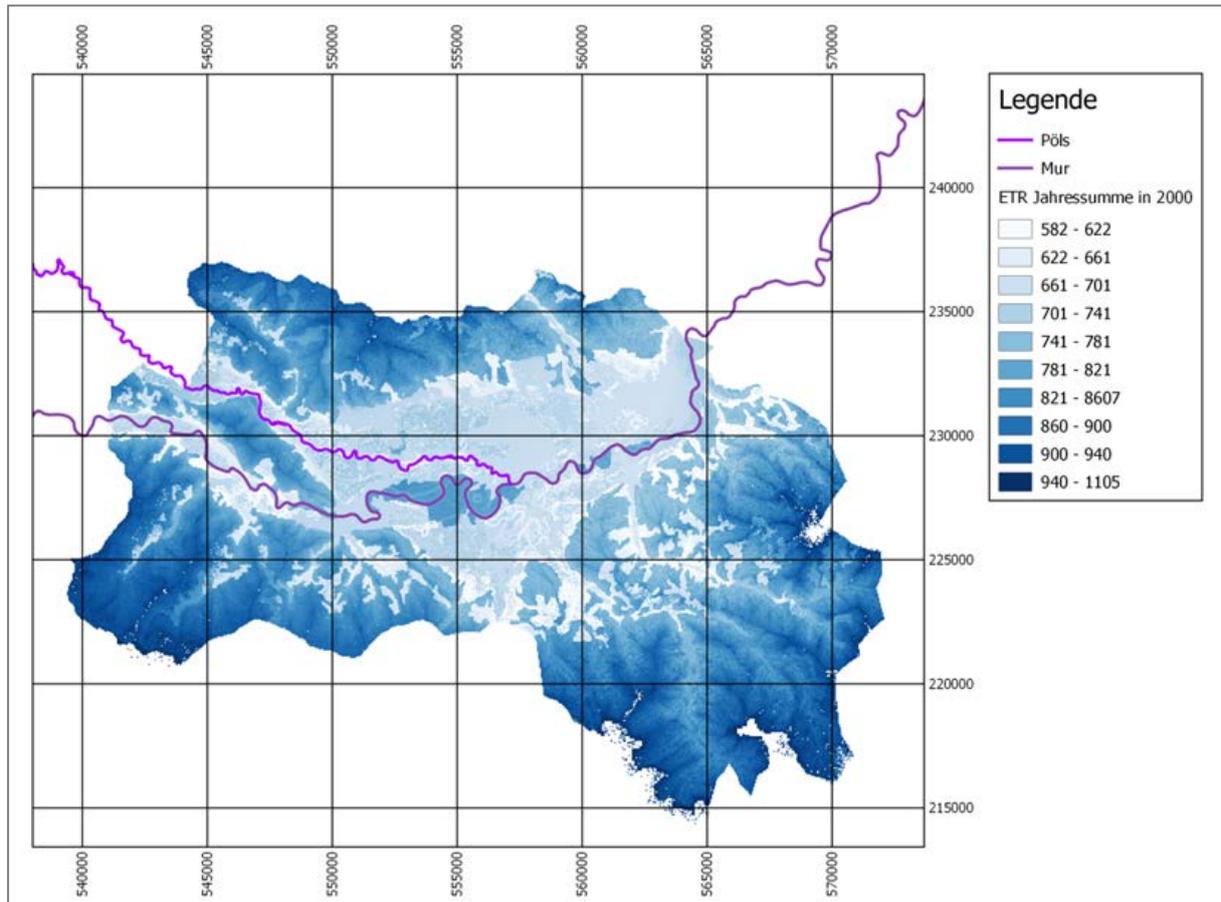


Abbildung 6.8: Räumliche Verteilung der Jahressumme der realen Evapotranspiration im Jahr 2000 für das N-A-Modellgebiet.

In den einzelnen Modellkomponenten sind jeweils zahlreiche Parameter enthalten. Davon sind einige, die als Kalibrierungsparameter zu betrachten sind. Die übrigen Parameter werden als sogenannte Nichtkalibrierungsparameter betrachtet (siehe (35)).

In der Praxis der Modellierung mit WaSiM sind folgenden Parametergruppen in der Kalibrierungsphase über ihre Module zu ermitteln:

- Schneemodul.
- Modul der ungesättigten Zone.
- Anpassung der Bodenparameter der Richards-Gleichung, die im Bodenmodell erfasst sind. Diese Parameter steuern die vertikalen Wasserflüsse im Modell WaSiM.

6.7. Modellkalibrierung

6.7.1. Vorgehensweise

In Kap. 6.4 wird ausgeführt, dass es aufgrund der Lage der Abflusspegel notwendig war, das N-A-Modell in ein westliches und ein östliches Teilmodell aufzuteilen.

Im westlichen N-A-Modell bis Pegel Zeltweg wurden elf Teileinzugsgebiete mit gleichen Parameterwerten festgelegt (siehe Abbildung 6.9). Der Grund dafür war, dass die Durchflusswerte an den elf virtuellen Pegeln die Basis zur Umrechnung des Durchflusses in Wasserstand liefern können. Da keine Pegelaufzeichnungen am Gebietsauslass der einzelnen Teileinzugsgebiete vorliegen, wurden die Parameterwerte in der Modellsektion für das Bodenmodell in der ungesättigten Zone ("unsatzzone_modell") in allen Teileinzugsgebieten gleich gesetzt.

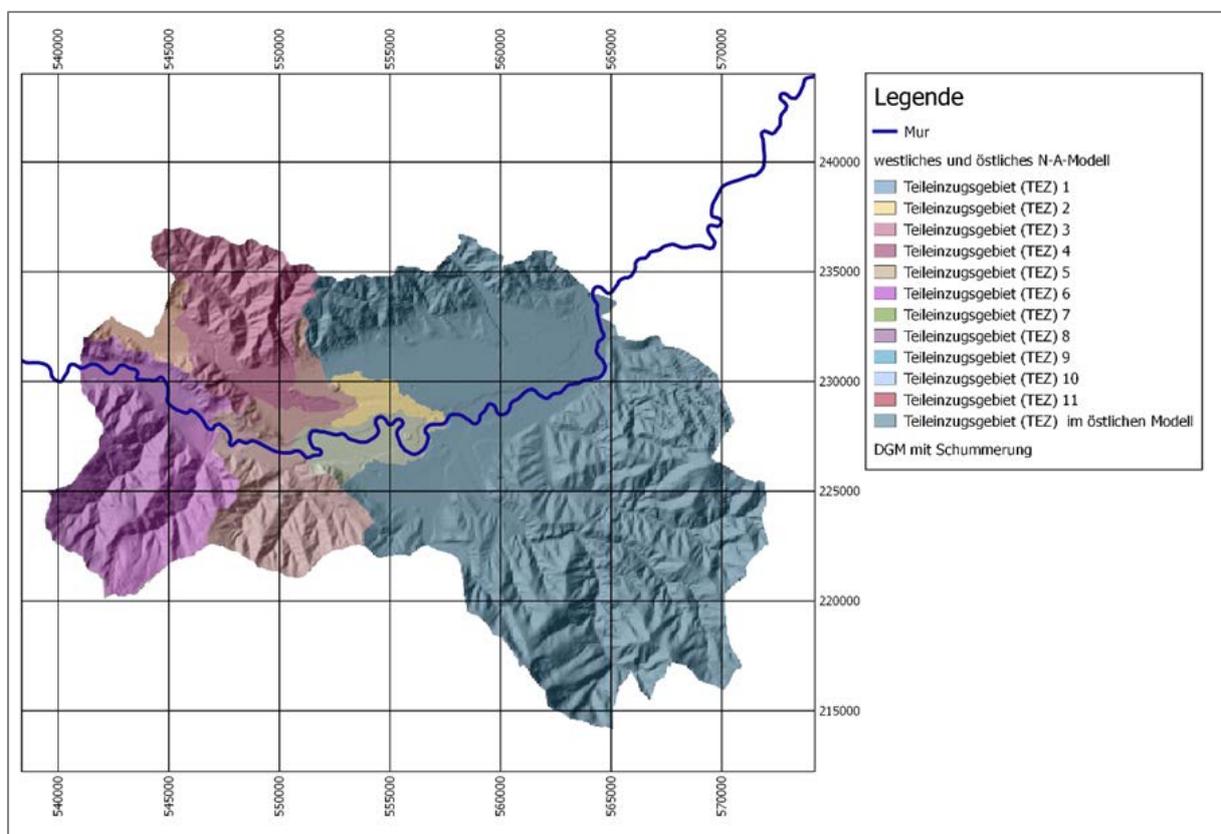


Abbildung 6.9: N-A-Modell Aichfeld-Murboden und mit den Teileinzugsgebieten des westlichen Modells.

Das westliche Teilmodell wurde mit Hilfe der langjährigen Durchflusszeitreihe, gemessen am Pegel Zeltweg, kalibriert. Zur Parameterkalibrierung musste das Modell bereits die entsprechenden Speicherfüllungen (sprich: Füllungsgrad der ungesättigten Zone, des Interzeptionspeichers usw.), erhalten. Erst wenn diese Daten bekannt sind, können sie als Raumdaten zum Zeitpunkt des Modellstarts übergeben werden.

Im gegenständlichen Modellgebiet waren die Speicherfüllungen zum Zeitpunkt des Modellstarts jedoch unbekannt. In diesem Fall mussten sie durch einen Modellauf mit Anfangswerten der Modellparameter über mehrere Jahre hinweg generiert werden. Dieser Zeitraum wird als Einschwingphase des Modells bezeichnet. Erfahrungsgemäß soll die Einschwingphase

mehrere Trocken- und Nassphasen enthalten. Für die Einschwingphase wurde daher ein zweijähriger Zeitraum von 01.01.2000 bis 31.12.2001 ausgewählt.

Nach Einstellen der Speicherfüllungen und einer Kontrolle der Jahressummen des Niederschlags, der Verdunstung und des Abflusses wurde die Kalibrierung des westlichen Teilmodells mit Hilfe von PEST ((13)) vorgenommen. PEST (Model-Independent **P**arameter **E**stimation Verfahren) ist eine Optimierungsmethode und kann zur inversen Modellierung verwendet werden.

Die eigentliche Kalibrierung erfolgte im Zeitraum von 01.01.2001 bis 31.12.2002 mit der erzeugten Speicherfüllungen der Einschwingphase.

Da für das östliche Teilmodell kein Murpegel und somit auch keine Abflussdatenzeitreihen zur Verfügung stehen, konnte dieser N-A-Modellteil nicht kalibriert werden. So wurde zur Ermittlung der Grundwasserneubildung im östlichen Modellteilgebiet die Hypothese aufgestellt, dass sich der östliche Modellteil hydrologisch analog zum kalibrierten westlichen Modellteil verhält. Aufgrund der geringen Größe der Gebiete und ihrer Nähe ist dies ein plausibler und zulässiger Ansatz. So wurden die im westlichen Modellgebiet kalibrierten Parameter für den östlichen Teil des N-A-Modells übernommen.

6.7.2. Ergebnisse

Die Ermittlung der Parameterwerte erfolgte mit PEST und wurden folgende Werte (siehe Tabelle 6.5) errechnet.

Tabelle 6.5: Parameter in (*unsatz_model*)-Block und (*snow_model*)-Block.

Parameterbezeichnung	Bedeutung/Originalbezeichnung	Kalibrierter Wert
kd	recession parameters QD	0.930226
ki	recession parameters QI	3.00000
krec	recession parameters k for Base discharge	5.0000000E-01
Q0	correction of transmissivities Q0 for Baseflow	1.50
dr	flow density	55
sdf	fraction of snow melt	5.0000000E-02
snw_t0	T0 temperature limit snow melt	1.0000000E-02
snw_tor	T0R temperature limit for rain	5.0000000E-01

Die Parameterbezeichnungen in Tabelle 6.5 sind in den Blöcken *unsatz_model* und *snow_model* der Steuerdatei zu finden. Sie steuern die Abflusskomponenten Direktabfluss, Interflow und Basisabfluss sowie die Wasserabgaben aus der Schneedecke. In der Spalte 2 der Tabelle 6.5 sind die modellinternen Parameterbezeichnungen dargestellt. Genaue Erklärungen zur Bedeutung der Parameterbezeichnungen sind der WaSIM-Dokumentation zu entnehmen (35).

Laut Praxiserfahrungen mit WaSiM / Richards-Ansatz wurden die Parameter zur Modellkalibrierung ausgewählt. Der Richard-Ansatz verwendet die Richard-Gleichungen für die Wasserbewegung in der ungesättigten Zone des Bodens.

6.7.3. Güte

WaSiM verwendet das R^2 -Kriterium, um die Güte der Anpassung der modellierten Ganglinie an die gemessene feststellen zu können:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i \varepsilon^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - x_i)^2}{\sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_i x_i)^2}$$

y_i	simulierter Abflußwert
x_i, \bar{x}	gemessener Abflusswert und Mittelwert der gemessenen Ganglinie
ε_i	Abweichung zwischen simuliertem und gemessenem Wert
n	Anzahl Zeitschritte

Das R^2 -Gütemaß liegt im Intervall (0, 1) ($-\infty \leq R^2 \leq 1$) und erreicht sein Maximum bei einer vollständigen Übereinstimmung der gemessenen und simulierten Ganglinien. D.h., dass der R^2 -Wert bei der vollständigen Übereinstimmung der zwei Ganglinien den Wert 1 erreicht. Bei einer schlechten Übereinstimmung $R^2 < 1$ können sogar negative Werte auftreten.

Da Abflussdaten im Allgemeinen nicht normalverteilt sind, wurde die Berechnung von R^2 mit logarithmierten Werten eingeführt. Dieses Gütemaß wird als " $\log.R^2$ " bezeichnet.

Die Modellkalibrierung wurde für die Jahre 2001 - 2002 durchgeführt. Die darauf folgenden Jahre wurden mit Speicherinitialisierungen aus dem Vorjahr modelliert. Die besten Gütewerte mit dem dazugehörigen Zeitversatz sind jahresweise in Tabelle 6.6 dargelegt.

Tabelle 6.6: Gütewerte der Jahre 2001 – 2010.

Jahr	Zeitversatz LIN. R-SQUARE	LIN. R-SQUARE	Zeitversatz LOG. R-SQUARE	LOG. R-SQUARE	Splni
2000	0	0.5196	0	0.6693	Vorlauf/keine Splni
2001					
2002	0	0.3855	0	0.8027	ja
2003	0	0.8326	0	0.8821	ja
2004	0	0.8491	0	0.9063	ja
2005	1	0.4297	0	0.7984	ja
2006	0	0.7770	0	0.8174	ja
2007	0	0.5390	0	0.6282	ja
2008	0	0.5515	0	0.6355	ja
2009	0	0.4403	0	0.7091	ja
2010	0	0.5469	0	0.7068	ja

Zeitversatz	-	Verschiebung der simulierten Ganglinie um einen Modellierungszeitschritt (hier um einen Tag) bei der Berechnung des Gütekriteriums
Lin.R_SQUARE	-	Berechnung des Gütekriteriums mit gemessenen und simulierten Durchflusswerten
Log.R_SQUARE	-	Berechnung des Gütekriteriums mit den logarithmierten Durchflusswerten der gemessenen und simulierten Ganglinie
Splni	-	Speicherinhalte aus einem Simulationslauf

Das kalibrierte Modell liefert über den zehnjährigen Zeitraum zwar meist gute und annehmbare Gütewerte, aber einige Jahre sind auch verhältnismäßig schlecht. Dies wird auf die geringe Datenlage bei den Bodeninformationen zurückgeführt. Um diesem Problem zu begegnen, wurden die Bodenparameter nachkalibriert.

So erfolgte eine Anpassung der Bodenparameter anhand des Jahres mit den besten Gütewerten aus der Erstkalibrierung. Als Speicherfüllungen (Splni) für das Jahr 2004 wurde auf eine Simulation mit den neuen Parametern aus dem Jahr 2009 zurückgegriffen.

Tabelle 6.7: Jahressumme der Q-Komponenten und GWN nach den vorgenommenen Anpassungen im Jahre 2004.

	TEZ1	TEZ2	TEZ3	TEZ4	TEZ5	TEZ6	TEZ7	TEZ8	TEZ9	TEZ10	TEZ11	total_ average
gwn_2004	123.56	70.97	97.23	65.87	23.57	39.88	64.21	71.75	39.33	29.76	39.53	43.65
qifl_2004	8.27	45.83	40.91	65.25	98.75	87.98	79.27	56.26	106.15	102.48	94.62	88.93
qbas_2004	150.66	71.22	132.88	89.42	27.82	38.75	83.34	104.49	35.84	35.18	35.56	47.93
qdir_2004	11.94	1.61	2.25	0.59	0.24	0.28	0.69	0.68	0.46	0.39	0.31	0.56
macro_2004	87.12	74.00	96.30	69.55	58.07	60.56	75.19	81.47	61.70	61.26	60.59	64.69

TEZ1 -TEZ11	-	Eizugsgebietskennzeichnung
gwn_2004	-	Jahressumme der Grundwasserneubildung im TEZ _i
qifl_2004	-	Jahressumme vom Interflow im TEZ _i
qbas_2004	-	Jahressumme vom Basisabfluss im TEZ _i
qdir_2004	-	Jahressumme vom Direktabfluss im TEZ _i
macro_2004	-	Jahressumme vom Makroporenabfluss im TEZ _i

Der log. R-square Gütewert mit dem Zeitversatz von -1 Tag (die Hochwasserspitzen (HWSptz) der simulierten Ganglinie werden um einen Tag rückwärts verschoben) liefert einen verhältnismäßig guten Wert von 0,7865. Die bedeutet, dass die HW-Spitzen im Modell in der Regel um einen Tag früher als die gemessenen HW-Spitzen zu beobachten sind. Der ohne Zeitversatz der simulierten Ganglinie berechnete log. R-square-Gütewert von 0,7832 liegt nur geringfügig unter dem Wert mit Berücksichtigung des Zeitversatzes. Das Gesamtverhalten des kalibrierten N-A-Modells wurde somit im Validierungszeitraum bestätigt (siehe Tabelle 6.9).

Tabelle 6.8: Gütewerte nach den vorgenommenen Anpassungen im Jahre 2004

lin. R-square	-1	0.7010
LIN. R-SQUARE	0	0.6949
log. R-square	-1	0.7865
LOG. R-SQUARE	0	0.7832

Durch die Anpassung der Bodenparameter konnte eine Verbesserung der Plausibilität der Jahressummen der Grundwasserneubildung - und damit auch der Abflusskomponenten -

erzielt werden (siehe Tabelle 6.7). Aus statistischer Sicht (siehe Gütewerte in Tabelle 6.8) kam es gegenüber der Erstkalibrierung jedoch zu einer geringfügigen Verschlechterung.

Zusammenfassend und unter Berücksichtigung der Ausgangsdatenlage (z.B. Anzahl der zur Kalibrierung verwendbaren Pegel, Bodenarten und ihre räumliche Erkundung in eBOD) können die statistischen Kennwerte der Modellkalibrierung als durchaus gut und akzeptabel bezeichnet werden. Dies trifft damit auch auf die errechneten Zeitreihen der vertikalen Wasserflüsse, die zur Grundwasserneubildung beitragen, zu.

6.8. Modellvalidierung

Die Gütewerte variieren von Jahr zu Jahr (in Tabelle 6.9 zeigen Spalte 3 und 4 dieses Verhalten). Sie weisen einen starken Zusammenhang mit der Jahressumme des Niederschlages auf. Ausgeprägter ist die Spannweite der Jahressummen beim Niederschlag, wenn die Differenzen der Jahressummen in Bezug auf den 11-jährigen Mittelwert der Jahressumme betrachtet werden (Tabelle 6.9).

Tabelle 6.9: Auswertung der Modellvalidierung mit dem Gesamtmodell (westliches und östliches Modell in einem Gesamtmodell vereinigt).

Jahr	LIN. R ²	LOG. R ²	Sum.Nied	Diff.Nied	Diff=JhresSumme - 11JährMitt	GWN	GWN/Nied	GWN/11JhrMittel
	0	0	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
2000	0.6169	0.7679	985		121	74	7.5	8.6
2001	0.5800	0.6980	751	-234	-113	12	1.6	1.4
2002	-0.4336	0.6680	916	164	51	90	9.8	10.4
2003	0.3108	0.6265	636	-279	-228	-3	-0.4	-0.3
2004	0.6838	0.7754	827	191	-37	52	6.2	6.0
2005	0.0704	0.6855	990	163	126	73	7.4	8.4
2006	0.7073	0.7054	815	-175	-49	42	5.1	4.8
2007	0.0278	0.3369	882	67	17	50	5.7	5.8
2008	0.1193	0.3849	824	-58	-40	48	5.8	5.5
2009	0.3323	0.5991	1043	219	179	72	6.9	8.3
2010	0.0176	0.4515	837	-206	-27	39	4.7	4.6
	11 Jähriges Mittel [mm]=		864	11 Jähriges Mittel [mm]=		50		
				11jähriges Mittel [%] =			5.5	5.8

Lin. R ²	-	Berechnung des Gütekriteriums mit gemessenen und simulierten Durchflusswerten
Log. R ²	-	Berechnung des Gütekriteriums mit den logarithmierten Durchflusswerten der gemessenen und simulierten Ganglinie
Sum.Nied		Jahressumme des Niederschlages
Diff.Nied		Differenz der Jahressumme zum Folgejahr

Diff=JhresSumme - 11JahrMitt		Differenz der Jahressumme zum 11-Jahresmittel der Jahressumme
GWN		Jahressumme der Grundwasserneubildung
GWN/Nied		Quotient der Jahressummen
GWN/11JhrMittel		Quotient der Jahressummen

Genau dieses Verhalten prägt die Schwankungen der Jahressummen der Grundwasserneubildung. Die Spannbreite erstreckt sich von einer jährlichen Summe von -3 (mm) bis zu einer Summe von 90 (mm). Hierbei muss der Einfluss des Niederschlages auf die Grundwasserneubildung und die Bodenmächtigkeit sowie das stark variierte Geländegefälle, vor allem an den Talrändern, berücksichtigt werden. In höheren Lagen mit starkem Geländegefälle ist der Direktabfluss in Relation zur Tiefenversickerung im Boden sehr stark. Wird die Betrachtung der Grundwasserneubildung auf das Gebiet des Grundwassermodells fokussiert, dann ist die Tiefenversickerung des Wassers ausgeprägter als die Abflusskomponenten Direktabfluss und Interflow.

Auf Grund bereits erwähnter Randbedingungen bei der N-A-Modellierung liegen die Gütewerte nun in einem akzeptablen Bereich. Eine bessere Kalibrierung des Modells könnte nur durch ein erhebliches Ausdehnen des N-A-Modells mit mehreren beobachteten Pegelstellen erzielt werden, wobei die fehlenden hochaufgelösten Bodenparameter weiterhin nicht vorhanden wären und einen Einfluss auf die Qualität der Kalibrierung ausüben würden.

Die Tabelle 6.9 zeigt einen ausgeprägten Einfluss der Jahressummen des Niederschlages auf die Kalibrierungsgüte und auf die Jahressumme der Grundwasserneubildung.

6.9. Erstellen der Zeitreihen zur Grundwasserneubildung

Das N-A-Modell WaSiM kann die Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von dem Modellzeitschritt (hier mit Tageswerten modelliert) in einem binären Raster zu jedem Tag des Modellierungszeitraums ausgeben. Diese Raster von 2000 bis 2010 der GW-Neubildung als Tageswerte werden zum Erstellen der erforderlichen Grundwasserneubildungs-Zeitreihen mit Hilfe eines für diese Aufgabe speziell erstellten Computer-Programmes verwendet.

Das Computer-Programm ist mit der objektorientierten Sprache Visual Basic 2008 geschrieben und wird durch eine INI-Datei gesteuert. Das Programm errechnet in den Rasterflächen für das vorgegebene Zeitintervall des N-A-Modells die Grundwasserneubildungs-Zeitreihe für das numerische Grundwassermodell (siehe Kap. 7).

Das Modellgebiet wurde dazu in 2 km x 2 km große Teilflächen ("Kacheln") unterteilt (Abbildung 6.10). Die Größe der Quadrate wurde so gewählt, dass einerseits die Anzahl der Quadrate relativ niedrig gehalten und somit ihre Handhabung bei der Dateneingabe erleichtert wird und andererseits die Fläche der Quadrate nicht allzu groß wird, wodurch die Mittelwertbildung der Grundwasserneubildung innerhalb der Quadrate die Variabilität dieser hydrologischen Größe noch ausreichend wiedergibt.

Das Modellgebiet konnte auf diese Weise mit insgesamt 36 Quadraten vollständig abgedeckt werden. Die Nummerierung der Quadrate beginnt links oben, mit Quadrat 1.1, wobei die erste Ziffer die aktuelle Zeile und zweite Ziffer die aktuelle Spalte im Raster darstellt. Die Mittel-

wertbildung erfolgte nur für 30 Quadrate, in den restlichen 6 Quadraten ist der Beitrag der Grundwasserneubildung entweder vernachlässigbar oder sie wurde mit dem für das benachbarte Quadrat ermittelten Wert angesetzt. So wurde in den Quadraten 1-4 und 1-5 die Grundwasserneubildung vernachlässigt, das 1-6 mit dem Wert von 1-7, 4-8 mit dem Wert von 3-8, in 5-3 mit dem Wert von 4-3 und 5-6 mit dem Wert von 5-5 belegt.

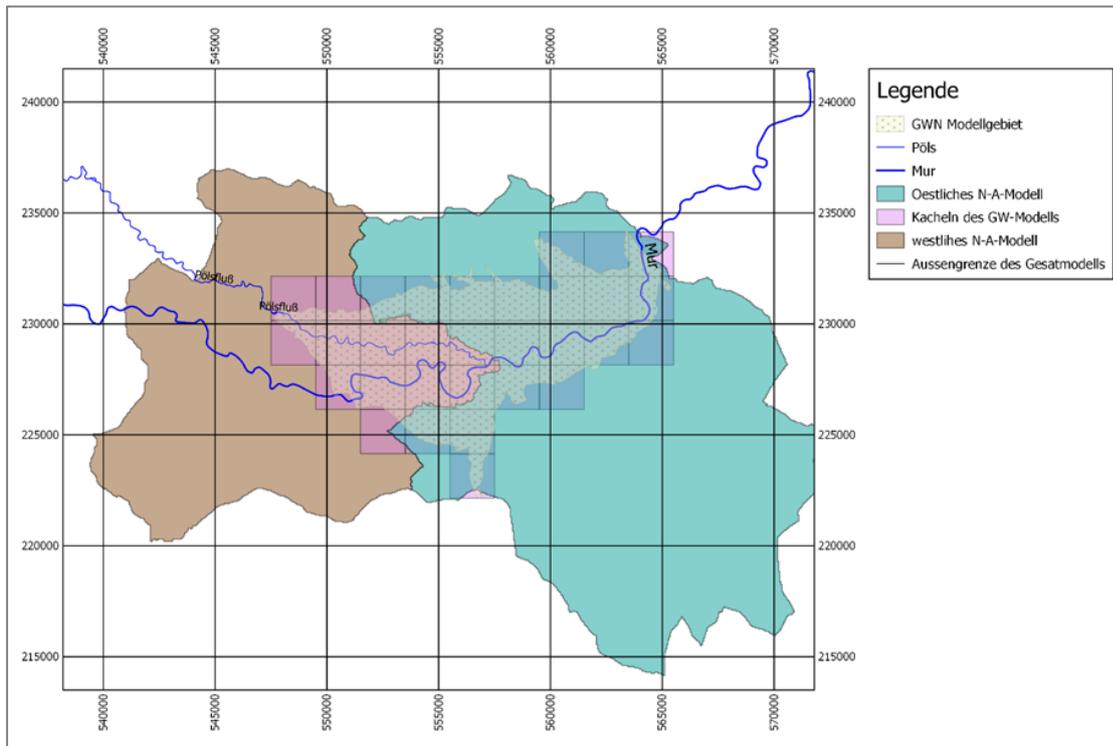


Abbildung 6.10: Modellstrukturierung mit den Teilflächen (Kacheln) für das FEFLOW-Modell.

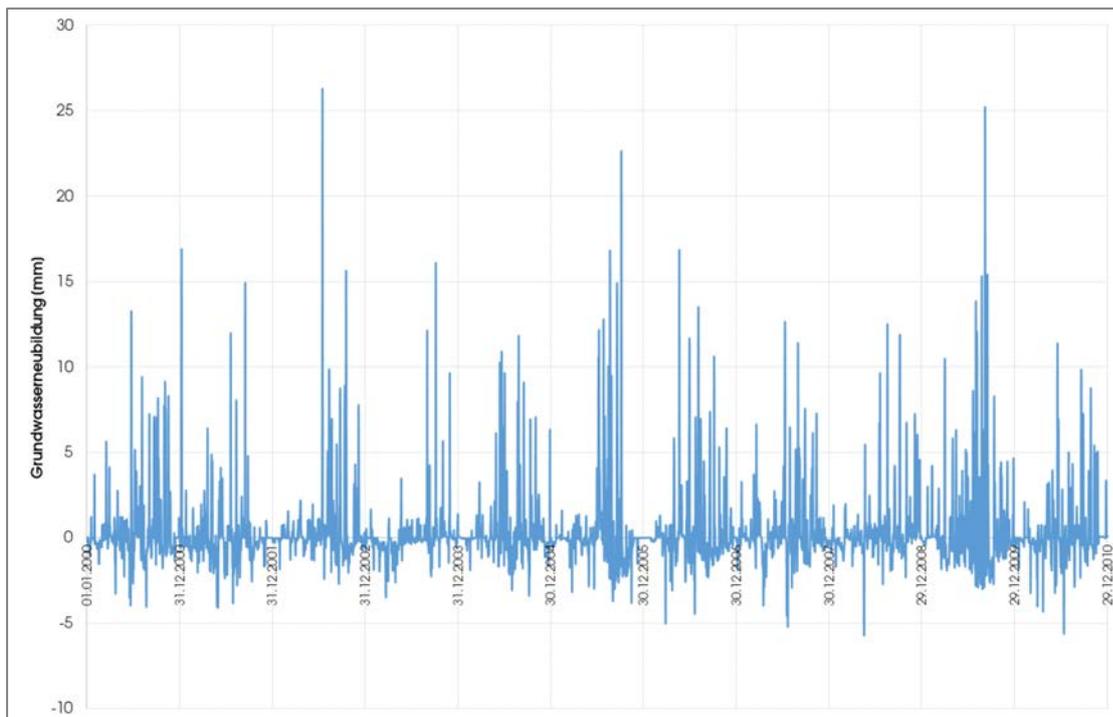


Abbildung 6.11: Tageswerte der Grundwasserneubildung 2000 bis 2010 in der Kachel 4-3 (Murwald - Fischung).

In Abbildung 6.11 wird exemplarisch die Zeitreihe der für die Teilfläche 4-3 errechneten Grundwasserneubildung gezeigt.

Die Grundwasserneubildungsraten in den einzelnen Kacheln (Teilflächen, siehe Tabelle 6.10) für das Grundwassermodell sind höher als die Werte in Tabelle 6.9. Die Werte der Grundwasserneubildung in Tabelle 6.9 spiegeln die hydrologischen Verhältnisse des gesamten Modellgebietes des N-A-Modells wider, während in Tabelle 6.10 die Werte der Grundwasserneubildung im Modellgebiet des Grundwassermodells dargestellt sind. Der Unterschied zwischen den zwei Modellgebieten ist in Abbildung 6.10 ersichtlich. Das Modellgebiet des N-A-Modells beinhaltet relativ große Teilgebiete mit hohen Abflussanteilen und wenig Grundwasserneubildung (Hochgebirge), im Gegensatz dazu sind die Grundwasserneubildungsraten im Modellgebiet des Grundwassermodells deutlich höher, weil sie die hydrologischen Verhältnisse im Beckenbereich wiedergeben.

Tabelle 6.10: Jahresmittelwerte der Grundwasserneubildung in mm (2000-2010), bezogen auf die Teilbereiche (Kacheln) des Grundwassermodells.

GWN Mittel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1							90	113	129
2	92	111	119	108	115	113	111	123	132
3	95	108	103	105	121	121	95	101	109
4		116	88	42	60	101	104	(101)	
5			(88)	109	109				
6					107				

6.10. Resümee

Die Modellierung gestaltete sich im Allgemeinen schwierig. Grund dafür war in erster Linie die fehlende digitale Bodenkarte und die ungenügende Anzahl der Pegel, die eine adäquate Kalibrierung ermöglichen.

Unter Berücksichtigung der Ausgangsdatenlage (z.B. Anzahl der zur Kalibrierung verwendbaren Pegel, Bodenarten und ihre räumliche Erkundung in eBOD) können die statistischen Kennwerte der N-A-Modellkalibrierung jedoch als durchaus gut und akzeptabel bezeichnet werden. Dies trifft damit auch auf die errechneten Zeitreihen der vertikalen Wasserflüsse, die zur Grundwasserneubildung beitragen, zu.

7. NUMERISCHES GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL

7.1. Abgrenzung des Modellgebietes

Die Abgrenzung des Modellgebietes erfolgte in mehreren Schritten. Die Ausgangslage bildete der vom Umweltbundesamt definierte Grundwasserkörper GK100096 Aichfeld-Murboden ohne das obere Pölstal (siehe Kap. 4.1). Nach eingehendem Studium der geologischen Verhältnisse und der hydrologischen Regime der Grundwassermessstellen wurden vom amtlich definierten Grundwasserkörper jene Bereiche abgetrennt, welche hydrogeologisch nicht dem Grundwasserkörper zuzuordnen sind (siehe Kap. 4.2 und 4.3, Abbildung 7.1).

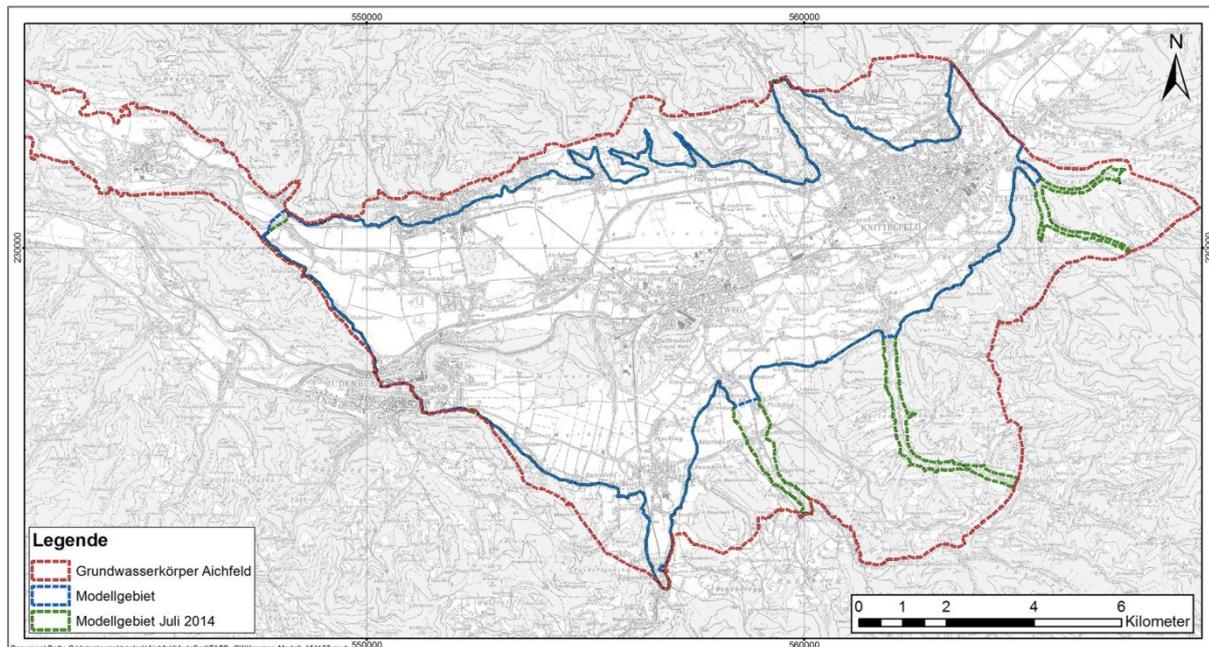


Abbildung 7.1: Entwicklung der Abgrenzung des Modellgebietes.

In einem zweiten Schritt wurden im Juli 2014 jene Teilbereiche des Grundwasserkörpers ausgeklammert, in welchen weder ausreichende hydrogeologische Informationen zum Aufbau des Modells noch Grundwassermessstellen zur lokalen Kalibrierung zur Verfügung standen. Dabei handelt es sich um die Gräben der südöstlichen Seitzubringer Lobmingbach, Feistritzbach, Geierleitengraben und Breitwiesenbach, die letzten beide östlich von Knittelfeld. Das letztendlich abgegrenzte Modellgebiet ist Abbildung 7.1 (blau umrandet). Die Modellgebietsgröße beträgt 83,3 km².

7.2. Software und Modellnetz

Der Aufbau des numerischen Strömungsmodells erfolgte mit Hilfe der Software FEFLOW Version 6.2 von der Firma DHI-WASY ((2) und (3)).

Die Software FEFLOW ist ein professionelles Softwarepaket zur Berechnung von Wasserströmung, Massen- und Wärmetransport in porösen Medien basierend auf der Methode der Finiten Elemente. Die Simulationen können zwei- und dreidimensional, unter gespannten oder ungespannten Verhältnissen durchgeführt werden.

FEFLOW beinhaltet Prä- und Postprocessing-Funktionen sowie einen effizienten Simulationskern. Eine grafische Oberfläche erlaubt dabei die komfortable Steuerung der umfangreichen Modellierungsmöglichkeiten. FEFLOW ist ein vollständig integrales System vom Simulationskern über die Eingabeoberfläche bis zum Postprozessor. Es bietet zudem eine offene Programmierschnittstelle.

Bei der Generierung des Modellnetzes wurden folgende Elemente berücksichtigt:

- ▷ Die äußere Modellgrenze als geschlossenes Polygon.
- ▷ Die vier Hauptflüsse Mur, Pöls, Ingeringbach und Granitzenbach als linienhafte Elemente.
- ▷ Das 2 x 2 km Raster zur Regionalisierung der im N-A-Modell ermittelten Grundwasserneubildungsraten.
- ▷ Die Lage der Entnahmebrunnen bzw. Wärmepumpenanlagen, der Rückführbrunnen bzw. Versickerungsanlagen und die Grundwassermessstellen als Punktdaten.

Bei der Netzgenerierung wurde basierend auf den oben angeführten Elementen und in Hinblick auf die Größe des Modellgebietes zuerst ein aus ca. 22.500 Dreieckselementen bestehendes Modellnetz generiert, wobei die durchschnittliche Elementgröße ca. 5.200 m² betrug.

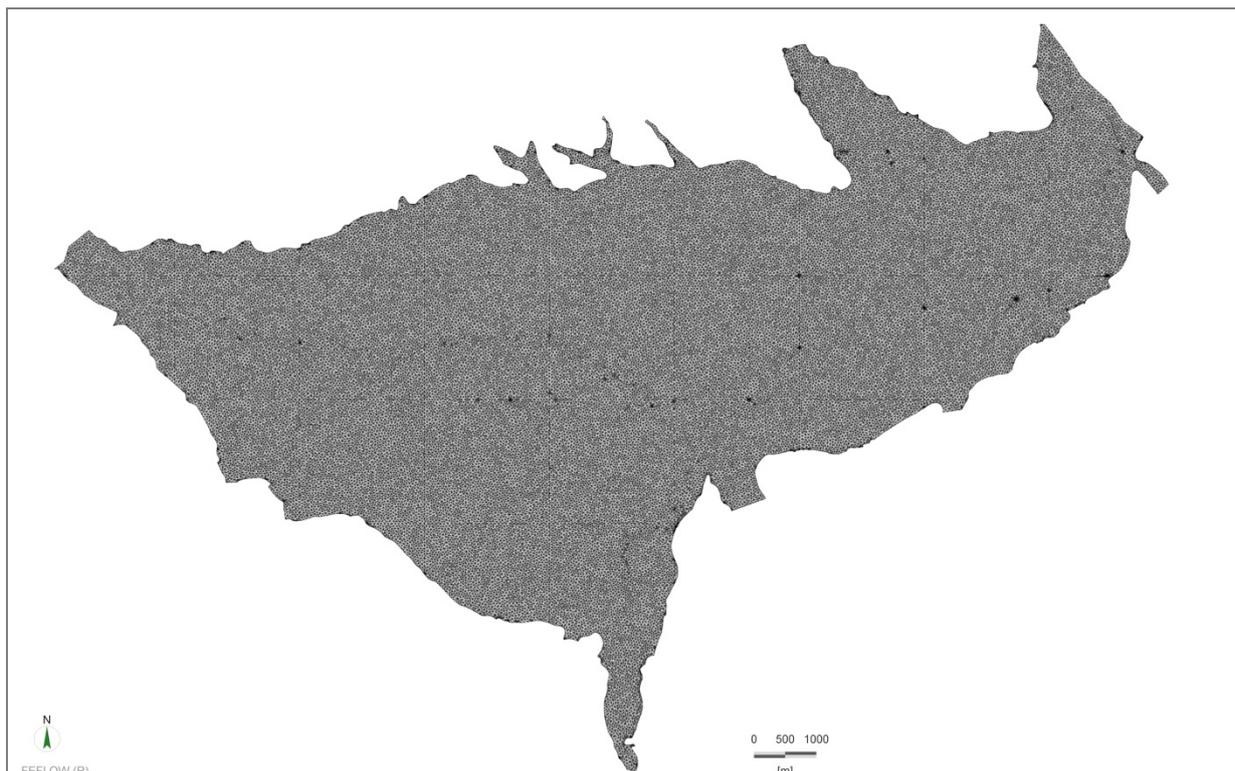


Abbildung 7.2: Das Modellnetz mit 96.700 Dreieckselementen.

Im nächsten Schritt wurde das Netz zur besseren Erfassung und Nachbildung des Stauerreliefs sowie zur genaueren Abgrenzung der inaktiven Bereiche im gesamten Modellgebiet feiner diskretisiert und somit ein Modell mit ca. 96.700 Elementen generiert. Dabei beträgt die durchschnittliche Kantenlänge der Dreieckselemente zwischen 40 m und 60 m, die Größe der Elemente 800 - 1.000 m². Abbildung 7.2 zeigt das finale Modellnetz.

7.3. Geometrie des Grundwasserleiters

Die Geometrie des Grundwasserleiters definieren einerseits die horizontale Abgrenzung des Modellgebietes andererseits die den Grundwasserleiter vertikal begrenzenden Stauer- und Geländeoberflächen (Abbildung 7.3).

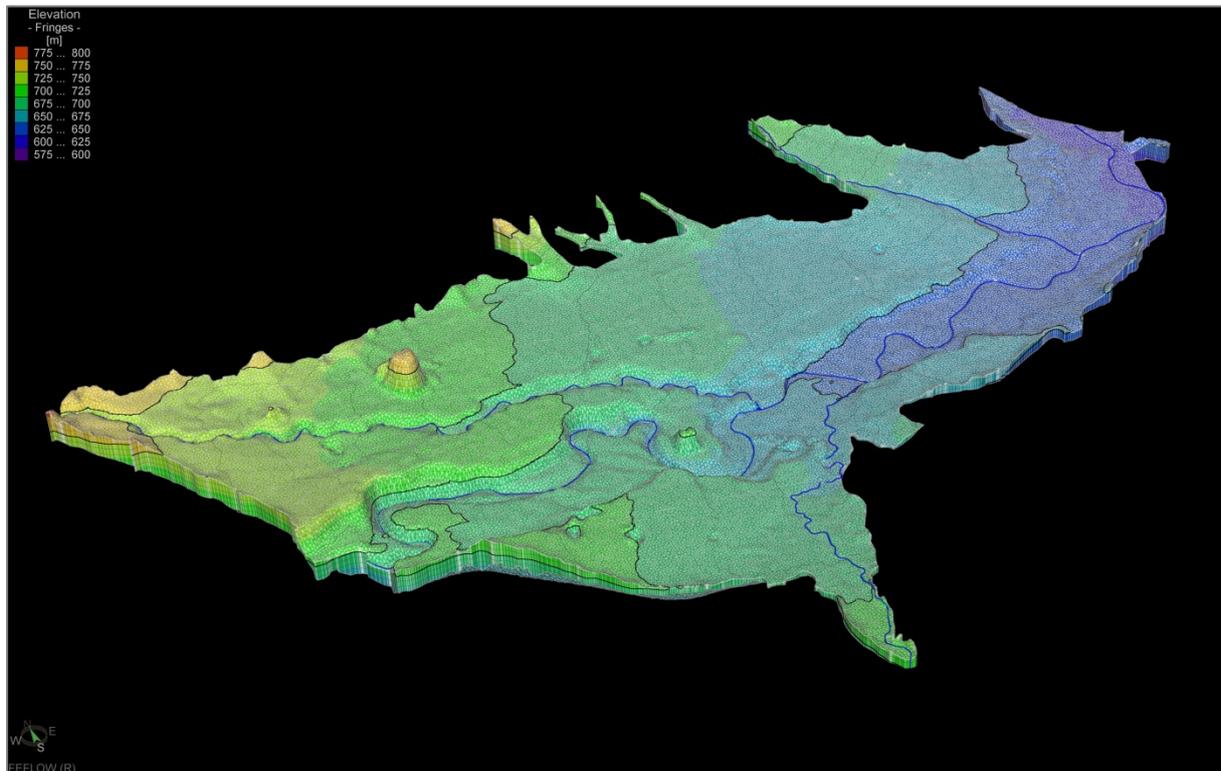


Abbildung 7.3: Geometrie des Grundwasserleiters (10fach überhöht).

Die Geländeoberfläche im Modell wurde mit Hilfe des auf einem 50 x 50 m Raster vorliegenden digitalen Geländemodells des Gebietes erstellt (siehe Daten GIS Steiermark in (27)).

Das Stauermodell entstand nach Verarbeitung und Auswertung sämtlicher zur Verfügung stehenden Bohrdaten und geologischen Informationen und wurde grundsätzlich aus dem hydrogeologischen Modell übernommen (siehe Kap. 4.5.2).

Die Staueroberfläche musste jedoch nach den ersten Läufen des numerischen Modells in interaktiven Schritten in jenen Bereichen modifiziert werden, wo das numerische Modell ein eindeutiges Trockenfallen ergab, obwohl diese Bereiche den hydrogeologischen Vorstellungen entsprechend als grundwasserführend ausgewiesen wurden. Solche kritische Bereiche waren im westlichen Modellgebiet die zwei möglichen Paläorinnen des Pölsflusses mit der dazwischen eingeschlossenen Hochzone des Grundwasserstauers sowie das Tal des Granitzenbaches.

Die Isolinienkarte des Grundwasserstauers ist Abbildung 4.22 zu entnehmen. Abbildung 7.4 gibt die Staueroberfläche des Feflow-Modells in zehnfacher Überhöhung wieder.

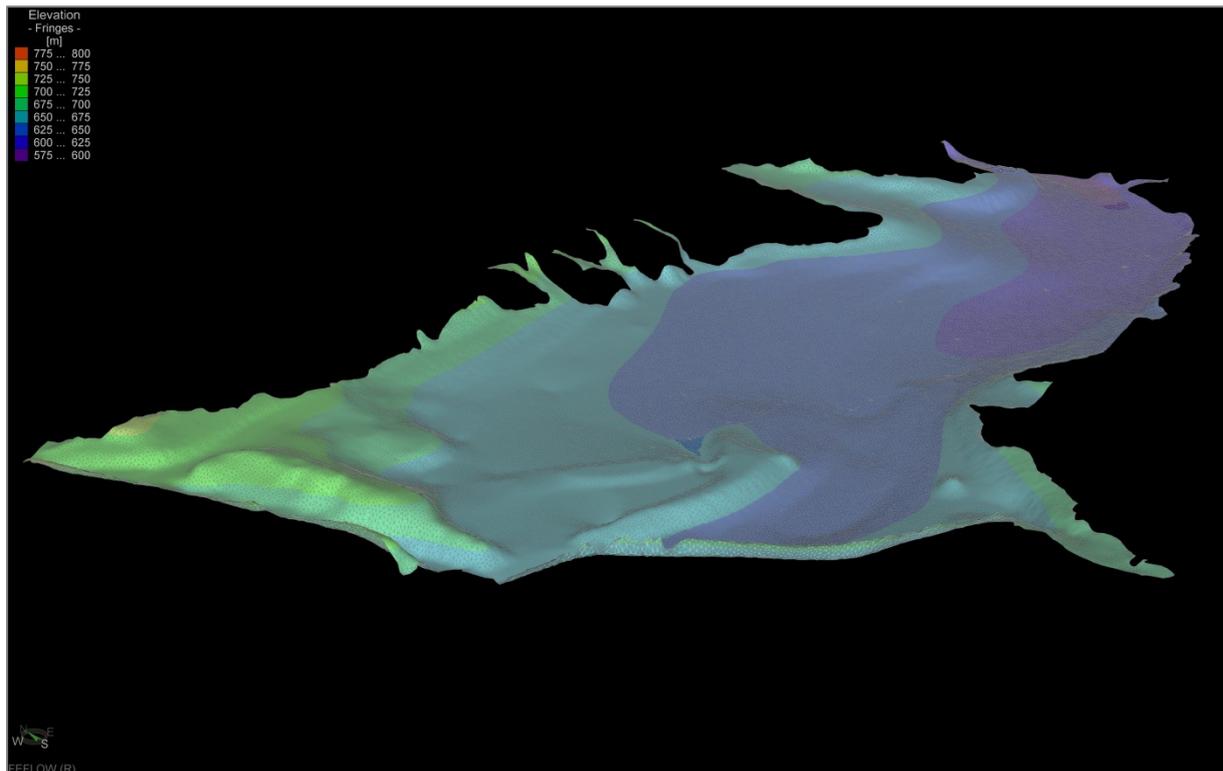


Abbildung 7.4: Geometrie des Grundwasserstauers (zehnfach überhöht).

7.4. Durchlässigkeitsverteilungen und Porositäten

Die Durchlässigkeitsverteilung wurde durch Regionalisierung der im Modellgebiet erhobenen, punktuell vorliegenden Durchlässigkeitswerte unter Berücksichtigung der geologischen Strukturen erarbeitet (vgl. dazu Kap. 4.7). Die Durchlässigkeit variiert im Modellgebiet generell zwischen $8,0 \cdot 10^{-4}$ m/s und $3,5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Die Informationen über die Durchlässigkeiten sind jedoch ungleichmäßig verteilt. So beschränken sich diese Informationen auf die größeren Wasserversorgungsanlagen und die Industriegebiete. Die meisten verwertbaren Durchlässigkeitswerte liegen im Bereich der Mur vor, da dort für Grundwasserentnahmen hydrogeologisch bevorzugte Verhältnisse auftreten.

Aus den ca. 40 Daten wurde die dargestellte Durchlässigkeitsverteilung und der Kalibrierung als Anfangsverteilung der Durchlässigkeit zugrunde gelegt konstruiert (siehe Abbildung 4.32).

In weiterer Folge wurde im Zuge der Modellkalibrierung die Durchlässigkeitsverteilung iterativ variiert. Die aus diesem Prozess resultierende Durchlässigkeitsverteilung ist Abbildung 7.5 und Beilage 9 zu entnehmen. Die höchsten hydraulischen Durchlässigkeiten treten demnach in den holozänen Sedimenten auf. Hochzonen und Randbereiche weisen tendenziell geringere Durchlässigkeiten auf.

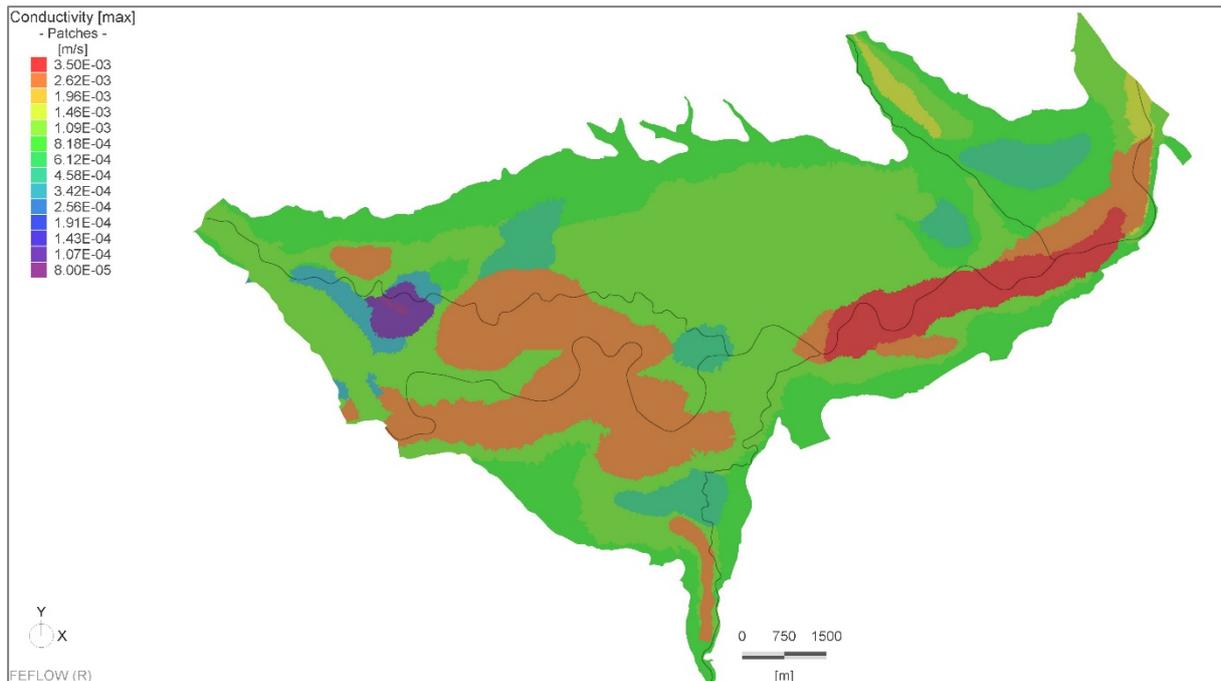


Abbildung 7.5: Durchlässigkeitsverteilung als Ergebnis der Modellkalibrierung.

Direkt ermittelte Porositätswerte konnten im Modellgebiet nicht erhoben werden. Daher wurden die für die instationären Kalibrierung bzw. Simulation erforderlichen Porositäten rechnerisch in Abhängigkeit von den Durchlässigkeiten ermittelt. Zur rechnerischen Ermittlung der effektiven Porositäten wurde die Marotz-Formel (8) herangezogen:

$$n_{\text{eff}} = 0,462 + 0,045 \cdot \ln\{k_f\}$$

n_{eff} - effektive Porosität

k_f - Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

Für die im Modellegebiet gültigen Durchlässigkeiten liefert die empirische Formel einen Porositätsbereich zwischen 0,14 und 0,21.

7.5. Modellkalibrierung

7.5.1. Einleitung und Vorgehensweise

Die Modellkalibrierung erfolgte schrittweise zuerst für die stationäre und im Anschluss daran für die instationäre Modellvariante.

Zunächst wurden zwei stationäre Modelle für Niederwasser- (nGW) und Hochwasserzustand (hGW) entwickelt und kalibriert. In diesen stationären Modellen wurden die zeitinvarianten Modellparameter wie Durchlässigkeit und hydraulischer Widerstand der Gewässersohlen kalibriert.

Streng genommen ist auch der hydraulische Widerstand der Gewässersohlen ein zeitabhängiger Parameter, welcher sich meistens zwar langsam aber nachhaltig verändern kann; je-

doch können diese Veränderungen kaum durch Messungen, höchstens qualitativ nachgewiesen werden. Sie wurden daher in den Modellen zeitinvariant angenommen.

In der Software FEFLOW werden *Transfer-Rate*-Werte als breitenbezogene Werte eingegeben, $(k \times B)/d$ (m/s). Daraus lässt sich der Leakage-Parameter durch Division durch die mittlere Breite des Gewässers ermitteln (siehe Tabelle 7.1).

Dem jeweiligen hydrologischen Zustand entsprechend wurden auch die äußeren Randbedingungen, wie Randzufluss und -abfluss kalibriert, welche jedoch als zeitvariant anzusehen sind.

Randzuflüsse und -abflüsse wurden in den Modellvarianten als spezifische Durchflüsse (*Fluid flux*) definiert.

Die Simulation der stationären Zustände wurde im instationären Modus durchgeführt. Dies war deshalb notwendig, weil die Iteration im stationären Modus wegen des Trockenfallens gewisser Bereiche zu differierenden und nicht eindeutigen Ergebnissen führte. Im instationären Modus wurde in einem Zeitraum von 10 Jahren die Simulation durchgeführt und somit ausreichend Zeit zum Finden einer ausreichend konvergierenden Lösung zur Verfügung gestellt.

Mit der stationär kalibrierten Durchlässigkeitsverteilung und den stationär kalibrierten Leakage-Faktoren der Flusssohlen wurde die instationäre Kalibrierung des Modells vorgenommen. Bei der instationären Kalibrierung wurden die Porosität und die Randzuflüsse und -abflüsse in geringem Umfang variiert.

Die Simulationen wurden weiters mit den folgenden Nebenbedingungen in Hinblick auf die Wasserspiegellage des ungespannten Grundwassers durchgeführt:

- ▷ Der Wasserspiegel darf die Geländeoberfläche nicht überschreiten
- ▷ Der Wasserspiegel darf die Staueroberfläche nicht unterschreiten.
- ▷ Die minimale Restwassertiefe wurde mit 1×10^{-5} m definiert.

7.5.2. Äußere Randbedingungen

Die äußeren Randbedingungen des Modells sind die undurchlässigen Randabschnitte und die Zu- und Abflussränder sowie die Randabschnitte mit diffusen Zuflüssen.

Dem jeweiligen hydrologischen Zustand entsprechend wurden auch die äußeren Randbedingungen, wie Randzufluss und -abfluss kalibriert, welche jedoch als zeitvariant anzusehen sind.

Randzuflüsse und -abflüsse wurden in den Modellvarianten als spezifische Durchflüsse definiert. Diese Randbedingungen wurden als Fluid-flux, d.h. als spezifischer Zu- oder Abfluss mit der Dimension $(m^3/m^2 \cdot s = m/s)$ definiert. Somit ergibt sich während der Iteration in Abhängigkeit von der durchflossenen Fläche (Breite mal gesättigte Mächtigkeit) der tatsächliche Volumenstrom.

Auf diese Weise wurde eine Randbedingung definiert, welche keinen fixe Werte für das Modell vorgibt, sondern die Berechnung der tatsächlichen Durchflüsse in Abhängigkeit von der sich einstellenden gesättigten Mächtigkeit am betroffenen Modellrand erlaubt. Diese Mächtigkeit (Wasserspiegellage) wird im Laufe der Simulation berechnet.

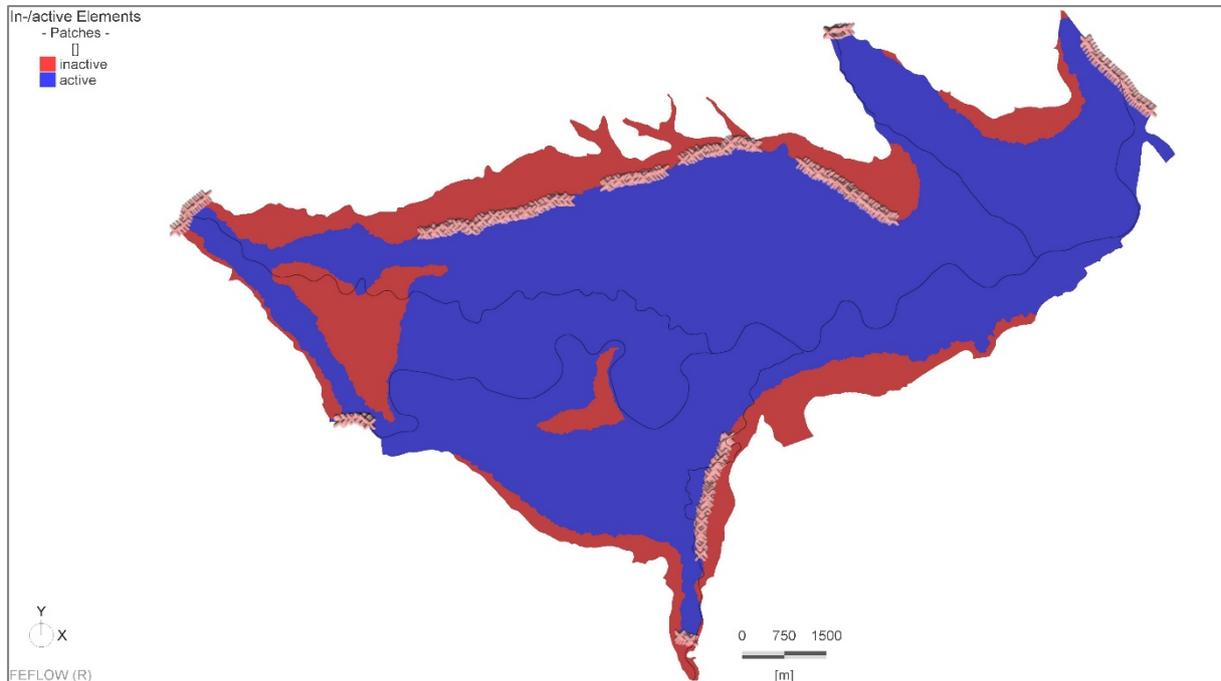


Abbildung 7.6: Modellzonen mit Randzuflüssen und Abflüssen (gekennzeichnet mit "x").

Abbildung 7.6 zeigt im Überblick jene Randzonen, in denen im Modell Zuflüsse und Abflüsse definiert wurden.

7.5.3. Innere Randbedingungen

7.5.3.1. Wasserspiegellagen der Gewässer

Die inneren Randbedingungen des Modells stellen die Fließgewässer dar.

Digitale Gewässerdaten von Abflussuntersuchungen wurden vom Auftraggeber übermittelt (siehe (27)). Es handelte sich dabei um die folgenden Gewässer:

- ➔ Feistrizbach
- ➔ Granitzenbach
- ➔ Ingeringbach
- ➔ Lobmingbach
- ➔ Pöls
- ➔ Mur

Von den sechs oben angeführten Gewässern schieden Feistritzbach und Lobmingbach aus. Die digitalen Daten des Feistritzbaches waren nicht verwertbar, während der Lobmingbach bzw. das ganze Tal des Lobmingbaches wegen fehlender hydrogeologischer Informationen und nicht vorhandenen Grundwasserdaten vom Modellgebiet abgetrennt wurde (siehe Kap. 7.1).

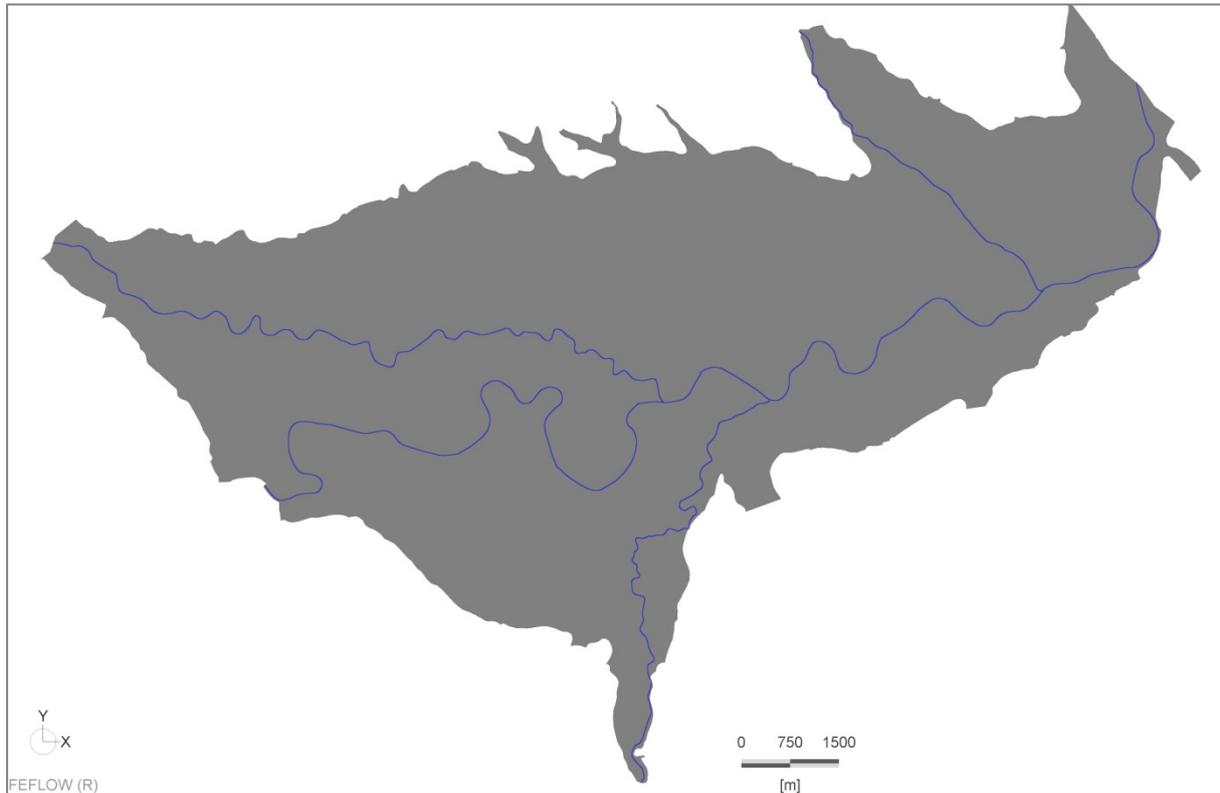


Abbildung 7.7: Im Grundwassermodell berücksichtigtes Gewässernetz (West-Ost verlaufend die Mur, im Nordwesten die Pöls, im Süden der Granitzenbach sowie im Nordwesten der Ingeringbach).

Die vier im Modell realisierten Fließgewässer, Mur, Pöls, Ingeringbach und Granitzenbach (siehe Abbildung 7.7) wurden der Fluss-Randbedingung (Leakage-Konzept) entsprechend mit ihren Sohllagen und Wasserspiegellagen berücksichtigt. Die Sohllagen wurden aufgrund der bereit gestellten Querprofile ermittelt und in Form von Längenschnitten dargestellt.

Grundsätzlich wird bei einer instationären Kalibrierung von jedem Querprofil für jeden Kalibrierungstag die mittlere Wasserspiegellage benötigt. Eine exakte Berücksichtigung der entlang der Flüsse veränderlichen Wasserspiegellagen hätte somit eine instationäre Spiegellinienberechnung für sämtliche Flüsse und Kalibrierungszustände mit enormem Aufwand erforderlich gemacht.

Da diese aber nicht vorliegen, wurden die Wasserspiegellagen nach einem vereinfachten Ansatz näherungsweise ermittelt. So wurden die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Wasserstandsdaten der Flüsse (Tagesmittelwerte) in einem ersten Bearbeitungsschritt in Kenntnis der Pegelprofile in Wassertiefendaten umgewandelt. Unter der Voraussetzung, dass die in den Pegelprofilen berechneten Wassertiefen mehr oder weniger auch im gesamten Modellabschnitt des jeweiligen Flusses gültig sind, wurden die Wasserspiegellagen der Flüsse mit einer parallel zur Gewässersohle verlaufenden Linie realisiert, wobei für die im Gewässerabschnitt konstante Wassertiefe die im Pegelquerschnitt gemessene Wassertiefe herangezogen wurde.

Die Vorgangsweise zur Abschätzung der Wasserspiegellagen besitzt eine akzeptable Genauigkeit in Hinblick auf die deutlich größeren Unsicherheiten anderer Modellparameter. Der Fehler bei dieser Methode kann mit einigen Dezimeter angegeben werden.

Abbildung 7.8 zeigt beispielhaft die im Modell angenommenen Wasserspiegellagen für NW und HW in der Mur. Das Stauziel im Stauraum Fischeing wurde im Längenschnitt nicht berücksichtigt, da die Lage der Stauwurzel den zur Verfügung gestellten Unterlagen nicht entnommen werden konnte.

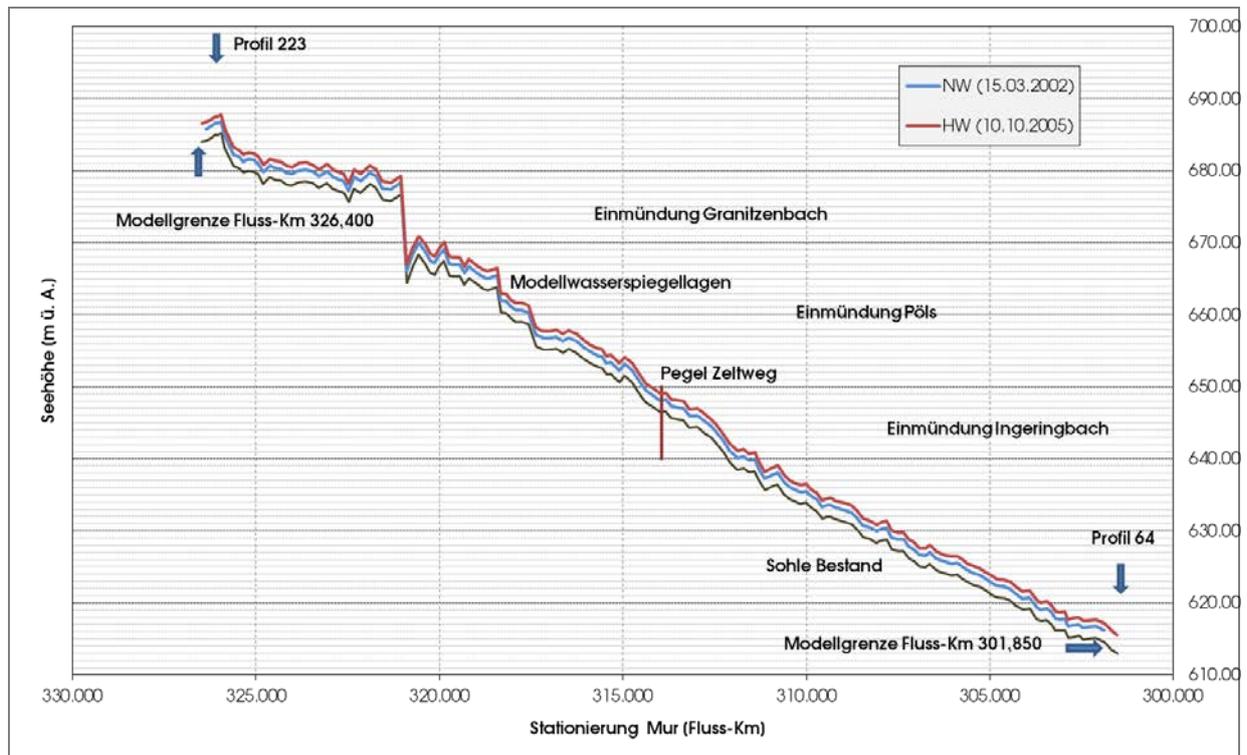


Abbildung 7.8: Längenschnitt der Mur mit Modellwasserspiegellagen für NW und HW.

Bei zukünftigen Projekten sollten daher zumindest für die Stichtage der Kalibrierung die hydraulischen Berechnungen der Flusswasserspiegellagen für sämtliche Querprofile vorliegen.

Stehende Gewässer wurden im Modell nicht realisiert.

Bei der stationären Kalibrierung für die drei hydrologischen Zustände wurde die in Tabelle 7.1 dargestellten Wassertiefen angenommen.

Tabelle 7.1: Wassertiefen und mittlere Breiten der Flüsse bei nGW, mGW und hGW.

Wassertiefen der Flüsse (m)	Mittlere Breite (m)	nGW	mGW	hGW
Mur	40 - 45	1,62	1,95	2,59
Pölsfluss	10 -11	0,70	0,80	1,01
Ingeringbach	10 -11	0,90	1,02	1,21
Granitzenbach	10	0,75	0,83	1,04

7.5.3.2. Sohlwiderstand der Fließgewässer - Leakage-Faktoren

Streng genommen ist auch der hydraulische Widerstand der Gewässersohlen ein zeitabhängiger Parameter, welcher sich meistens langsam aber nachhaltig verändern kann. Da jedoch diese Veränderungen kaum durch Messungen und wenn dann nur qualitativ nachgewiesen werden können, diese Daten aber nicht zur Verfügung standen, wurden die Leakage-Faktor daher als zeitinvariant angenommen wurde.

In der Software FEFLOW werden *Transfer rate* Werte eigentlich als breitenbezogene Werte eingegeben, $(k \times B)/d$ (m/s). Daraus lässt sich der Leakage-Parameter durch Division durch die mittlere Breite des Gewässers ermitteln (siehe Tabelle 7.1).

Bei der Realisierung der Leakage-Faktoren der Flusssohlen wurde auf die Erfahrungswerte bei bereits validierten Grundwassermodellen im Murtal zurückgegriffen (z.B. (21) und (24)).

Wie bei anderen Projekten wurde grundsätzlich zwischen den Leakage-Faktoren bei der Infiltration aus dem Flussbett und der Exfiltration in das Flussbett unterschieden und davon ausgegangen, dass der Leakage-Faktor bei der Infiltration (wegen der potentiellen Kolmation) um eine Größenordnung niedriger ist als bei Exfiltration. In FEFLOW wird bei 2D Modellen jedoch nicht der Leakage-Faktor (1/s), sondern der bereits mit der Flussbreite multiplizierte Wert (m/s) eingegeben. Die Transportfläche für den Wasseraustausch errechnet sich durch weiteres Multiplizieren mit der Länge des gegenständlichen Flussabschnittes.

Um den oben beschriebenen Leakage-Wert berechnen und eingeben zu können, wurden die mittleren Breiten der Flüsse ermittelt (siehe Tabelle 7.1).

In Tabelle 7.2 werden exemplarisch die breitenbezogenen Wert des Leakage-Faktors (*Transfer rate*) für die Mur abschnittsweise dargestellt.

Tabelle 7.2: Breitenbezogene Werte des Leakage-Faktors (*Transfer rates*) für die Mur.

Fluss-Km	Transfer rate IN (m/s)	Transfer rate OUT (m/s)
301,888 – 306,926	6×10^{-6}	6×10^{-5}
306,926 – 315,126	1×10^{-6}	1×10^{-5}
315,126 – 317,985	5×10^{-6}	5×10^{-5}
317,985 – 321,060	1×10^{-6}	1×10^{-5}
321,060 – 323,861	1×10^{-7}	1×10^{-6}
323,861 – 326,389	1×10^{-6}	1×10^{-5}

Sämtliche weitere "Transfer-Raten" der Flüsse sind der Modelldatei zu entnehmen.

7.5.3.3. Grundwasserneubildung

Die Modellierung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses und somit die Ermittlung der flächendifferenzierten und zeitabhängigen Grundwasserneubildung erfolgte in einem vom Grundwassermodell getrennten Modellsystem (siehe Kap. 6.3).

Diese Vorgehensweise ist berechtigt und zulässig, weil die gegenseitige Wechselwirkung zwischen der Grundwasserneubildung und der dadurch bedingten Grundwasserstandsänderungen aufgrund der im Modellgebiet überwiegend großen Flurabstände vernachlässigbar ist. Niedrige Flurabstände, bei denen diese Wechselwirkung von Bedeutung sein könnte, treten nur in der holozänen Talebene, besonders in murnahen Bereichen, auf. Dort werden jedoch die Auswirkung der direkten Grundwasserneubildung mehrfach von den Wasserstandsänderungen der Mur überlagert.

Die Grundwasserneubildungsraten wurden als Ergebnisse der mit dem N-A-Modell für den Zeitraum 2000 bis 2010 durchgeführten Simulation übernommen (siehe Kap. 6.9). Diese Simulation lieferte für jedes Raster des N-A-Modells Tagesmittelwerte der Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2000 bis 2010.

Um die Übertragung der simulierten Grundwasserneubildungsraten zu vereinfachen, wurde im Grundwassermodell ein 2 km x 2 km Raster festgelegt, für dessen Teilflächen die Grundwasserneubildungsraten aus den Rasterdaten des N-A-Modells aggregiert wurden. Die Rastergröße von 2 km x 2 km wurde so gewählt, dass diese Teilflächen die räumliche Variabilität der Grundwasserneubildung noch ausreichend wiedergeben, jedoch die Anzahl der Teilflächen einen handhabbaren Arbeitsaufwand bei der Eingabe darstellt (siehe Abbildung 6.10).

Im instationären Grundwassermodell wurden in 32 Teilflächen die Zeitreihen der Grundwasserneubildung mit Tagesmittelwerten für den Zeitraum von 2000 bis 2010 eingelesen.

In Tabelle 7.3 und Tabelle 7.4 finden sich die für die Stichtage aus der N-A-Modellierung entnommenen Tagessummen der Grundwasserneubildung zusammengefasst.

Tabelle 7.3: Grundwasserneubildung (mm/d) in den Teilflächen bei nGW (15.03.2002).

GWN Mittel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1						(-0,027)	-0,027	-0,06	-0,331
2	-0,069	-0,114	-0,258	-0,209	0,029	-0,3	-0,044	-0,076	-0,527
3	-0,162	-0,149	-0,138	-0,147	-0,206	-0,671	-0,777	-0,032	0
4		-0,138	-0,118	-0,145	-0,107	-0,214	-0,173	(-0,032)	
5			(-0,118)	-0,237	-0,31				
6					-0,431				

In Hinblick auf die in Tabelle 7.3 angeführten, geringfügig um Null streuenden Werte wurde für den nGW-Stichtag im gesamten Modellgebiet eine Grundwasserneubildung von Null angenommen.

Tabelle 7.4: Grundwasserneubildung (mm/d) in den Teilflächen bei hGW (10.10.2005).

GWN Mittel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1						(16,4)	16,4	29,2	35,2
2	34,6	31,1	30,5	34,4	29,0	23,1	22,3	29,4	35,0
3	39,1	35,8	30,9	32,2	28,5	22,0	20,7	25,9	33,0
4		31,8	22,6	8,5	10,7	21,3	23,5	(25,9)	
5			(22,6)	33,2	28,6				
6					30,4				

Die in Tabelle 7.4 dargestellten Grundwasserneubildungen wurden bei der stationären Kalibrierung des Stichtages als Jahressummen eingelesen.

7.5.3.4. Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserentnahmen im Modellgebiet wurden einerseits aufgrund der bereitgestellten Förderdaten der Verbraucher, andererseits auf Basis der erhobenen Konsensmengen berücksichtigt (siehe Kap. 5).

Dabei wurden Brunnen mit Konsensmengen unter 2 l/s und Brunnenpaare von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen mit neutraler Wasserbilanz nicht berücksichtigt.

Bei der Simulation der unterschiedlichen hydrologischen Zustände (nGW und hGW) wurden die an den festgelegten Stichtagen erfassten tatsächlichen Entnahmemengen, soweit Aufzeichnungen vorlagen, berücksichtigt.

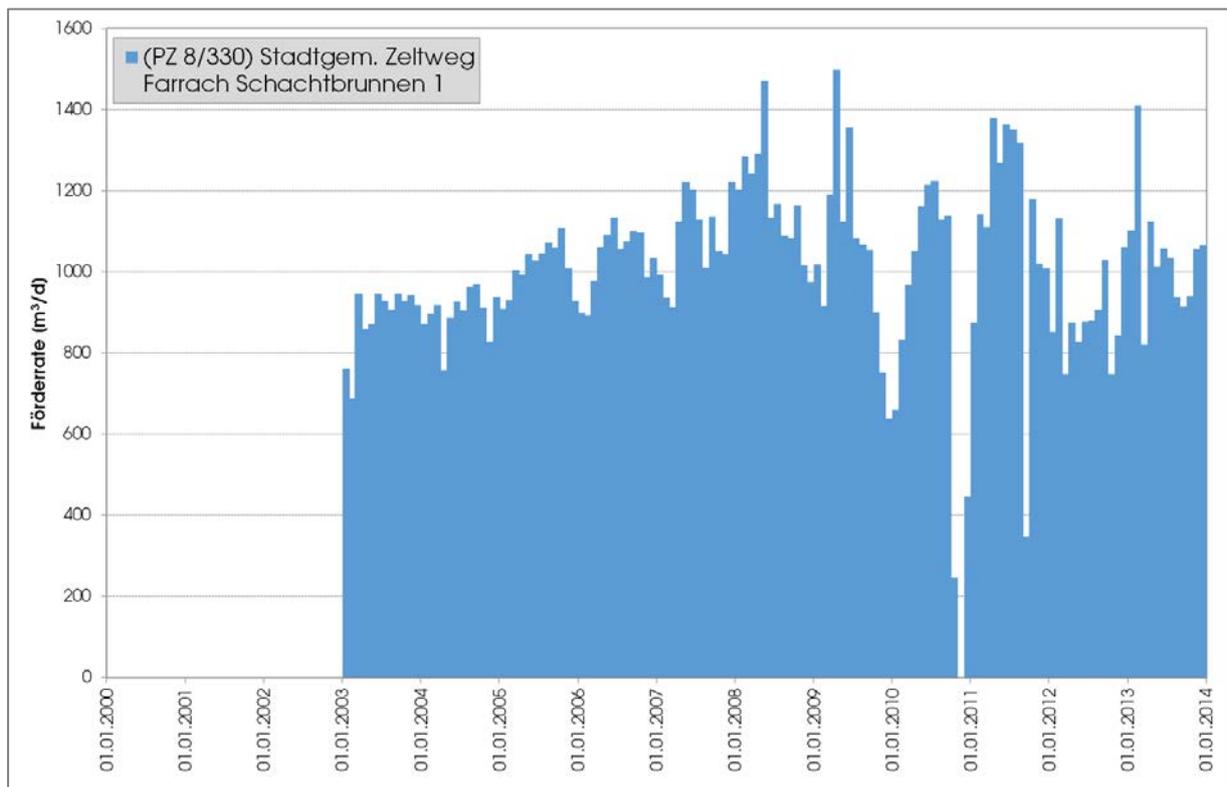


Abbildung 7.9: Brunnen Farrach – Exemplarische Darstellung der Grundwasserentnahmemengen.

Abbildung 7.9 zeigt exemplarisch die für den Brunnen Farrach (PZ8/330) bereitgestellten Entnahmedaten.

Bei der Simulation der Mittelwasserverhältnisse (mGW) wurden an den Entnahmehrunnen die halbe Konsensmengen angesetzt, um neben den mittleren hydrologischen Verhältnissen des Gebietes auch eine mittlere Entnahmesituation bei der Simulation nachbilden zu können.

Die instationäre Kalibrierung für den Zeitraum 2000 bis 2010 wurde mit den vom Auftraggeber erhaltenen Datensätzen der Entnahmemengen durchgeführt. Auf das Auffüllen der Datenlücken mit rekonstruierten Daten wurde verzichtet, weil die deutlich unter den Konsensmengen liegenden aufgezeichneten Entnahmemengen im Hinblick auf ihre lokal beschränkte und ohnehin geringfügige Auswirkung keine signifikante Änderungen der Kalibrierungsergebnisse erwarten ließen.

7.5.4. Stationäre Kalibrierung

7.5.4.1. Einleitung

Bei der stationären Kalibrierung wurden außer der Durchlässigkeit auch die Leakage-Parameter der Flüsse variiert. Zunächst wurden nur an den Modellgrenzen, welche die Täler der Hauptflüsse vom Modellgebiet abgrenzen, Zu- und Abflüsse definiert. Dies gilt für das Murtal (Abfluss in die Mur im Westen, Abfluss im Osten), das Pölstal (Zufluss im Westen), das Ingeringbachtal (Zufluss im Norden) sowie das Granitzenbachtal (Zufluss im Süden).

Wie auch das hydrogeologische Modell vermuten ließ und auch die Kalibrierung notwendig machte, wurden weitere Randabschnitte am nördlichen Rand, westlich des Ingeringbachtals, sowie im Süden an der westlichen Kante der Hochterrasse im Bereich des Granitzenbaches mit diffusen Zuflüssen definiert.

7.5.4.2. Auswahl der Stichtage

Zur stationären Kalibrierung wurden zwei Stichtage, jeweils einer für Niederwasserhältnisse und Hochwasserhältnisse, ausgewählt. In einem derart großen Modellgebiet, wo die unterirdischen Abflussverhältnisse von deutlich unterschiedlichen Faktoren beeinflusst und gesteuert werden, ist es unmöglich, einen Stichtag zu finden, an dem in allen Teilgebieten des Modells und somit an allen Messstellen gleichzeitig ein Extremwert (Minimum oder Maximum) auftritt. Im Gegenteil ist damit zu rechnen, dass die Extremwerte zeitversetzt, in einem Zeitraum von mehreren Tagen oder sogar Wochen zu beobachten sind. Diese Umstände wurden bei der Auswahl der Stichtage berücksichtigt.

Der Stichtag für die Niederwasserhältnisse wurde in einer Trockenperiode gegen Ende des Winterhalbjahres im März 2002 ausgewählt. Die Minima der Grundwasserstände an den Messstellen treten zeitversetzt in einem Zeitraum von drei Wochen auf. Als Stichtag für nGW wurde der 15.03.2002 ausgewählt. An diesem Tag lagen die Wasserstände der meisten Messstellen im Bereich des lokalen Minimums.

Das gleiche gilt auch für die Auswahl des Stichtages für Hochwasserhältnisse. Ein lokales Maximum der Grundwasserstände ist im Oktober 2005 zu beobachten. Die Maxima an den einzelnen Messstellen verteilen sich in einem Zeitraum von drei Wochen, wobei das auslösende Niederschlagsereignis zwischen dem 2. und 5. Oktober 2005 mit Niederschlagssummen zwischen 40 und 60 mm im Talbereich und mit bis zu 90 mm an den höher gelegenen Messstationen registriert wurde.

Da aber das Grundwassersystem hauptsächlich durch die Wasserstandsänderungen des Hauptvorfluters Mur gesteuert wird, orientierte sich die Auswahl des Stichtages an der Hoch-

wasserspitze der Mur und ihrer Nebenflüsse in dieser Periode. Das größte Hochwasser der Mur trat in der Periode 2000 bis 2010 am 06.10.2005 auf. An den Nebenflüssen Pöls, Ingering und Granitzenbach trat eine kleinere Hochwasserwelle am 05.10.2005 auf. Die flussnahen Messstellen reagierten mit einer Zeitverzögerung von 1 bis 4 Tagen abhängig von der Entfernung zur Mur bzw. von den anderen Flüssen und kulminierten dementsprechend bis 10.10.2005. Daher wurde als Stichtag für die Hochwasserhältnisse hGW der 10.10.2005 ausgewählt,

Abweichend von der Auswahl der Nieder- und Hochwasserhältnisse wurde bei der Festlegung des Stichtages für mittlere Grundwasserhältnisse vorgegangen. Da im Großteil des Modellgebietes, aber besonders in den murnahen Zonen, das Regime des Grundwassers durch die Wasserspiegellage der Fließgewässer gesteuert wird, wurden die mittleren Grundwasserhältnisse über die Wasserspiegellage der Flüsse definiert. Für die vier im Modell berücksichtigten, relevanten Flüsse wurde eine mittlere Wasserspiegellage errechnet und entlang der Flüsse mit konstanten Werten als innere Fluss-Randbedingung zugewiesen. Die mittleren Wasserspiegellagen wurden auf Basis der Tagesmittelwerte der Wasserstände im Zeitraum 2000 bis 2010 ermittelt.

Die Grundwasserneubildung wurde mit dem Mittelwert der für die Niederwasser- und Hochwasserhältnisse berechneten Werte angenommen.

Einerseits wegen des nicht eindeutig definierbaren Stichtages des oben beschriebenen Zustandes, und andererseits wegen der lückenhaft vorliegenden Entnahmedaten wurden nicht die tatsächlichen Ist-Entnahmen, sondern, die mittleren Konsensmengen in den Entnahmeverbrunnen angesetzt.

Somit wurde für das Modellgebiet ein synthetischer Mittelwasserzustand erzeugt.

7.5.4.3. Inaktive Zonen

Die ersten Kalibrierungsläufe mit dem stationären Modell für Niederwasserhältnisse zeigten, dass einerseits große Bereiche, nicht nur in Randabschnitten des Modells, sondern auch im Inneren des Modells - besonders im westlichen Abschnitt der Pöls - trockenfallen, andererseits dass in gewissen Bereichen große Wasserspiegelgefälle durch das Stauerrelief nicht erklärt und durch im plausiblen Bereich herabgesetzten Durchlässigkeiten nicht erzeugt werden konnte.

Diese Schwierigkeiten stehen in Zusammenhang mit den lückenhaften Kenntnissen der Stauer Oberfläche. Trotz größter Sorgfalt beim Konstruieren des Stauermodells konnte die Stauer Oberfläche in gewissen Teilbereichen nur durch großräumiges Interpolieren ermittelt werden (Abbildung 4.23 in Kap. 4.5.2). Besonders im Bereich von lokalen Hochzonen zeigte das Modell im Laufe der Kalibrierung trocken gefallene Zonen. Das Trockenfallen von Knoten kann bei der Iteration zu numerischen Instabilitäten führen.

Die Problembereiche sind das westliche Pölstal (ca. 4 km östlich des Eintritts der Pöls ins Modellgebiet), das Granitzenbachtal sowie die Niederterrasse südlich von Zeltweg.

Dies machte die Überarbeitung des ersten Stauermodells und das Definieren von inaktiven Zonen in jenen Strukturbereichen, wo die Kalibrierung in der ersten Phase mit plausiblen Parametern nicht mehr möglich war, notwendig.

Innerhalb des definierten Modellgebietes mussten jedoch weitere inaktive Zonen festgelegt werden, in welchen unter verschiedenen hydrologischen Verhältnissen mit dem eindeutigen Trockenfallen des Grundwasserleiters zu rechnen war. Solche inaktive Zonen wurden hauptsächlich in den nördlichen und südlichen Randbereichen des Modellgebiets sowie zwei inselartige Zonen im Inneren des Modellgebietes, einerseits zwischen den vermuteten Paläorinnen des Pölsflusses und andererseits im Bereich Murwald, wo das Neogen entlang des rechten Murufers ansteht, festgelegt. Abbildung 7.10 zeigt die inaktiven Bereiche innerhalb des Modellgebietes.

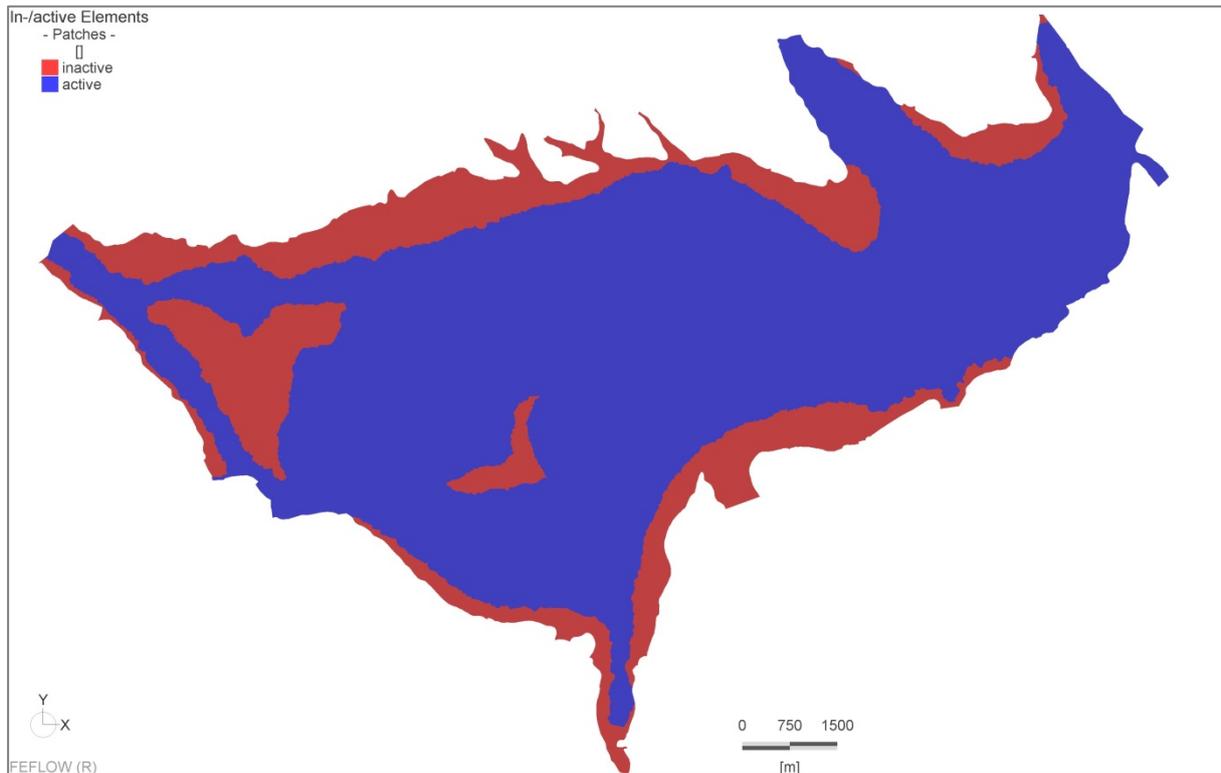


Abbildung 7.10: Aktive und inaktive Bereiche (als Ergebnis der Kalibrierung) im Modellgebiet.

In FEFLOW kann die freie Grundwasseroberfläche mit Hilfe von unterschiedlichen Nebenbedingungen berechnet werden, welche hauptsächlich für 3D Modelle Relevanz haben. Diese Nebenbedingungen wurden im Modell folgendermaßen gesetzt:

- ▷ Die simulierte Grundwasseroberfläche darf die Stauoberfläche nicht unterschreiten und die Geländeoberfläche nicht überschreiten.
- ▷ Eine verbleibende gesättigte Mächtigkeit (*residual water depth*) des Grundwasserleiters – auch im Falle des Trockenfallens – muss aus rechentechnischen Gründen definiert werden.
- ▷ Sollte ein Modellknoten trocken fallen, wird dort automatisch ein Potential auf der Höhe des Stauers mit der verbleibenden gesättigten Mächtigkeit gesetzt.

Da dadurch diese modelltechnischen Potentiale auch künstliche Wasserflüsse definiert werden, muss die verbleibende gesättigte Mächtigkeit gering gehalten werden, um die Wasserbilanz nicht zu stark zu verändern. Üblicherweise wird daher die verbleibende gesättigte Mächtigkeit mit 1 mm (oder weniger) angenommen. Weiters können solche modelltechnisch herbeigeführten Wasserflüsse auch sinnvolle Randbedingungen bei der Ermittlung diffuser Zuflüsse darstellen.

Es wurde also bei der Kalibrierung nicht nur die Durchlässigkeitsverteilung variiert, sondern es wurde aufgrund der Zwischenergebnisse versucht, die offensichtlich trocken gefallen Zonen zu eliminieren. Solche Zonen wurden hauptsächlich in Randbereichen des Modells, aber auch im Pöstal etwa bis 5.000 m von der westlichen Modellgrenze sowie im Modellinneren im Bereich Murwald beobachtet und folglich eliminiert (siehe Abbildung 7.10).

Durch das Inaktivsetzen von Elementen werden in den betroffenen Elementen sowohl die hydraulischen Eigenschaften als auch die Randbedingungen inaktiv. Dies kann dort Auswirkungen auf das Modell haben, wo ein Fluss eine solche Zone überquert und dadurch auch der Fluss als innere Randbedingung inaktiv wird. Dies ist von den betroffenen Flüssen hauptsächlich für die Pöls und weniger für den Granitzenbach der Fall, wobei beide Flüsse in den betroffenen Bereichen vom Grundwasserstrom abgekoppelt sind und somit das Inaktivsetzen der Randbedingungen vernachlässigbare Auswirkungen auf den Grundwasserstrom bzw. auf die Wasserbilanz hat.

7.5.4.4. Kalibrierungsergebnisse für nGW

Zur stationären Kalibrierung der nGW-Verhältnisse wurden die hydrologischen Daten und Randbedingungen des 15.03.2002 herangezogen.

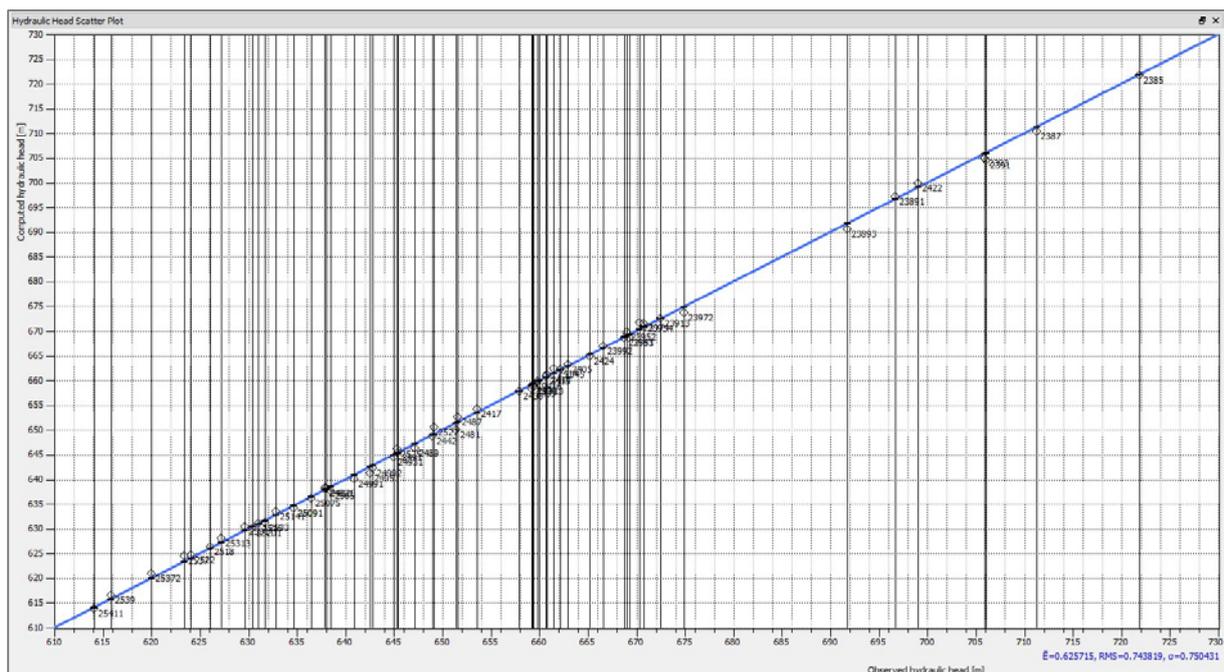


Abbildung 7.11: Ergebnisse der Kalibrierung für nGW (15.03.2002).

Abbildung 7.6 zeigt die Ergebnisse der nGW-Kalibrierung, in der die tatsächlich gemessenen gegen die errechneten Wasserspiegellagen aufgetragen sind. Aus statistischer Sicht liegen der mittlere Fehler bei 0,63 m, der RMS bei 0,74 m und der nRMS bei 0,69 %. Diese statistischen Parameter lassen sich wie folgt berechnen:

Mittlerer Fehler:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{\text{cal}} - X_{\text{obs}})$$

Quadratwurzel des Fehlerquadrats (*Root Mean Squared Error*):

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i^2}$$

Normierter RMS:

$$\text{NRMS} = \frac{\text{RMS}}{(X_{\text{obs}})_{\text{max}} - (X_{\text{obs}})_{\text{min}}}$$

X_{cal}	-	kalibrierter Wert
X_{obs}	-	beobachteter Wert
n	-	Anzahl der Werte
R_i	-	Differenz der Wertepaare X_{cal} und X_{obs}
$(X_{\text{obs}})_{\text{max}}$	-	größter beobachteter Wert
$(X_{\text{obs}})_{\text{min}}$	-	kleinster beobachteter Wert

Die Güte der Kalibrierung für nGW kann aufgrund dieser statistischen Kennzahlen und der Lage der Punkte in Bezug zur Ausgleichsgeraden als sehr gut angesehen werden. Die Mehrzahl der Abweichungen liegt zwischen 0,50 und 1,00 m.

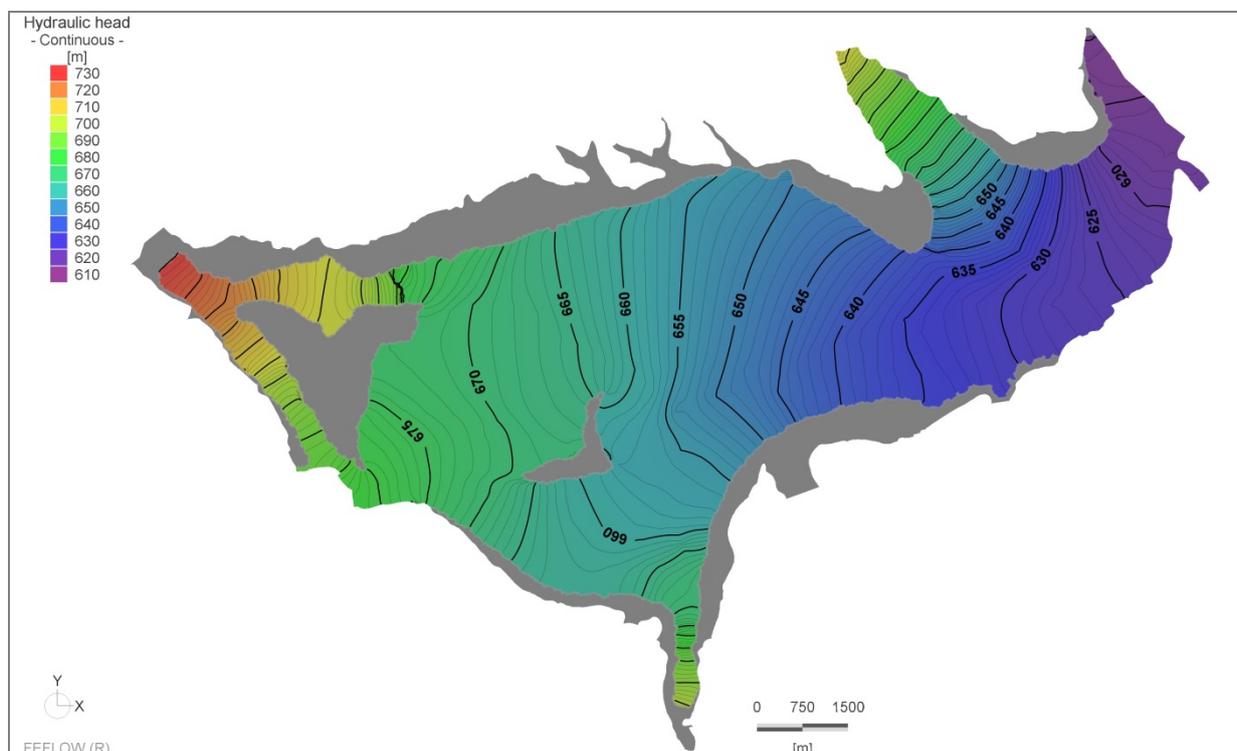


Abbildung 7.12: Isolinienkarte des Grundwasserstandes für nGW (15.03.2002).

Der für nGW-Verhältnisse kalibrierte Grundwasserschichtenplan ist in Abbildung 7.12 und Beilage 4 dargestellt. Bedingt durch das große Geländegefälle treten die Grundwasserströme aus den Seitentälern der Pöls, des Ingeringbaches und des Granitzenbaches mit einem sehr starken Potentialgefälle in das Grundwasserfeld des Aichfeld-Murboden ein.

Die Wasserbilanz für den stationären Zustand des 15.03.2002 wurde in Tabelle 7.5 zusammengefasst. Der Fehler beträgt bezogen auf den Mittelwert der Bilanzsummen ca. 1,0 %. Wie aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse zu erwarten war, weist die Interaktion zwischen dem Grundwasser und der Mur den größten Budgetanteil auf.

Tabelle 7.5: Wasserbilanz für nGW (15.03.2002).

Bilanzgröße (m ³ /d)	IN	OUT
Zufluss Pölstal	4.586	---
Abfluss Murtal	---	8.936
Zufluss Ingeringtal	2.280	---
Zufluss Granitzenbachtal	4.382	---
Abfluss in die Mur bei Judenburg	---	8
Zufluss Nordrand	4.696	
Zufluss Terrasse Granitzenbach	2.838	
Mur Exfiltration		87.316
Mur Infiltration	32.825	
Pöls Exfiltration		1771
Pöls Infiltration	5.950	
Ingering Exfiltration		3.510
Ingering Infiltration	45.147	
Granitzenbach Exfiltration		380
Granitzenbach Infiltration	882	
Entnahme		3.655
Grundwasserneubildung	0	
SUMME:	103.586	105.576

Aufgrund der Summen der Eingangsgrößen kann die Gesamtbilanz im Stationärzustand bei nGW mit ca. 104.000 m³/d angenommen werden.

7.5.4.5. Kalibrierungsergebnisse für hGW

Der hGW-Zustand des Grundwasserkörpers Aichfeld-Murboden wurde am mit dem Stichtag 10.10.2005 stationär kalibriert. Abbildung 7.13 gibt die Ergebnisse der Kalibrierung wieder.

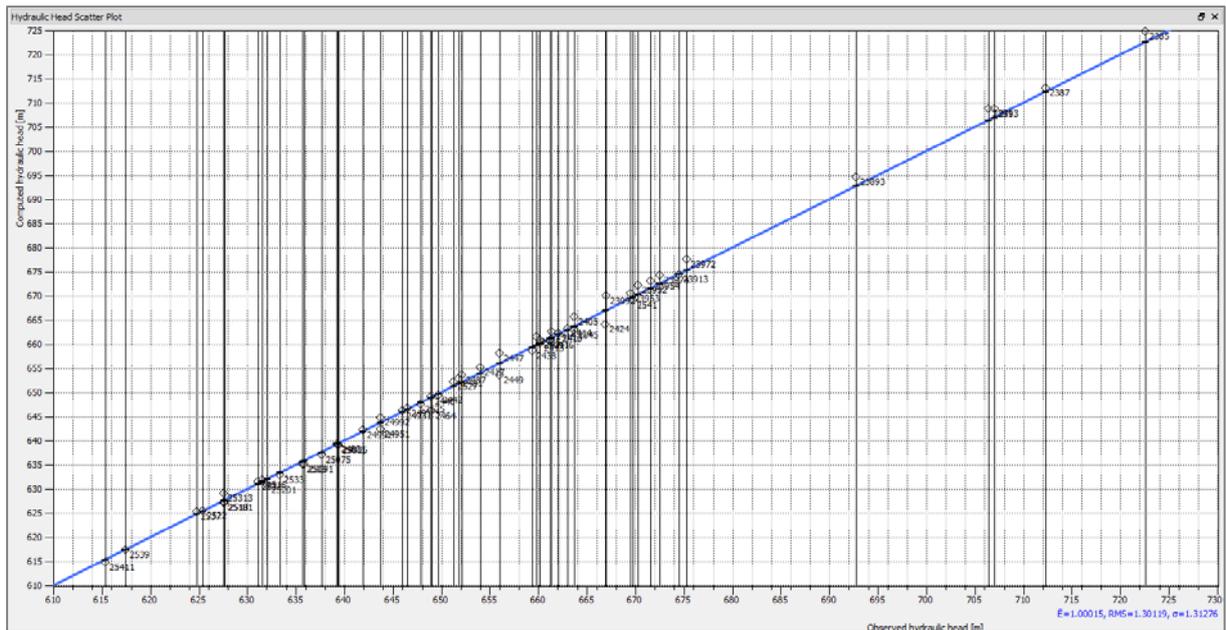


Abbildung 7.13: Ergebnisse der Kalibrierung für hGW (Stichtag 10.10.2005).

Die statistischen Parameter zeigen einem mittleren Fehler von 1,00 m und einem RMS von 1,30 m eine geringfügige Verschlechterung der Kalibrierungsgüte gegenüber dem nGW-Zustand. Der nRMS-Wert liegt mit 1,21 % deutlich unter den als Richtwert für die Qualität einer Kalibrierung angesetzten 5 % ((3), (2)). Das Modell ist daher auch für hGW als sehr gut kalibriert anzusehen.

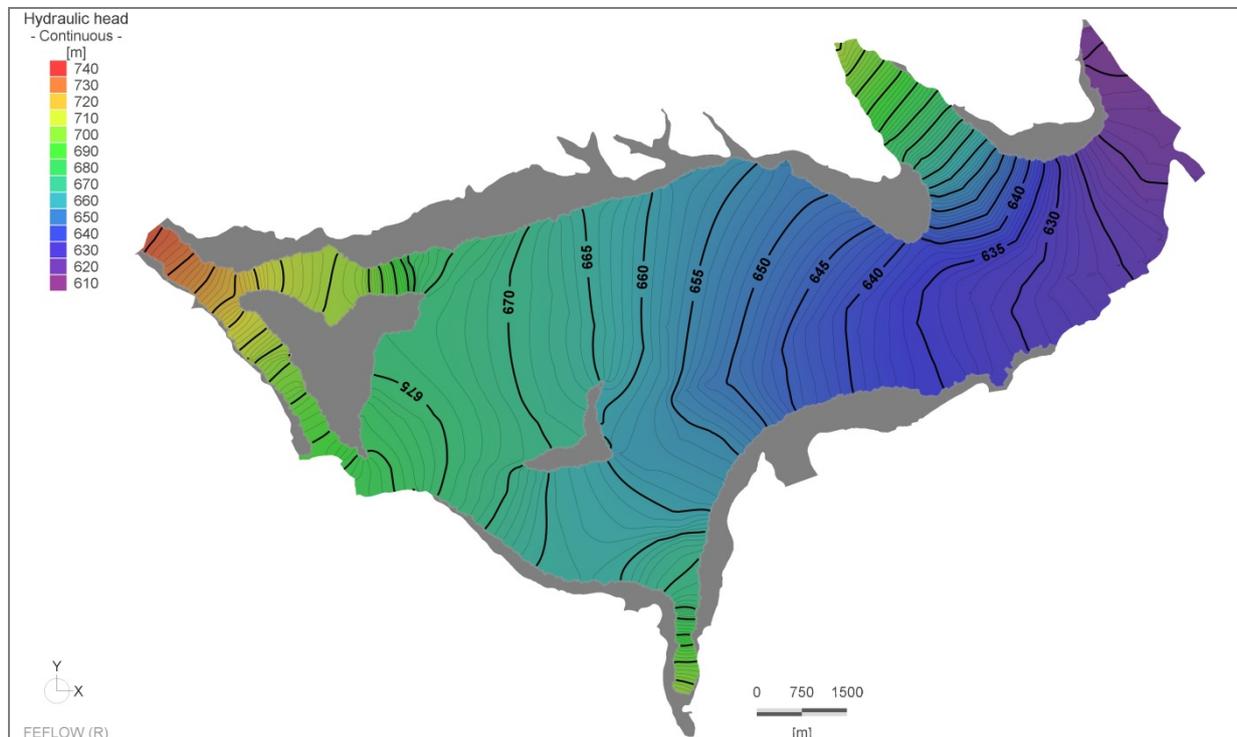


Abbildung 7.14: Isolinienkarte des Grundwasserstandes für hGW (Stichtag 10.10.2005).

Abbildung 7.14 (siehe auch Beilage 3) stellt die Grundwasserströmungsverhältnisse für den hGW-Stichtag 10.10.2005 anhand der Potentiallinien dar. In Bezug auf die Grundwasserströ-

mungsverhältnisse sind keine signifikanten Änderungen gegenüber dem nGW-Stichtag zu verzeichnen. Das Grundwasser-Potentialgefälle aus den Seitentälern ist weiterhin hoch.

Aus Beilage 8 geht der Flurabstand für hGW-Verhältnisse hervor. Die niedrigsten Flurabstände treten entlang der östlichen Mur und beim Eintritt des Ingeringbaches in das Modellgebiet auf. In diesen Abschnitten ist auch die Interaktion zwischen den Vorflutern und der Mur am stärksten ausgebildet. Im Gegensatz zu den holozänen Talbereichen erreichen die Flurabstände auf den Niederterrassen zwischen 15 m und 50 m. Hier ist eine Zunahme von Osten in Richtung Westen zu beobachten.

Tabelle 7.6 zeigt die einzelnen Budgetzonen der Wasserbilanz. Der Fehler beträgt bezogen auf den Mittelwert der Bilanzsummen ca. 0,5 %. Bei Hochwasserverhältnissen steigt das Infiltrationsvolumen aus dem Ingeringbach und der Mur als Hauptbudgetgrößen an. Auf der Output-Seite überwiegt die Grundwasserexfiltration in die Mur. Die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag spielt eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 7.6: Wasserbilanz bei hGW-Verhältnissen (10.10.2005).

Bilanzgröße (m ³ /d)	IN	OUT
Zufluss Pölstal	5.466	---
Abfluss Murtal	---	9.419
Zufluss Ingeringtal	2.091	---
Zufluss Granitzenbachtal	9.141	---
Abfluss in die Mur bei Judenburg	---	12
Zufluss Nordrand	17.477	---
Zufluss Terrasse Granitzenbach	4.950	---
Mur Exfiltration	---	123.800
Mur Infiltration	36.904	
Pöls Exfiltration	---	5.307
Pöls Infiltration	9.799	
Ingeringbach Exfiltration	---	6.523
Ingeringbach Infiltration	58.053	---
Granitzenbach Exfiltration	---	97
Granitzenbach Infiltration	1.312	---
Entnahme	---	3.587
Grundwasserneubildung	4.502	
SUMME:	149.695	148.745

Aufgrund der Summen der Bilanzgrößen kann die Gesamtbilanz im Stationärzustand hGW mit ca. 149.200 m³/d abgeschätzt werden. Die Bilanzsumme liegt damit fast 50 % über dem Tagesumsatz bei Niederwasserverhältnissen.

7.5.4.6. Darstellung des mGW-Zustandes

In Kap. 7.5.4.2 wird ausgeführt, dass der mGW-Zustand aufgrund der großen räumlichen Streuung der mittleren Grundwasserspiegellagen nicht anhand eines Stichtages sondern auf

Basis der Tagesmittelwerte der Wasserstände der Flüsse im Zeitraum 2000 - 2010 ermittelt wurde.

Die Grundwasserneubildung wurde mit dem Mittelwert der für die Niederwasser- und Hochwasserhältnisse ermittelten Werte angenommen.

Einerseits wegen eines nicht eindeutig definierbaren Stichtages und andererseits aufgrund der lückenhaft vorliegenden Entnahmedaten wurde auch den Förderbetrieben ein mittlerer Zustand zugrunde gelegt. Dazu wurden in den Entnahmebrunnen der Wasserversorger die halben Konsensmengen angesetzt.

Wie bereits in Kap. 7.5.4.1 beschrieben, wurde damit ein statistisch begründeter, synthetischer mGW-Zustand für die Darstellung der Mittelwasserhältnisse im Modellgebiet erzeugt. Daher kann dieser nicht mit einem eindeutigen Stichtag verbunden werden und kann aus diesem Grund weder als Kalibrierungslauf noch als Validierungslauf angesehen werden. Die Grundwasserspiegellagen für den Mittelwasserzustand sind das Ergebnis der durchgeführten Berechnung. Die Berechnung dieses Zustandes ist daher modelltechnisch eigentlich als Simulation zu betrachten.

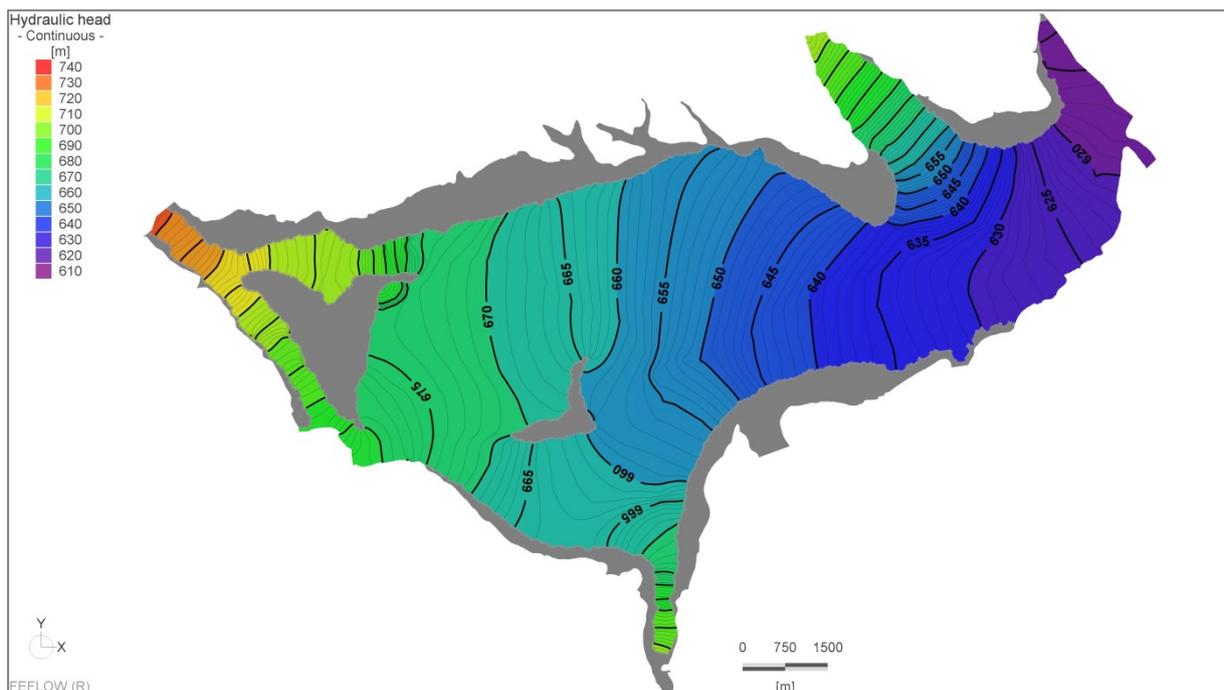


Abbildung 7.15: Isolinienkarte des Grundwasserstandes für mGW (statistischer Zustand).

Abbildung 7.15 und Beilage 5 geben die Potentiallinienplan für mittlere Grundwasserhältnisse wieder. Die Grundwasserströmungsrichtungen unterscheiden sich nicht wesentlich von den nGW- und hGW-Zuständen.

Tabelle 7.7 ist die Wasserbilanz für mGW-Verhältnisse zu entnehmen. Der Fehler beträgt bezogen auf den Mittelwert der Bilanzsummen ca. 2,3 %.

Tabelle 7.7: Wasserbilanz für mGW (statistischer Zustand).

Bilanzgröße (m ³ /d)	IN	OUT
Zufluss Pölstal	3.789	
Abfluss Murtal		9.164
Zufluss Ingeringtal	1.720	
Zufluss Granitzenbachtal	10.066	
Abfluss in die Mur bei Judenburg		11
Zufluss Nordrand	6.777	
Zufluss Terrasse Granitzenbach	4.140	
Mur Exfiltration		86.151
Mur Infiltration	40.040	
Pöls Exfiltration		547
Pöls Infiltration	6.258	
Ingering Exfiltration		3.698
Ingering Infiltration	51.580	
Granitzenbach Exfiltration		650
Granitzenbach Infiltration	947	
Entnahme		33.250
Grundwasserneubildung	3.789	
SUMME:	127.568	133.471

Aufgrund der Bilanzterme der oben berechneten hydrologischen Zustände kann festgestellt werden, dass die wichtigste Bilanzgröße erwartungsgemäß die Mur mit ihrem Exfiltrations- und Infiltrationstermen darstellt. Der Ingeringbach trägt auch einen wesentlichen Betrag zur Infiltration bei. Zu beachten ist, dass die mit 50 % der Konsensmengen angesetzte Grundwasserentnahme weit über den Werten der hGW- und nGW-Stichtage liegt. Dies begründet sich darin, dass für den Zeitraum der beiden Stichtage nur wenige Aufzeichnungen der Entnahmen vorliegen.

Die Summen der Bilanzgrößen weisen eine Gesamtbilanz im Stationärzustand mGW bei einer mittleren Entnahme (50 % der Konsensmengen) von ca. 130.500 m³/d aus.

7.5.5. Instationäre Kalibrierung für den Zeitraum 2000 - 2010

Die instationäre Kalibrierung wurde für den Zeitraum 2000 bis 2010 durchgeführt. Der Simulationszeitraum erstreckt sich somit auf 11 Jahre, wobei das erste Jahr, wie bei der Niederschlag-Abfluss-Modellierung, als Einschwingphase angesehen wird.

Der Anfangszustand vom 01.01.2000 wurde stationär errechnet, wobei für die Gewässer die an diesem Tag gültigen Wasserstände angesetzt wurden. Für die Grundwasserneubildung wurden die im Niederschlag-Abfluss-Modell errechneten Tagessummen (in mm) angesetzt.

Grundlage der instationären Kalibrierung waren die hydraulischen Parameter wie Durchlässigkeit, effektive Porosität und hydraulischer Widerstand der Flusssohlen. Anhaltspunkte lagen nur für die Durchlässigkeit vor. Die Porositäten wurden aus den Durchlässigkeiten ermittelt, die Leakage-Faktoren in Analogie mit vergleichbaren, bereits kalibrierten Modellen eingegrenzt.

Große Unsicherheiten der instationären Kalibrierung begründen sich im geringen Erkundungsgrad einer zumindest lokal sehr komplexen Aquifergeometrie (siehe Kap. 4.5.2). Einen weiteren wesentlichen Unsicherheitsfaktor stellen die Flusswasserspiegellagen dar, da keine Daten von instationären hydraulischen Berechnungen vorliegen (siehe Kap. 7.5.3.1). Nicht zu unterschätzen ist der Fehleranteil, der in unplausiblen Grundwasserganglinien von hydrographischen Messstellen liegt (siehe Kap. 4.6).

Schlussendlich ist auch noch der geringe Kenntnisstand bei den Grundwasserentnahmen als Fehlerquelle zu berücksichtigen (siehe Kap. 5. Aquiferdurchlässigkeiten und Sohlwiderstände werden bei diesem Regionalmodell vorerst als untergeordnete Unsicherheitsfaktoren interpretiert.

Auf eine Quantifizierung der Anpassungsgüte der simulierten Ganglinien durch statistische Parameter wurde verzichtet. Da die instationären Strömungsverhältnisse von den oben beschriebenen unsicheren und nicht quantifizierbaren Modellgrößen und Parameter abhängig sind, erfolgt eine Bewertung der Modellentwicklung und Kalibrierung visuell anhand der Grundwasserganglinien. Exemplarisch werden dazu die simulierten und die gemessenen Grundwasserganglinien charakteristischer Messstellen dargestellt. In Abbildung 7.16 bis Abbildung 7.24 stellen die roten Linien die simulierten, die blauen Punkte die gemessenen Ganglinien der Wasserspiegellagen dar.

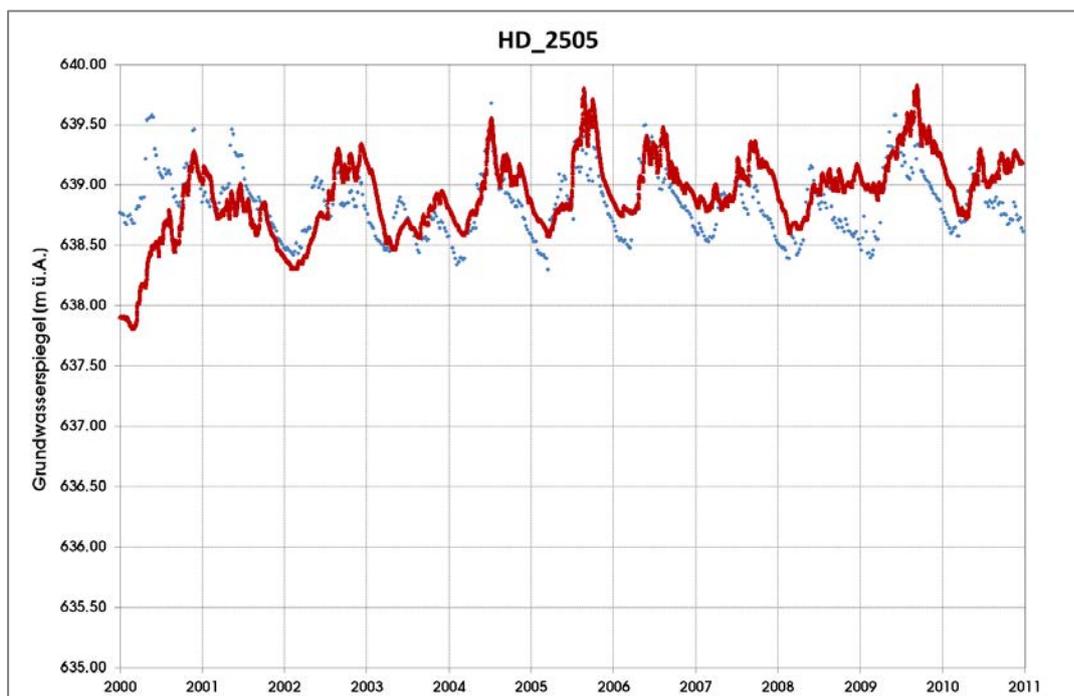


Abbildung 7.16: Ergebnisse der Kalibrierung für die HD-Messstelle 2505 (Übergangsbereich).

In Abbildung 7.16 werden die Ergebnisse der Kalibrierung einer im Übergangsbereich ca. 700 m von der Mur entfernt gelegenen Messstelle dargestellt. Hier setzt sich bereits der Einfluss der Mur, wenn auch stark abgeschwächt durch. Der Wasserspiegel wird durchschnittlich 0,3 m bis 0,5 m überschätzt. Der langfristige jährliche Gang ist relativ gut nachgebildet. Die Güte der Anpassung ist als gut einzuschätzen.

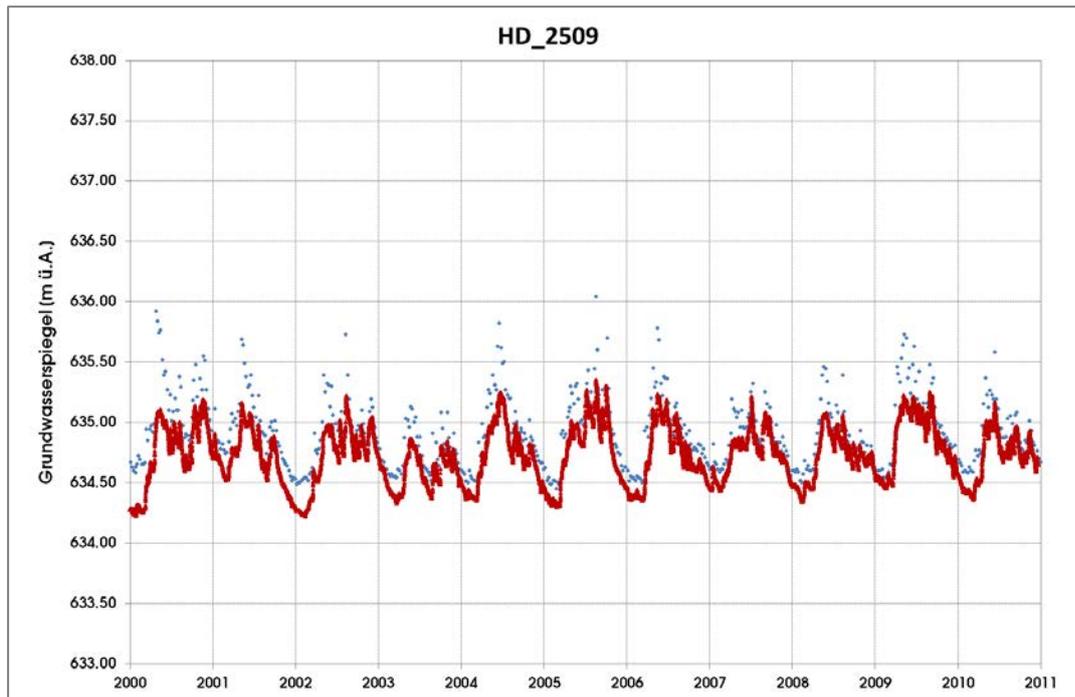


Abbildung 7.17: Ergebnisse der Kalibrierung für HD-Messstelle 2509 (Mur naher Bereich).

Die Messstelle HD_2509 (Abbildung 7.17) liegt nur ca. 100 m von der Mur entfernt, also im eindeutigen Einflussbereich der Flusses. Besonders die Hochwasserspitzen wirken sich auf den Grundwasserspiegel aus. Bis auf die Spitzen, die ca. 0,5 m unterschätzt werden, wird die Ganglinie sehr gut nachgebildet. In Niederwasserperioden wird der Grundwasserspiegel etwa 0,2 bis 0,25 m unterschätzt.

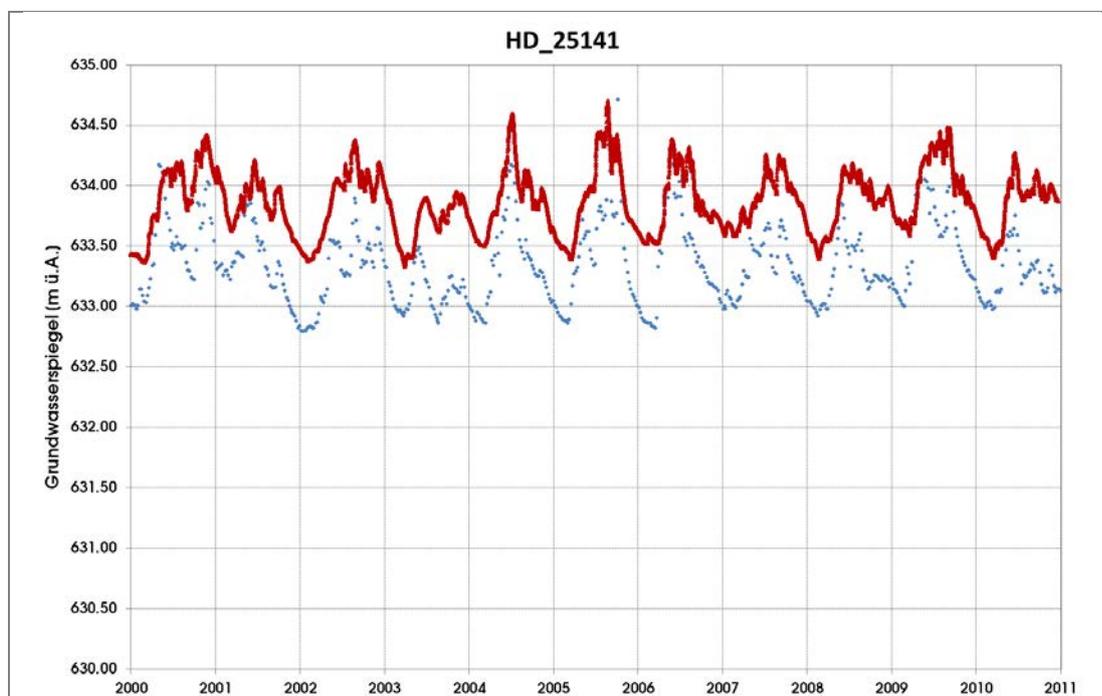


Abbildung 7.18: Ergebnisse der Kalibrierung für HD-Messstelle 25141 (nahe Ostrand).

Die Messstelle HD_25141 liegt ca. 220 m westlich der östlichen Modellgrenze (Abflussrand) und ca. 700 m von der Mur (Abbildung 7.18). Die gemessene Ganglinie wird im gesamten Kalibrierungszeitraum überschätzt, wobei die Minima ca. 1 m und die Maxima nur ca. 0,5 m. Der Gang selbst wird gut wiedergegeben.

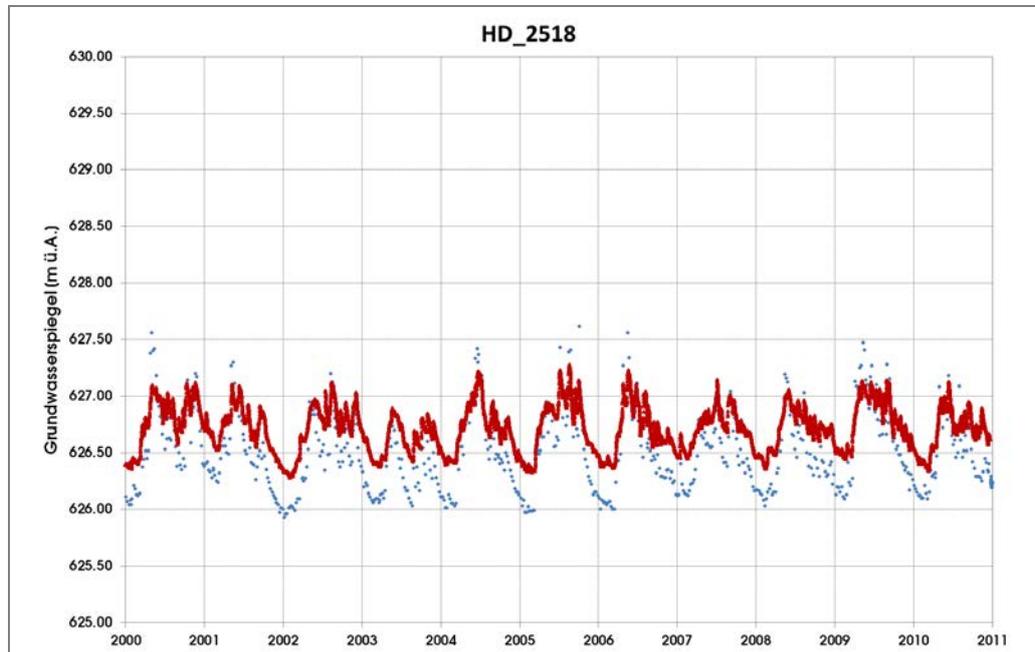


Abbildung 7.19: Ergebnisse der Kalibrierung für die HD-Messstelle 2518 (zwischen Mur und Südrand).

Abbildung 7.19 zeigt die Messstelle HD_2518, die zwischen der Mur und dem Südrand des Modells, ca. 550 m von der Mur situiert ist. In diesem Bereich gibt es keinen diffusen Randzufluss, die Fließrichtung ist Murparallel. Die Niederwasserperioden werden 0,3 bis 0,4 m überschätzt, bei höheren Wasserständen ist eine gute Anpassung zu verzeichnen, wobei die größeren Spitzen etwas unterschätzt werden.

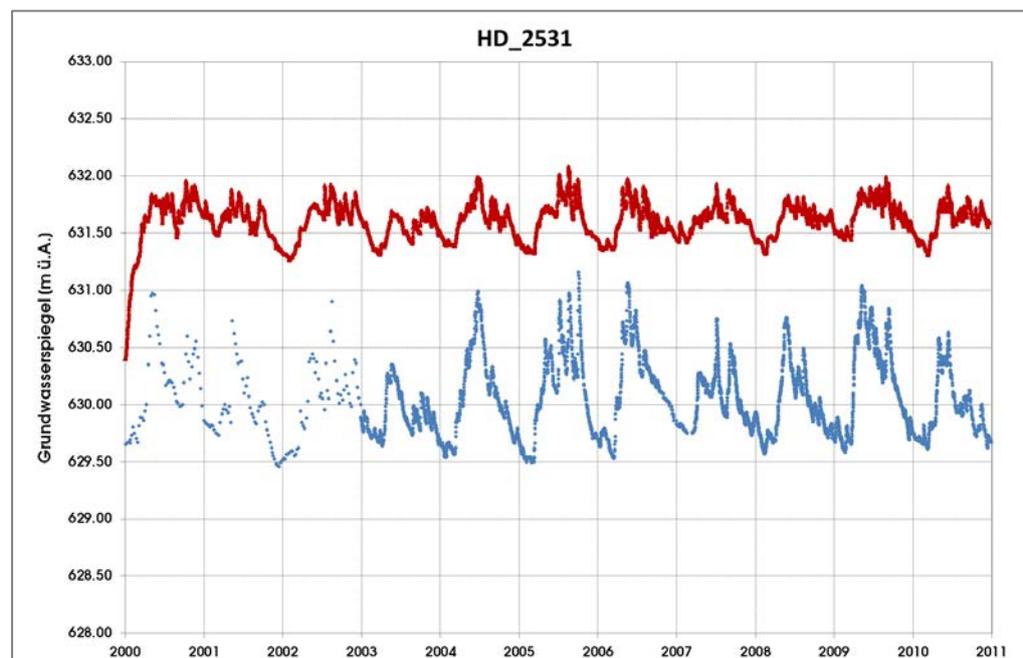


Abbildung 7.20: Ergebnisse der Kalibrierung für die HD-Messstelle 2531 (zwischen Mur und Ingeringbach).

Die Messstelle HD_2531 liegt zwischen der Mur und dem Ingeringbach in jenem Bereich wo die Grundwasserströme aus dem Murtal und dem Ingeringbachtal aufeinandertreffen, mit Fließrichtung zum Zusammenlauf der beiden Flüsse. Die simulierte Ganglinie verläuft ca. 1,5 m über der gemessenen Ganglinie (Abbildung 7.20). Die Schwankungsbreite der simulierten Ganglinie ist etwa auf die Hälfte der gemessenen reduziert.

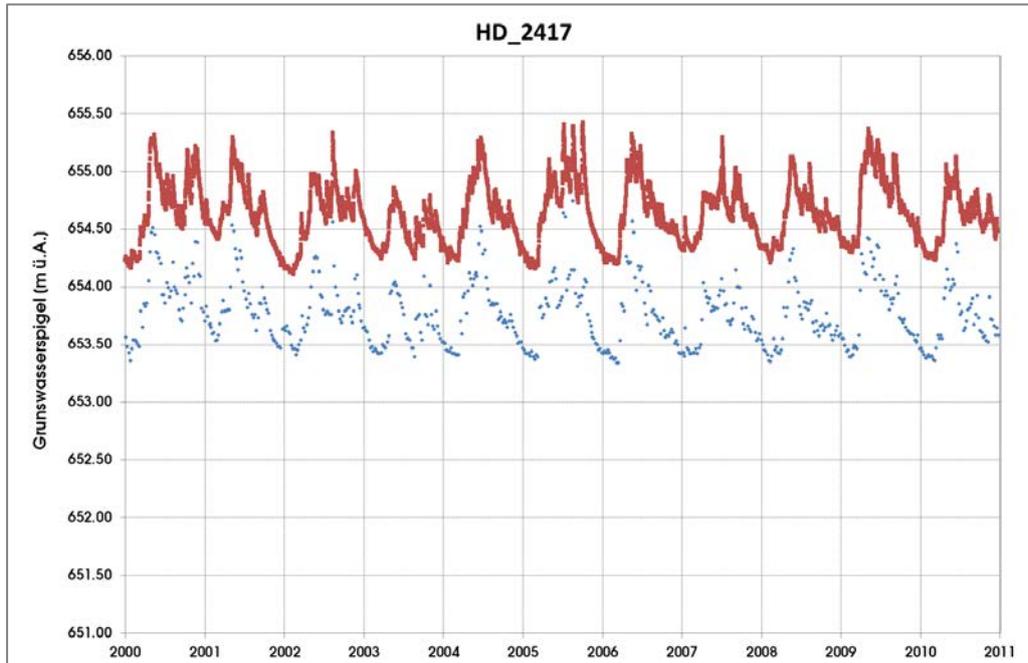


Abbildung 7.21: Ergebnisse der Kalibrierung für HD-Messstelle 2417 (UW Fischeing, nahe Mur oberhalb der Pölsmündung).

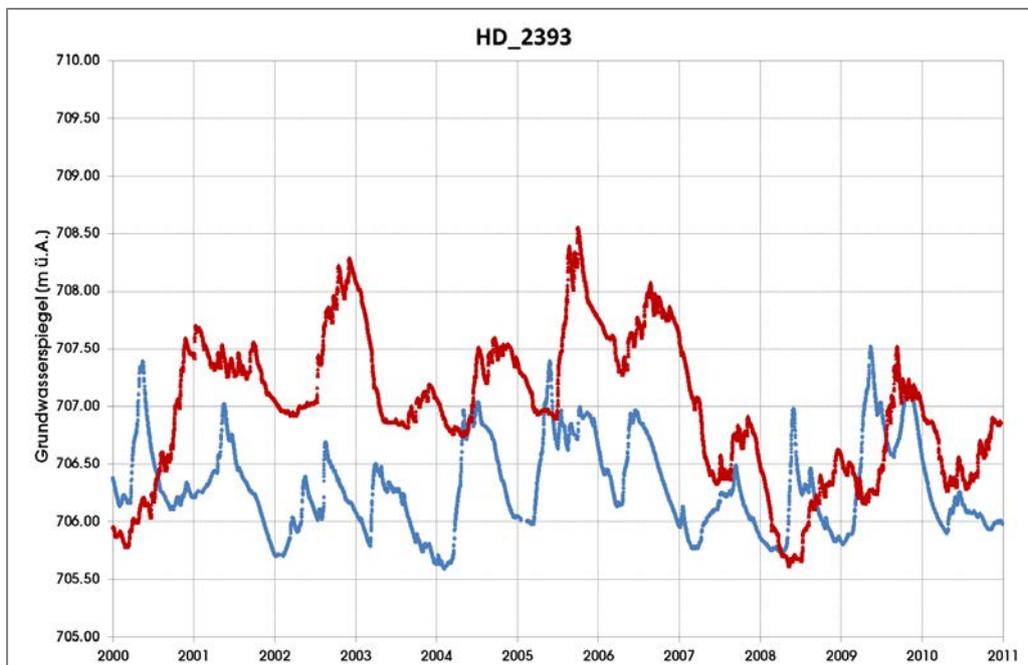


Abbildung 7.22: Ergebnisse der Kalibrierung für HD-Messstelle 2393 (nördliche Rinne der Pöls).

Die Messstelle HD_2417 ist ca. 70 m von der Mur entfernt im Unterwasserabschnitt des KW Fischeing ca. 800 m oberhalb der Pölsmündung situiert. Die Messstelle ist in erster Linie

durch die Wasserspiegelschwankung der Mur geprägt. Die simulierte Ganglinie gibt die Schwankungen des Grundwasserspiegels gut wieder, die gemessene Ganglinie wird jedoch im Gesamten um einen Meter überschätzt (Abbildung 7.21).

Die Messstelle HD_2393 liegt in der nördlichen Reliefrinne der Pöls, in einem Bereich, wo die Stauer Oberfläche zu wenig erschlossen ist und die Abflussverhältnisse nicht ausreichend bekannt sind. Wegen der ungeklärten Verhältnisse (Geometrie der Paläorinne, Randzuflüsse usw.) konnte die gemessene Ganglinie unbefriedigend nachgebildet werden (Abbildung 7.22). Die absolute Höhe des Grundwasserspiegels wird 1 bis 1,5 m überschätzt, die Schwankungen konnten nur ansatzweise wiedergegeben werden.

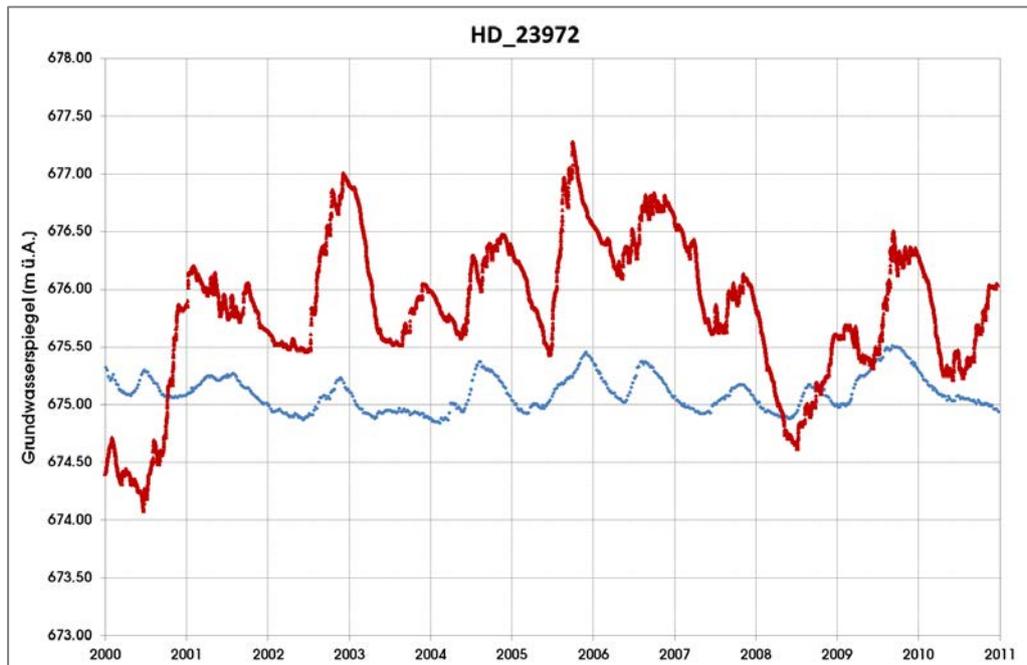


Abbildung 7.23: Ergebnisse der Kalibrierung für HD-Messstelle 23972 (nahe Nordrand, Bereich Fohnsdorf).

Die Messstelle HD-23972 liegt abstromig der nördlichen Paläorinne der Pöls ca. 100 m vom nördlichen Modellrand. Der Grundwasserspiegel wird durch den Abstrom in der Paläorinne und dem diffusen Zufluss aus dem Norden beeinflusst. Wegen der Unsicherheiten in der Geometrie der Stauer in diesem Bereich und der unbekannt Abflussverhältnisse konnte keine befriedigende Anpassung erzielt werden. Sowohl die Höhe des Grundwasserspiegels (bis zu 2 m) als auch die Amplitude der Schwankungen (2 bis 3fach) wird deutlich überschätzt (siehe Abbildung 7.23).

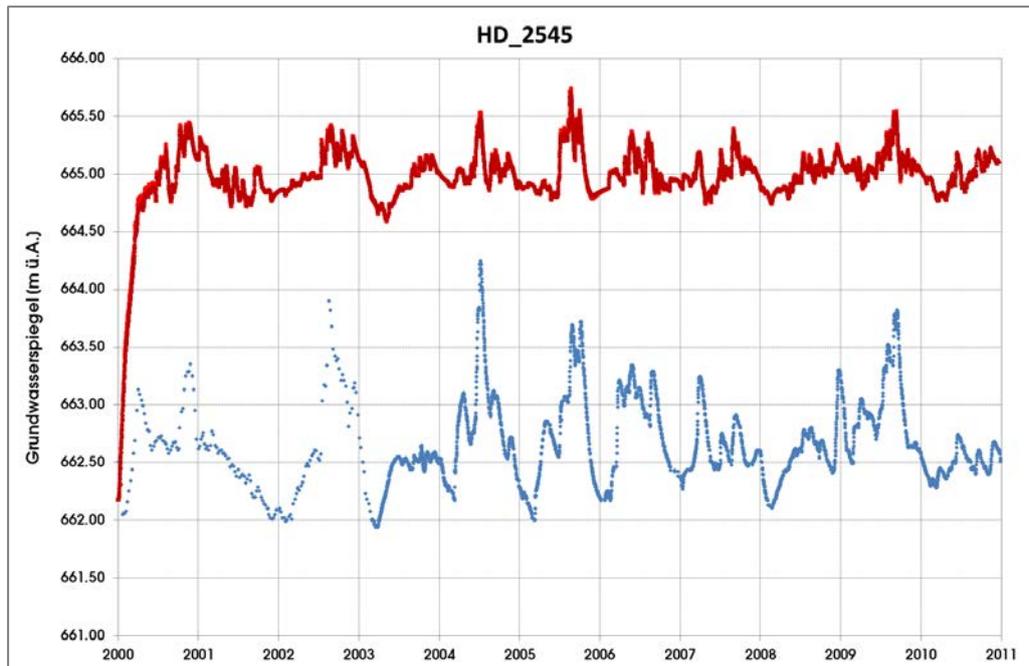


Abbildung 7.24: Ergebnisse der Kalibrierung für die HD-Messstelle 2545 (Schwemmfächer Ingeringbach).

Die Messstelle HD-2545 (Abbildung 7.24) liegt auf dem Schwemmfächer des Ingeringbaches beim Eintritt in das Fohnsdorfer Becken. Die simulierte Ganglinie liegt ca. 2,5 m über der gemessenen Ganglinie, wobei auch die Schwankungen der simulierten Ganglinie gedämpfter sind, wobei die Spitzen zeitlich relativ gut nachgebildet sind.

7.6. Simulation der Konsensentnahme

Ein potentielles wasserwirtschaftliches Szenario stellt die Entnahme der Konsensmengen aus allen Brunnen im Modellgebiet bei Niederwasserverhältnissen (größte Belastung bei kleinstem Dargebot) dar. Abbildung 7.25 zeigt die bei der Simulation berücksichtigten Brunnen mit ihren Konsensmengen. Brunnenpaare von Wärmepumpenanlagen mit neutraler Wasserbilanz wurden nicht berücksichtigt.

Die gesamte Konsensentnahme im Modellgebiet beträgt rund $66.500 \text{ m}^3/\text{d}$ bzw. rund 770 l/s (siehe Kap. 5).

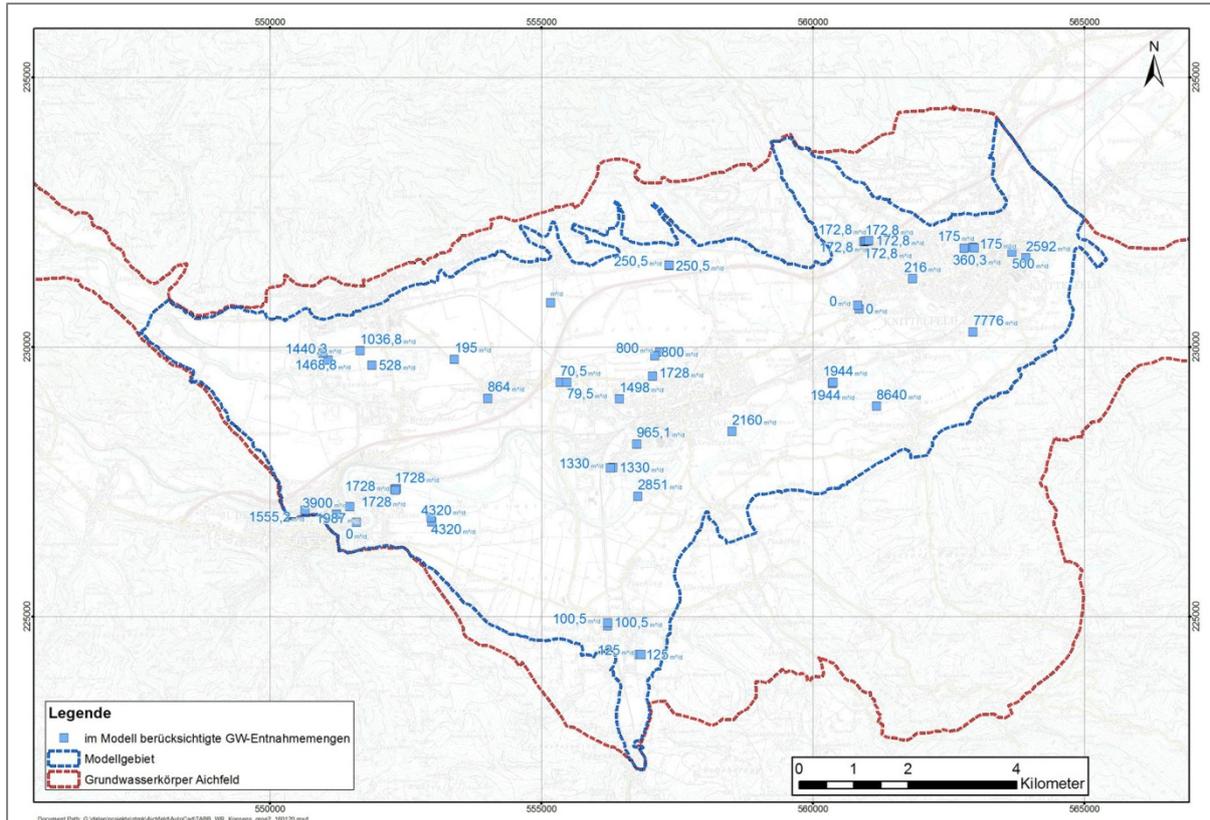


Abbildung 7.25: Lage der berücksichtigten Konsensentnahmen im Modellgebiet (Angaben in m^3/d).

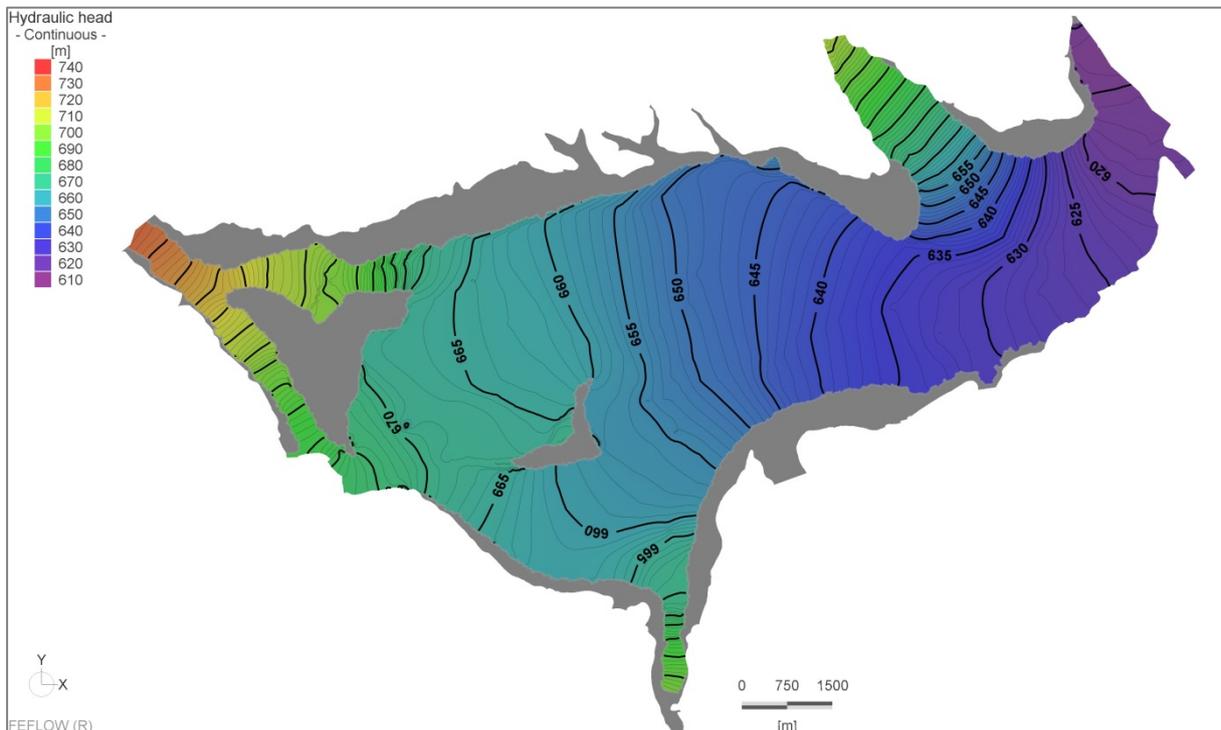


Abbildung 7.26: Isolinenkarte des Grundwasserstandes für nGW bei Konsensentnahme.

Die Isolinenkarte des Grundwasserstandes in Abbildung 7.26 (siehe auch Beilage 6) als Ergebnis der Simulation lässt bei Niederwasserverhältnissen eine deutliche Beeinflussung der

Grundwasserverhältnisse durch die gleichzeitige Entnahme der Konsensmengen aus den im Modellgebiet situierten Brunnen erkennen.

Am Nordrand fällt durch die Senkung des Grundwasserspiegels eine schmale Zone trocken, in der an den trocken gefallenen Modellknoten die Zuflussrandbedingung deaktiviert und modelltechnisch bedingt mit künstlich definierten Grundwasserspiegelhöhen (Potentialen = Stauerhöhe plus minimale Grundwassermächtigkeit) belegt wird (2). Dadurch werden an diesen Knoten je nach Höhenlage und Potentialverhältnissen in der Umgebung des Knotens künstliche Senken oder Quellen generiert, was zur Verfälschung der Wasserbilanz führt. Dies ist auch an den Bilanzgrößen in Tabelle 7.8 erkennbar.

Tabelle 7.8: Wasserbilanz für nGW mit Konsensentnahme (Simulation).

Bilanzgröße (m ³ /d)	IN	OUT
Zufluss Pölstal	5.005	
Abfluss Murtal		9.102
Zufluss Ingeringtal	2.280	
Zufluss Granitzenbachtal	4.710	
Abfluss in die Mur bei Judenburg		10
Zufluss Nordrand	428	
Zufluss Terrasse Granitzenbach	3.118	
Mur Exfiltration		55.657
Mur Infiltration	37.703	
Pöls Exfiltration		1.373
Pöls Infiltration	5.987	
Ingering Exfiltration		3.424
Ingering Infiltration	45.101	
Granitzenbach Exfiltration		5
Granitzenbach Infiltration	1.011	
Entnahme		66.500
Grundwasserneubildung	0	
SUMME:	105.343	136.071

Das Trockenfallen von Knoten ergibt die Differenz zwischen IN und OUT und damit den Bilanzfehler. So generiert das Trockenfallen von Knoten künstliche Zuflüsse im Modell. Dies drückt sich auf der OUT-Seite in der Wasserbilanz aus, wo der zusätzlich generierte Abfluss in den Gewässern als Exfiltration abgeleitet wird. Die IN-Seite weist eine plausible Summe auf, wenn diese mit Tabelle 7.5 verglichen wird. Der Zufluss am Nordrand dürfte durch die abschnittsweise inaktiv gewordene Randbedingung übermäßig reduziert sein.

Somit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass eine Entnahme der Konsensmengen bei niederen Grundwasserständen aufgrund der Aquifergeometrie zu einem Trockenfallen von zahlreichen Knoten führt. Somit ist die modelltechnische Entnahme der Gesamtkonsensmenge nicht überall ohne Einschränkungen möglich ist, wobei die Datengrundlage im Einzelfall geprüft werden muss.

7.7. Bereitstellung von Modelldateien

Die zur Modellierung verwendeten Modelldateien (Tabelle 7.9), Zusatzdateien (Tabelle 7.10) sowie die Ergebnisdateien (Tabelle 7.11) sind auf Datenträger dem Bericht angeschlossen.

Tabelle 7.9: Modelldateien.

Dateiname	Inhalt - Kurzbeschreibung
Aichfeld_Modell_nGW.fem	Stationäres Modell nGW-Zustand, mit tatsächlichen Entnahmen
Aichfeld_Modell_mGW_Halb-Konsens.fem	Stationäres Modell mGW-Zustand, mit 50% der Konsensentnahmen
Aichfeld_Modell_hGW.fem	Stationäres Modell hGW-Zustand, mit tatsächlichen Entnahmen
Aichfeld_Modell_nGW_Konsens.fem	Stationäres Modell nGW-Zustand mit Konsensentnahmen
Aichfeld_Modell_2000-2010.fem	Instationäres Modell, mit tatsächlichen Entnahmen

Tabelle 7.10: Ergänzende Dateien.

Dateiname	Inhalt - Kurzbeschreibung
Grundwasserkoeper.shp	Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden, GK100096, Umriss
Modellgebiet.shp	Modellgebiet, Umriss
Flussachsen.shp	Flussachsen
Raster_GWN.shp	Raster für GWN-Flächen
Stauermodell.shp	Grundwasserstauermodell, 50 x 50 m Raster, Isolinien
ALS_DGM_50m_bnm31.shp	DGM
Hydrografiemesstellen.shp	Hydrografiemesstellen
Mur_QProfile_Sohle.shp	Mur, Stationierung Profile, Sohle
Poels_QProfile_Sohle.shp	Pöls, Stationierung Profile, Sohle
Ingering_QProfile_Sohle.shp	Ingeringbach, Stationierung Profile, Sohle
Granitzenbach_QProfile_Sohle.shp	Granitzenbach, Stationierung Profile, Sohle
WR_BewilligAnnahmen.shp	Wasserrechtlich bewilligte Anlagen im Modellgebiet

Tabelle 7.11: Ergebnisdateien.

Dateiname	Inhalt
Inaktive_Elemente.shp	Inaktive Modellbereiche
GW_Maechtigkeit_HGW.TIF/.shp	Grundwassermächtigkeit
nGW_Isolinien_IST_Entnahmen.shp	Grundwasserspiegel bei nGW, Isoliniendarstellung
mGW_Isolinien_Halb-Konsens_Entnahmen.shp	Grundwasserspiegel bei mGW, 0,5 Konsens, Isoliniendarstellung
hGW_Isolinien_IST_Entnahmen.shp	Grundwasserspiegel bei hGW, Isoliniendarstellung
nGW_Isolinien_Konsens_Entnahmen.shp	Grundwasserspiegel bei nGW, Konsensentnahme, Isoliniendarstellung
Flurabstand_HGW.TIF/.shp	Flurabstand bei HGW
Gebiete_Erkundung_Hoffnung.shp	Bereiche für ergänzende Untersuchungen und GW-Hoffnungsbereiche

8. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

8.1. Hydrogeologisches Modell

Im Zuge der hydrogeologischen Modellierung wurden zum Teil große Datendefizite bei den Eingangsgrößen festgestellt. Diese Defizite sind nicht nur quantitativ begründet, sondern sehr oft auch qualitativen Ursprunges.

So stellen Bohrdaten bei der Erarbeitung der Geometrie eines Grundwasserleiters die wichtigste geologische Informationsgrundlage dar. Insofern ist es von Bedeutung, dass die Bohrungen fachgerecht geologisch aufgenommen und dokumentiert werden. Die Auswertung der Bohrdaten für den Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden hat aber gezeigt, dass bei einer großen Anzahl an Bohrungen – auch für Grundwassermessstellen – keine belastbaren geologischen Informationen vorliegen. Es wird daher empfohlen, dass zumindest Untergrundaufschlüsse von wasserwirtschaftlicher bzw. wasserrechtlicher Relevanz zukünftig geologisch fachgerecht dokumentiert werden (siehe dazu auch Kap. 8.4).

Weiters wurde statistisch nachgewiesen, dass einerseits große Gebiete ohne jegliche geologische Bohrinformationen und andererseits noch größere Flächen ohne Informationen zur Tiefenlage und Lithologie des Grundwasserstauers existieren. Diese Defizite beschränken sehr stark die Aussagesicherheit der Geometrie des Grundwasserstauers, die gerade im Grundwasserkörper Aichfeld-Murboden, aufgrund des ausgeprägten Reliefs mit Hochzonen und Rinnen, eine sehr komplexe Struktur aufweist. Gebiete ohne geologische Informationen sollten daher zukünftig in Hinblick auf ein regionales Modell verstärkt erkundet werden. Vorschläge für Erkundungsgebiete sind in Abbildung 8.1 dargestellt.

Die Aquiferdurchlässigkeiten entstammen in erster Linie Kleinpumpversuchen, die meist nur punktuelle Informationen liefern. Es liegen rund 40 Einzeldaten von Durchlässigkeitsbeiwerten vor, was in Anbetracht der Größe des Modellgebietes eine Dichte von weniger als einem Datenpunkt auf zwei Quadratkilometer ergibt. Somit ist auch bei den Aquiferdurchlässigkeiten ein erhöhter Erkundungsbedarf gegeben, wobei Synergien bei der Überprüfung und Herstellung von Grundwasserpegeln genutzt werden könnten (siehe Kap. 8.4).

Bei einigen Grundwasserspiegelganglinien von hydrographischen Messstellen wurde ein auffälliger Verlauf festgestellt. Meist fehlen jedoch gerade von diesen Pegeln Profile und Ausbaupläne, um eine entsprechende hydrogeologische Plausibilitätsprüfung durchzuführen. Derartige Messstellen wurden in den meisten Fällen nicht zur Kalibrierung herangezogen. Die Ursachen können vielseitig sein und reichen von einer falschen geologischen Positionierung im Grundwasserstauer, mangelhaftem Ausbau und fehlender Entsandung bis zu Alterungsprozessen in den Pegeln.

Es wird daher in Hinblick auf die Bereitstellung belastbarer Grundwasserspiegeldaten bei zukünftigen numerischen Berechnungen empfohlen, eine hydrogeologische Plausibilitätsprüfung und eine Untersuchung der Funktionsfähigkeit aller aktuell als Messstellen im Einsatz befindlichen Grundwasserpegel durchzuführen. Dazu empfiehlt sich in einem ersten Schritt die Durchführung einer Kamerabefahrung, mit der der Zustand und die Lage der Filterstrecke überprüft werden.

In einem nächsten Schritt sind von Messstellen ohne geologische Profile geophysikalische Messungen anzuraten, anhand derer zumindest feinklastische und grobklastische Horizonte unterschieden werden. Eventuell wäre es damit auch möglich den Stauer zu erkunden.

Es liegen keine Dokumentationen zu ordnungsgemäßen Entsandungen der Messstellen vor und es ist daher nicht eindeutig belegt, inwieweit die Grundwasserpegel an den Aquifer angebunden sind. Aufgrund des Alters der Pegel sind auch Alterungsprozesse, die zu einer Herabsetzung der Filterdurchlässigkeit und damit zum Auftreten von hohen Brunnenwiderständen führten, möglich.

Weiters sind auch hydraulische Untersuchungen an den Messstellen anzuraten, einerseits um den Ausbauzustand zu überprüfen, andererseits um wie oben angeführt, Durchlässigkeitsbeiwerte zu generieren.

Es wäre im Zuge von Überprüfungsmaßnahmen auch die Bezugsniveaus der Wasserspiegelmessungen zu verifizieren. Auch hier gibt es Indizien, dass diese nicht immer korrekt sind.

Ist auch weiterführend eine instationäre Kalibrierung in Tagesschritten vorgesehen, sollte das Aufzeichnungsintervall der Messstellen zumindest Tageswerte erfassen. Die Synchronizität der Datenlogger ist dabei ebenfalls von Relevanz.

Im Grundwassermodellgebiet wurden insgesamt 57 Brunnen mit Entnahmen von über 2 l/s identifiziert. Die kumulative Konsensmenge dieser Brunnen liegt bei ca. 66.500 m³/d (770 l/s), die genehmigten Spitzenentnahmen bei 950 l/s. Für den Kalibrierungszeitraum 2000 – 2010 wurden ca. 50 % der Daten der tatsächlichen Entnahmen bereitgestellt, wobei die zeitliche Auflösung meistens keine Tageswerte erreichte (in der Regel nur Wochen- oder Monatssummen). Zum Teil mussten die Daten noch aufwändig digitalisiert werden.

Eine Ausstattung aller Brunnen zumindest mit Drucksonden, IDM und Datenlogger sollte möglich sein. Die Kosten der Monitoringeinheiten stehen in keiner Relation zu den Gesteigungs- und Betriebskosten der Wasserversorgungsanlagen.

Es wird daher in Hinblick auf zukünftige hydrogeologische Auswertungen empfohlen, die Aufzeichnungsintervalle und Parameter sowie die digitale Form der Bereitstellung der Daten zu standardisieren.

So sollten für eine hydrogeologische Auswertung immer Wertepaare von Wasserspiegellagen und Entnahmemengen, z.B. als Tagesmittelwerte oder Stundenwerte, vorliegen. Höhere zeitliche Auflösungen bis zu Sekundenwerten sind für den Betreiber und Spezialfragestellungen möglicherweise von Interesse, aber für eine globale hydrogeologische Betrachtung nicht notwendig.

Grundsätzlich wurde mit dem mathematischen Grundwassermodell Aichfeld-Murboden ein robustes Regionalmodell etabliert, das auch für zukünftige regionale Prognoseberechnungen herangezogen werden kann. Dazu ist aber die Wartung und Pflege des hydrogeologischen Modells (siehe (5)) dringend zu empfehlen. Eine definierte Stelle sollte dazu die relevanten Daten und Informationen laufend sammeln, bewerten und im hydrogeologischen Modell in regelmäßigen Abständen einpflegen. Eine Revision des hydrogeologischen Modells sollte in Abhängigkeit von Quantität und Qualität der Informationen in Abständen von fünf bis zehn Jahren erfolgen.

8.2. Niederschlag-Abflussmodell

Große Schwierigkeiten traten bei der Beschaffung von Bodendaten des eBOD auf, die schlussendlich aufwändig digitalisiert werden mussten. Diese Daten sollten entweder zukünftig vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt oder deren Beschaffung im Zuge der Projektabwicklung abgegolten werden.

Die meteorologischen Daten wurden zwischen den Messstellen interpoliert. Die Interpolation liefert aber nur dann eine der tatsächlichen räumlichen Verteilung entsprechende Ähnlichkeit, wenn die Stationen im Raum gleichmäßig verteilt sind. Besonders im alpinen Raum erschwert u.a. die ausgeprägte Morphologie die Interpolation. Bei der geringen Anzahl an Messstellen wäre es zukünftig wünschenswert, auch Daten aus in meteorologischen Feldern generierten Zeitreihen einzubeziehen. Dazu könnten z.B. die Ergebnisse von INCA (meteorologisches Vorhersagemodell mit stündlicher Auflösung) beitragen. Dabei werden entweder die gesamten meteorologischen Felder einer meteorologischen Größe entsprechend der zeitlichen Auflösung des N-A-Modells oder aus den im meteorologischen Feld ausgewählten Zellenwerten als Zeitreihe extrahiert und im N-A-Modell als Zeitreihe virtueller Stationen eingesetzt. Auf diese Weise wäre eine Verbesserung zukünftiger N-A-Modelle möglich.

Gewässerpegel sollten grundsätzlich mit den Grundwasserkörpergrenzen korrespondieren. So liegt der nächste Murpegel östlich des Grundwasserkörpers in Leoben. Größere Zubringer zur Mur sollten ebenfalls durch Pegelmessstationen erfasst werden.

Wenn ein N-A-Modell als notwendig erachtet und angestrebt wird, so sollten die Pegel der Oberflächengewässer zur Kalibrierung an den Eintritts- und Austrittsgrenzen der Grundwasserkörper situiert werden.

8.3. Numerisches Grundwasserströmungsmodell

Die Validierung des hydrogeologischen Modells erfolgte mit einem numerischen Grundwassermodell. Dieses lieferte, trotz aller Unsicherheiten bei den Eingangsgrößen, ein stationär und instationär statistisch zufriedenstellendes bis sehr gutes Ergebnis.

Mit dem numerischen Grundwassermodell liegt nun für den Grundwasserkörper des Aichfeld-Murboden ein robustes Regionalmodell mit einem ausreichenden Systemverständnis und bei einer der Größe des Gebietes zufriedenstellenden Genauigkeit vor. Lokale Anwendungen sollten jedoch erst nach einem Plausibilitätscheck der örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse und modelltechnischen Gegebenheiten erfolgen.

Neben den hydrogeologischen Eingangsgrößen (u.a. Aquifergeometrie, Grundwasserspiegellagen, Durchlässigkeitsverteilung, Entnahmen) sowie der Grundwasserneubildung aus dem N-A-Modell sind auch die Gewässer, nicht nur mit ihren Wasserspiegellagen, sondern auch mit ihren Sohlwiderständen als innere Modellrandbedingungen von Bedeutung.

Für eine exaktere Berücksichtigung der veränderlichen Grundwasserspiegellagen sind entlang der Flüsse instationäre Spiegellinienberechnung für sämtliche Flüsse und Kalibrierungszustände zu empfehlen.

8.4. Weiterführende Erkundung und Hoffungsgebiete

In Kap. 8.1 wird ausgeführt, dass zur Reduktion von geologischen und hydrogeologischen Informationsdefiziten Erkundungsbohrungen notwendig sind. In Abbildung 8.1 sind Gebiete ausgewiesen, die durch Bohrungen und deren Ausbau zu Grundwassermessstellen zu untersuchen wären.

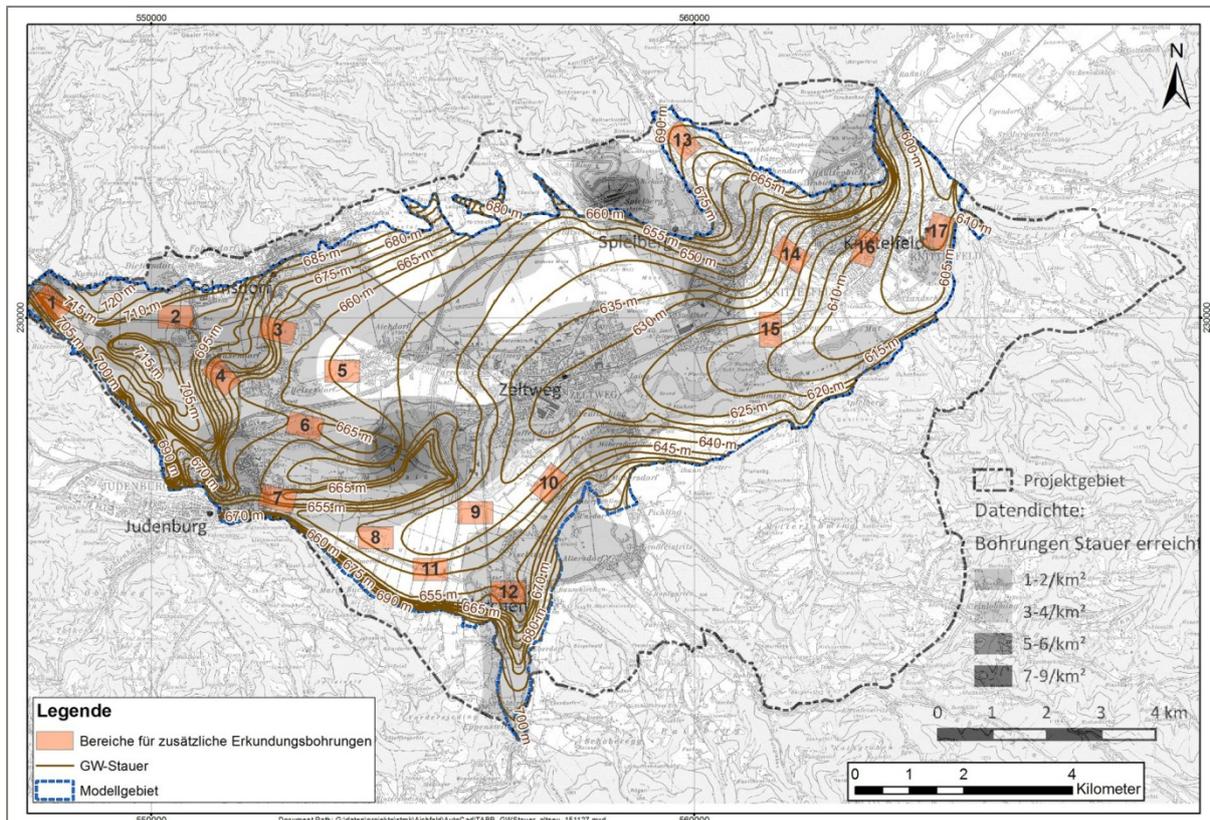


Abbildung 8.1: Vorgeschlagene Bereiche zur hydrogeologischen Erkundung und Grundwasserhoffungsgebiete.

Die Nummerierung der Bohrpunkte stellt dabei keine Prioritätenreihung dar. Grundsätzlich wären die ersten Bohrungen dort niederzubringen, wo die größten flächenhaften Informationsdefizite vorliegen. Weiters wären Grundwasserpegel auch dort zu errichten, wo der wasserwirtschaftliche Bedarf gegeben ist. In einer zweiten Phase könnten Bohrungen zur speziellen Erkundung von Untergrundstrukturen abgeteuft werden.

Zukünftig sollten jedenfalls alle Bohrungen geologisch dokumentiert werden. Dies sollte auch die Errichtung von Wasserfassungen betreffen. Weiters ist es zur hydrogeologischen Erkundung sinnvoll, die Grundwassermessstellen fachgerecht zu entsanden und danach zumindest durch Kurzzeitpumpversuche hydraulisch zu testen. Ein wichtiges Augenmerk sollte dabei auch auf der fachgerechten hydrogeologischen Dokumentation und Auswertung der Tests, v.a. in Hinblick auf Brunneneffekte und die damit verbundene Verfälschung der berechneten Durchlässigkeiten, gelegt werden.

Eine gewisse Standardisierung der geologischen und hydrogeologischen Erkundungsprozesses wäre für eine Vergleichbarkeit und Plausibilität der Daten anzustreben.

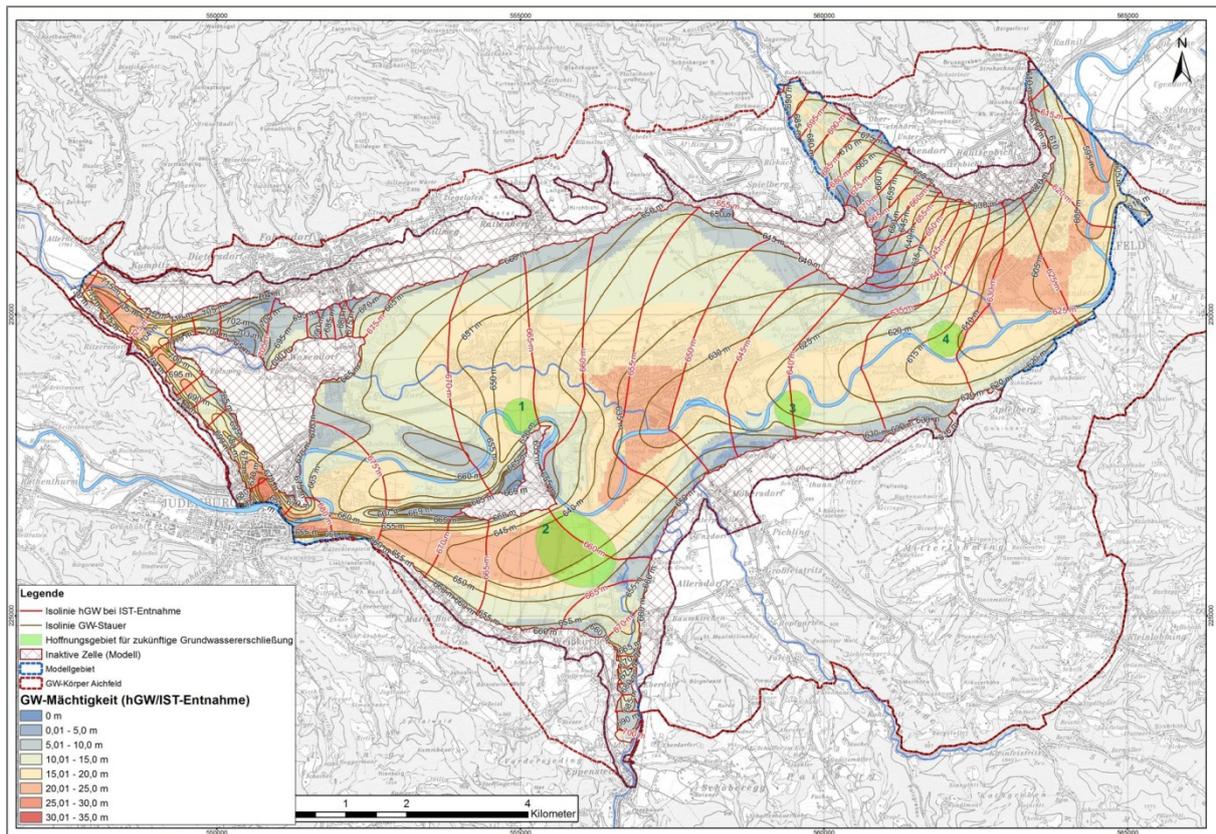


Abbildung 8.2: Grundwasserhoffungsgebiete mit den Grundwassermächtigkeiten.

In Abbildung 8.2 finden sich vier Bereiche ausgewiesen, wo aus quantitativer Sicht Grundwasser bevorzugt erschlossen werden könnten. Die Nummerierung dieser Grundwasserhoffungsgebiete stellt keine Wertung dar.

Bei der Auswahl dieser Gebiete wurde ausschließlich von quantitativen Überlegungen ausgegangen, die Grundwasserqualitäten wurden nicht einbezogen. Gute Durchlässigkeiten und große Grundwassermächtigkeiten, sowie eine größtmögliche Entfernung zu bestehenden Wasserrechten, bildeten die Hauptkriterien der Auswahl.

8.5. Ausblick

Aus den Erfahrungen mit dem Grundwassermodell Aichfeld lassen sich für zukünftige Projekte mit ähnlicher hydrogeologischer Informationsdichte die folgenden Schlüsse ziehen:

- Verstärkte Prüfung der Verfügbarkeit und der Plausibilität der Ausgangsdaten (Grundwasserspiegellagen, Entnahmen, geologische Bohrprofile, Flusswasserspiegellagen etc).
- Erstellung des hydrogeologischen Modells mit Defizitanalyse, auf dessen Basis über die Art und Weise der numerischen Berechnung entschieden wird.
- Validierung des hydrogeologischen Modells mit einem stationären numerischen Modell für zwei unterschiedliche hydrologische Zustände (nGW und hGW).
- Durchführung einer Niederschlag-Abflussmodellierung und einer instationären numerischen Kalibrierung nur dann, wenn das hydrogeologische Modell nach einer stationären

ren Kalibrierung als ausreichend valide beurteilt wurde und wenn eine sichere Datenbasis (Förderraten der Brunnen und Flusswasserspiegellagen in Tagesschritten, Abflussmessstellen an den Grenzen des zu modellierenden Grundwasserleiters usw.) vorhanden ist.

Der Anteil der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag liegt in der Gesamtwasserbilanz des Aichfeld-Murboden-Aquifers bei maximal 5 %. In Anbetracht der Unsicherheiten in Zusammenhang mit der Aquifergeometrie und den Flusswasserspiegellagen stellt dies eine vernachlässigbare Größenordnung dar.

Die Güte jedes numerischen (Prognose)-Modells steht und fällt mit der Belastbarkeit und Plausibilität des hydrogeologischen Modells. Aus diesem Grund sollte in einem Gebiet, in dem noch kein numerisches Modell etabliert wurde, zuerst in großem Umfang in die Akquise und Auswertung der Daten des zugrunde liegenden hydrogeologischen Modells investiert werden.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Die Firma Geoteam Ges.m.b.H. wurde als Bestbieter einer Ausschreibung mit Schreiben ABT14-70Au2-2004/268 der Abteilung 14 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Referat Wasserwirtschaftliche Planung vom 04.02.2013 mit der Erstellung eines instationären Grundwassermodells für den Grundwasserkörper GK 100096 Aichfeld-Murboden (Judenburg-Knittelfeld) beauftragt.

Auf Basis der umfangreichen Erhebung, Prüfung und Auswertung von Daten wurde für den quartären Grundwasserleiter des Aichfeld-Murboden ein hydrogeologisches Modell etabliert.

Parallel dazu erfolgte die Berechnung der Grundwasserneubildungsraten mit einem Niederschlag-Abflussmodell der hydrologischen Simulationssoftware WaSiM/ETH Version 9.1.0. für den Zeitraum 2000 – 2010.

Das hydrogeologische Modell wurde durch ein numerisches Grundwasserströmungsmodell mit Hilfe der Software FEFLOW Version 6.2 unter Einbeziehung des Niederschlag-Abflussmodells validiert. Die Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgte für den Zeitraum 2000 – 2010 sowohl stationär für niedere und höhere Grundwasserstände bei Ist-Entnahmen aus den Brunnen als auch instationär. Die Kalibrierung lieferte statistisch zufriedenstellende bis sehr gute Ergebnisse.

Anhand der Kalibrierung wurden Grundwasserschichtenpläne für niedere, mittlere und höhere Grundwasserstände erstellt. Weiters wurden die Entnahmen der Gesamtkonsensmengen der Brunnen für Niederwasserverhältnisse simuliert.

Mit dem etablierten Grundwasserströmungsmodell konnten die Grundwasserverhältnisse für verschiedene Zustände ausreichend nachgebildet werden. So wurde nachgewiesen, dass die Grundwasserneubildung zum überwiegenden Teil durch die Infiltration aus den Fließgewässern erfolgt. Der Anteil der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag liegt bei maximal 5 % der Gesamtbilanz.

Mit dem numerischen Grundwassermodell liegt nun für den Grundwasserkörper des Aichfeld-Murboden ein robustes Regionalmodell mit einem ausreichenden Systemverständnis und bei einer der Größe des Gebietes zufriedenstellenden Genauigkeit vor.

Die Analyse der Datengrundlagen wies auf verschiedene Defizite hin, woraus Verbesserungsmaßnahmen in Hinblick auf die zukünftige Pflege und Weiterführung der Modelle abgeleitet wurden. Dazu wurden ein hydrogeologisches Erkundungsprogramm vorgeschlagen und Hoffungsgebiete für zukünftige Grundwasserschließungen nach quantitativen Kriterien ausgewählt.

Geoteam Ges.m.b.H.

Graz, 29.01.2016

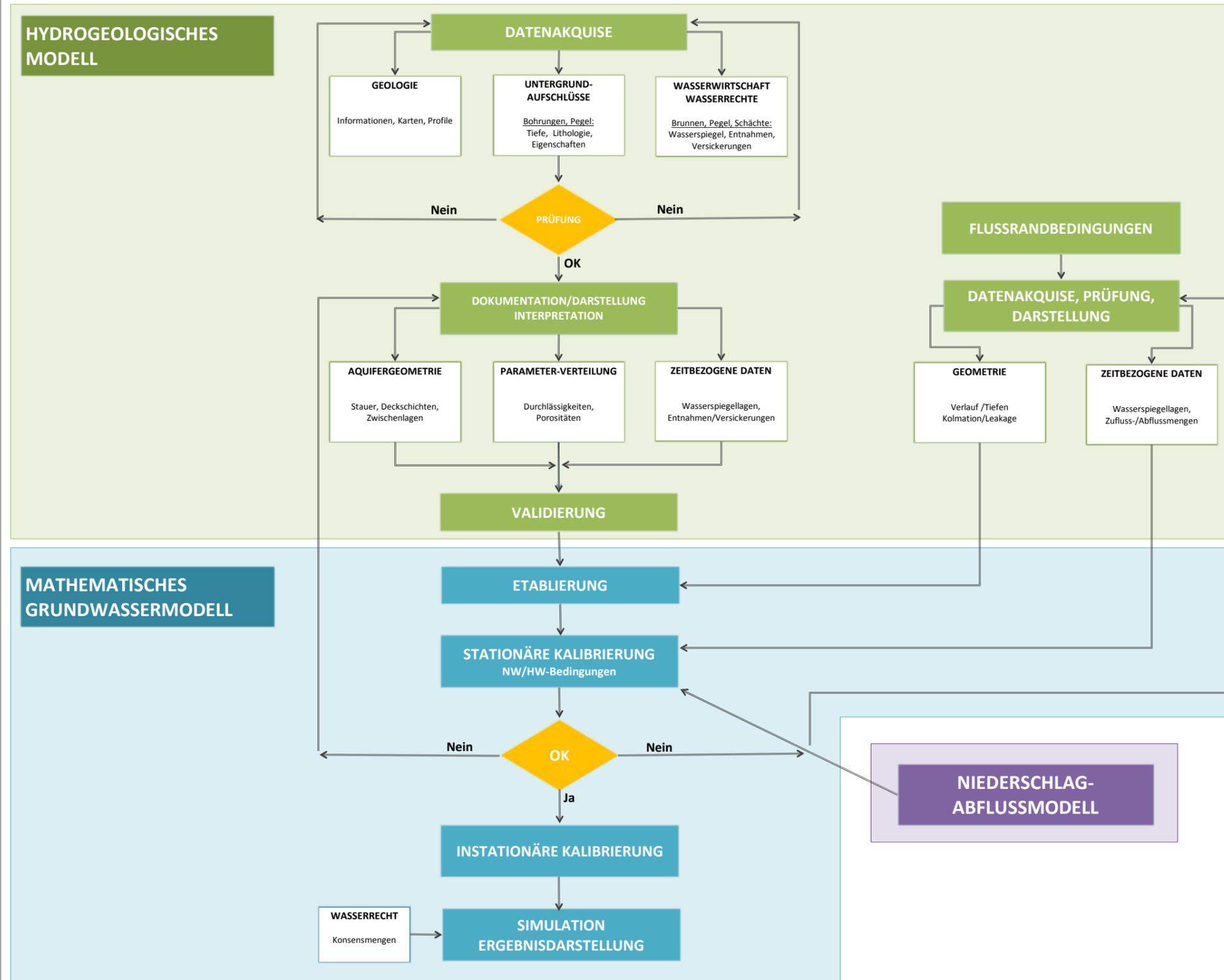
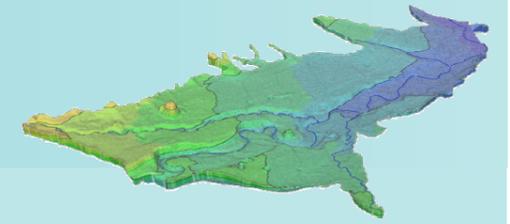
Univ.-Prof. Dr. Johann Goldbrunner e.h.
Geschäftsführer

Mag. Christian Kriegl
Bearbeitung

AICHFELD-MURBODEN

Instationäres Grundwasserströmungsmodell

work flow



Grundwasserkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell

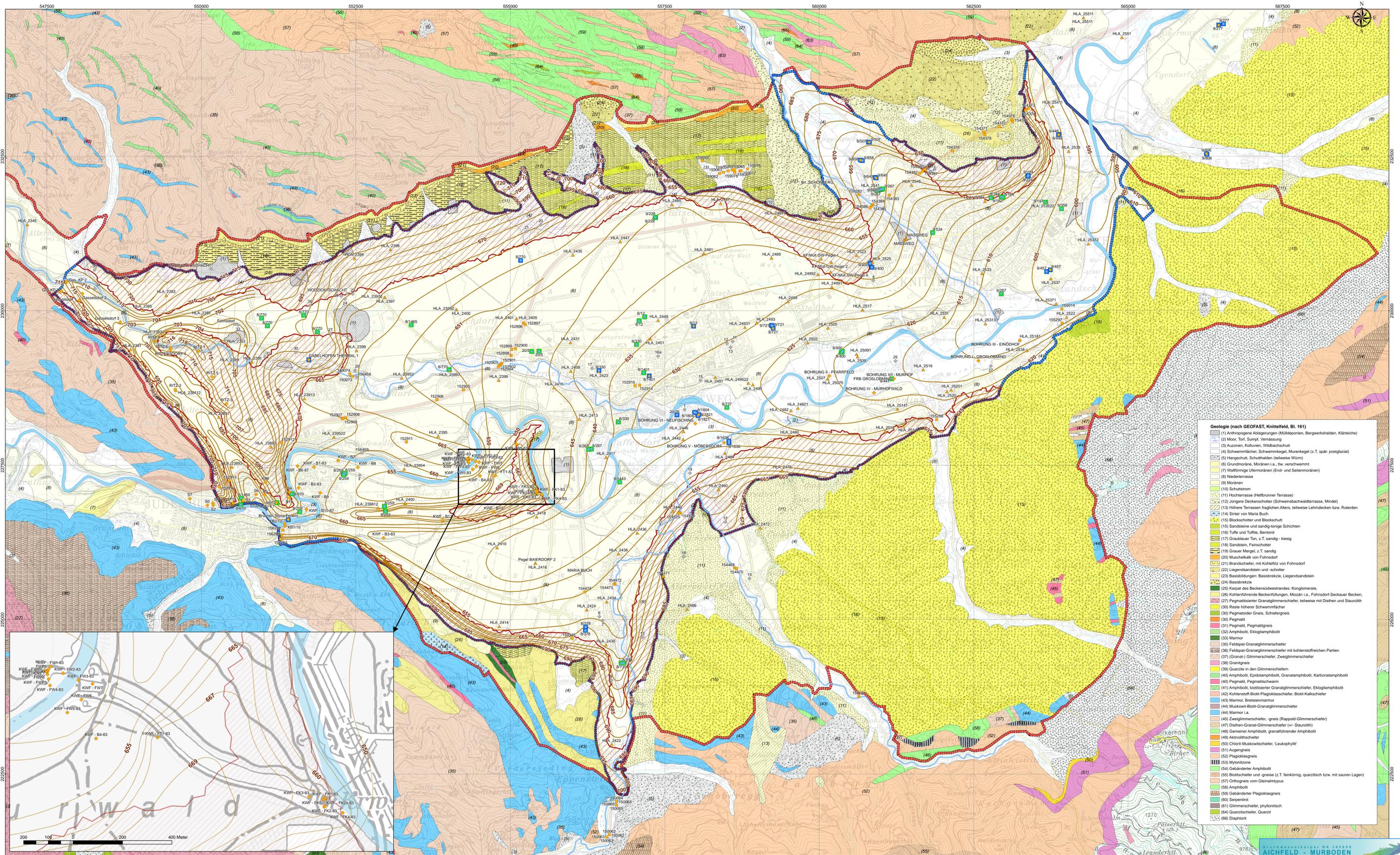
Auftraggeber:
Das Land Steiermark
 Amt der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartlingergasse 43

Ausführung:
Geoteam
 Technisches Büro für Hydrogeologie, Geothermie und Umwelt Ges.m.b.H.
 Bahnhofgürtel 77
 A-8020 Graz
 +43-316/269 269
 office@geoteam.at
 www.geoteam.at

Plantitel: Schematische Darstellung der Projektbearbeitung Workflow

Bearbeitung	Datum	PN	1302
<i>M. Gold</i>	27.11.2015	Originalgröße:	DIN A3
Revision:		BEILAGE 1	

G:..\Aichfeld\Ausführung\Auswertungen\project_work_flow.xlsx



- Geologie (nach GEOFAST, Knittelfeld, Bl. 161)**
- (1) Anthropogene Ablagerungen (Mülldeponien, Bergwerkshalden, Klänsache)
 - (2) Moor, Torf, Sumpf, Vernässung
 - (3) Auzonen, Kolluvien, Wildbachschutt
 - (4) Schwemmfächer, Schwemmkegel, Murenkegel (z.T. spät-postglazial)
 - (5) Hangabwärts, Schotterbänke (bisweilen warm)
 - (6) Grundmoräne, Moränen i.a. flw. verschmect
 - (7) Wallförmige Ufermoränen (End- und Seitenmoränen)
 - (8) Niederterrasse
 - (9) Moränen
 - (10) Schotterstrom
 - (11) Hochterrasse (Haltbühnen-Terrasse, Mittel)
 - (12) Jüngere Deckenschotter (Schweinsbachwälderterrasse, Mittel)
 - (13) Höhere Terrassen fraglichen Alters, teilweise Lehndecken bzw. Roterden
 - (14) Siltar von Maria Buch
 - (15) Blockschotter und Blockschutt
 - (16) Sandsteine und sandig-tonige Schichten
 - (17) Tuffe und Tuffe, Bentonit
 - (18) Graublauer Ton, z.T. sandig - kiesig
 - (19) Sandstein, Feinschotter
 - (20) Grauer Mergel, z.T. sandig
 - (21) Muschelkalk von Fohnsdorf
 - (22) Brandschiefer, mit Kohleflöz von Fohnsdorf
 - (23) Liegendstein und -schotter
 - (24) Basaltbrekzie, Basaltbrekzie, Liegendsandstein
 - (25) Karpat des Beckenswestrandes: Konglomerate
 - (26) Kohlenführende Beckenfüllungen, Miozän i.a., Fohnsdorf-Seckauer Becken
 - (27) Pegmatitführende Granatglimmerschiefer, teilweise mit Dithen und Staurolith
 - (28) Reste höherer Schwemmfächer
 - (29) Pegmatoider Gneis, Schiefergneis
 - (30) Pegmatit
 - (31) Pegmatit, Pegmatitgneis
 - (32) Amphibolit, Eklogitamphibolit
 - (33) Marmor
 - (34) Feldspat-Granatglimmerschiefer
 - (35) Feldspat-Granatglimmerschiefer mit kohlenstoffreichen Partien
 - (36) Feldspat-Granatglimmerschiefer mit kohlenstoffreichen Partien
 - (37) (Granat) Glimmerschiefer, Zweiglimmerschiefer
 - (38) Granatgneis
 - (39) Quarzite in den Glimmerschiefern
 - (40) Amphibolit, Epidiotamphibolit, Granatamphibolit, Karbonatamphibolit
 - (41) Amphibolit, biotitführender Granatglimmerschiefer, Eklogitamphibolit
 - (42) Kohlenstoff-Biotit-Pegmatitgneis, Biotit-Kalkschiefer
 - (43) Marmor, Breitenmarmor
 - (44) Marmor-Biotit-Granatglimmerschiefer
 - (45) Marmor i.a.
 - (46) Zweiglimmerschiefer, -gneis (Rapold-Glimmerschiefer)
 - (47) Dithen-Granatglimmerschiefer (s.u. Staurolith)
 - (48) Gemener Amphibolit, granatführender Amphibolit
 - (49) Aktinolithschiefer
 - (50) Chlorit-Muskowitschschiefer, Leukophyllit
 - (51) Augengneis
 - (52) Plagioklasgneis
 - (53) Mylonitzone
 - (54) Gebänderte Amphibolit
 - (55) Biotitschiefer und -gneis (z.T. feinkörnig, quarzsilich bzw. mit sauren Lagen)
 - (56) Orthogneis vom Gneisnitypus
 - (57) Amphibolit
 - (58) Gebänderte Plagioklasgneis
 - (59) Serpentin
 - (60) Saponit
 - (61) Glimmerschiefer, phyllonitisch
 - (62) Quarzschiefer, Quarz
 - (63) Diaphorit

- Legende**
- GW-Pegel alt
 - WR-Entnahme
 - WR-Rückleitung
 - Hydrografie (Quantität und/oder Qualität)
 - Straßenbohrung
 - Bohrung Kohle
 - Sonstige
 - WR - bewilligte Anlage / Konsensmenge >2 l/s
 - WR - bewilligte Anlage
 - Isolinie GW-Stauer
 - Inaktive Zelle (Modell)
 - Modellgebiet
 - Grundwasserkörper

Coordinate System: MGI Austria GK M31 BMN
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MGI
 False Easting: 450.000.000
 False Northing: -5.000.000.000
 Central Meridian: 15.3333
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter



1:20.000

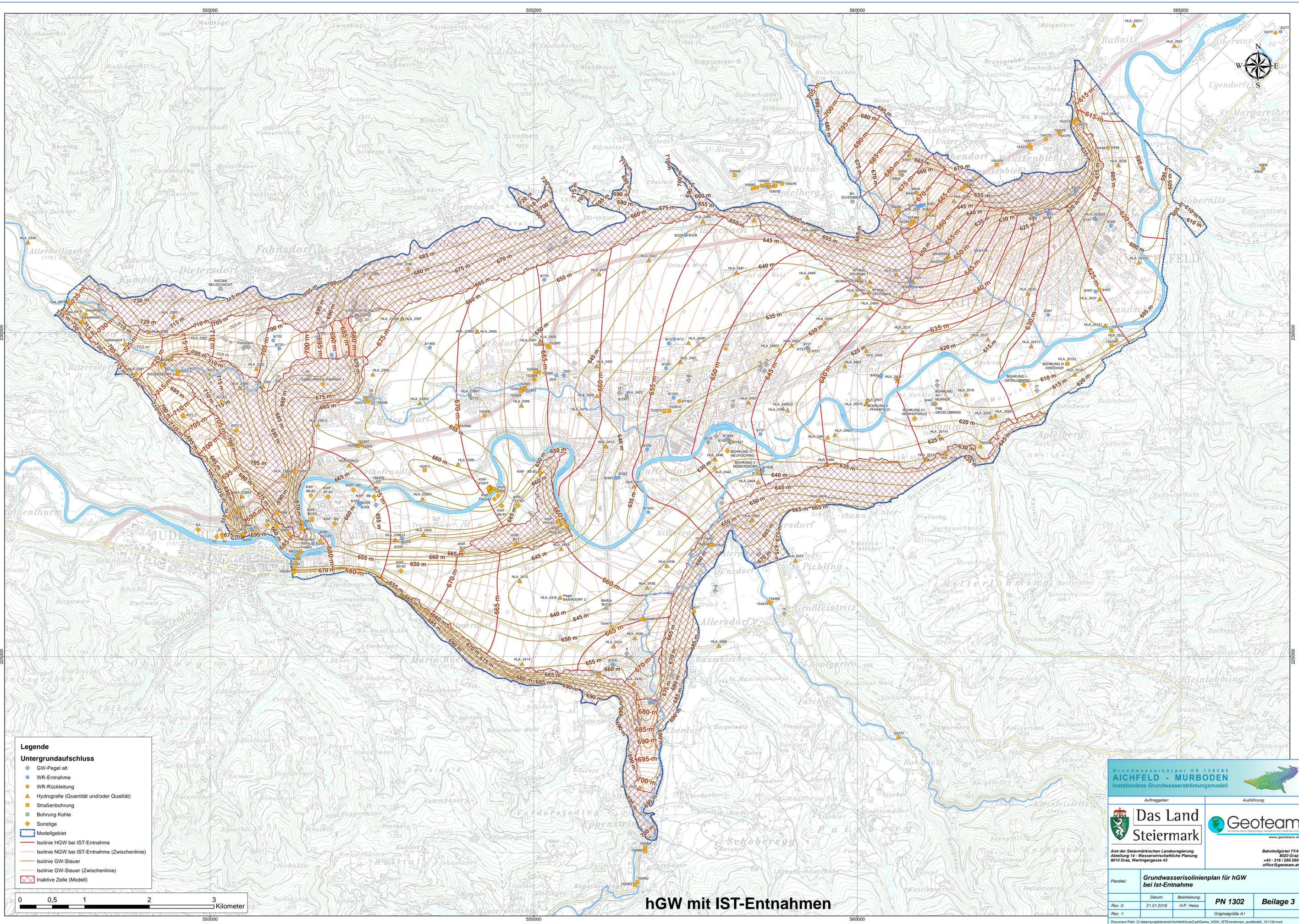
Das Land Steiermark
 Amt der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wallnergasse 43

Geoteam
 Bahnhofsplatz 77a
 8020 Graz
 +43 316 289 289
 office@geoteam.at

Hydrogeologische Arbeitskarte

Projekt:	PN 1302			Beilage 10
Rev. 0:	Datum:	Erstellung:	H.P. Huber	
Rev. 1:		Originalgröße A1		

Document Path: G:\daten\projekte\Austria\Aichfeld\Geologie_ALES_A1_16150.mxd



- Legende**
- Untergrundaufschluss**
- ◆ GW-Pegel alt
 - ◆ WR-Entnahme
 - ◆ WR-Rückleitung
 - ▲ Hydrografie (Quantität und/oder Qualität)
 - ▲ Straßenbohrung
 - Bohrung Kohle
 - ◆ Sonstige
 - ▭ Modellgebiet
 - Isolinie hGW bei IST-Entnahme
 - Isolinie NGW bei IST-Entnahme (Zwischenlinie)
 - Isolinie GW-Stauer
 - Isolinie GW-Stauer (Zwischenlinie)
 - ▭ Inaktive Zelle (Modell)



hGW mit IST-Entnahmen

Grundwassererkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell

Auftraggeber: **Das Land Steiermark**
 Ausführung: **Geoteam**

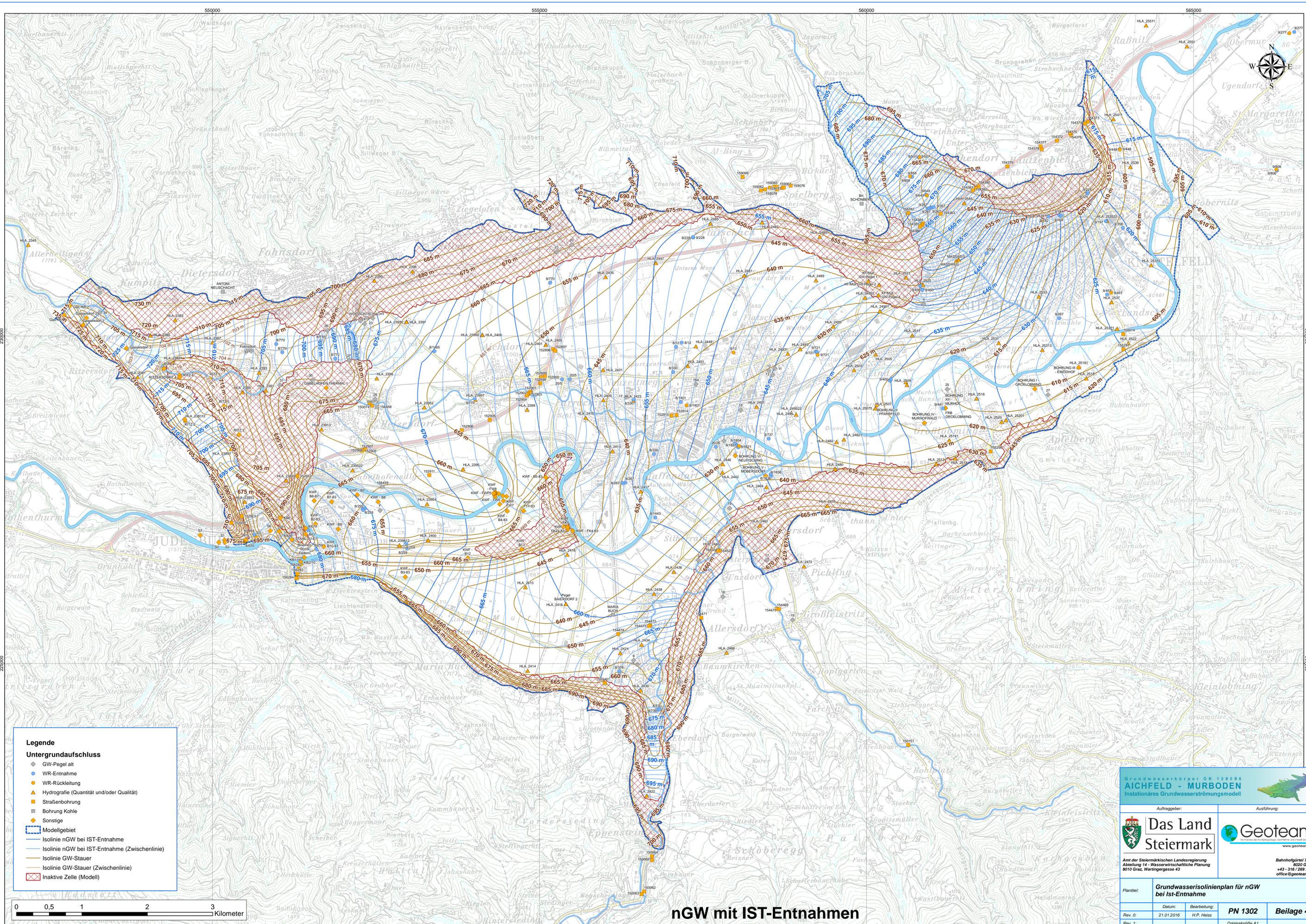
Ant der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartingergasse 43

Bahnholgürtel 77/4
 8020 Graz
 +43 - 316 / 269 269
 office@geoteam.at

Planziel: **Grundwasserisolienplan für hGW bei Ist-Entnahme**

Datum:	21.01.2016	Bearbeitung:	H.P. Heiss	PN 1302	Beilage 3
Rev. 0:					
Rev. 1:					

Document Path: G:\daten\projekte\stmk\Aichfeld\Autocad\Gwfko_hGW_ISTEntnahmen_ausModell_151130.mxd



Legende

Untergrundaufschluss

- ◆ GW-Pegel alt
- WR-Entnahme
- WR-Rückleitung
- ▲ Hydrografie (Quantität und/oder Qualität)
- Straßenbohrung
- Bohrung Kohle
- ◆ Sonstige
- ▭ Modellgebiet
- Isolinie nGW bei IST-Entnahme
- Isolinie nGW bei IST-Entnahme (Zwischenlinie)
- Isolinie GW-Stauer
- Isolinie GW-Stauer (Zwischenlinie)
- ⊠ Inaktive Zelle (Modell)



nGW mit IST-Entnahmen

Grundwasserkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell

Auftraggeber: **Das Land Steiermark**
 Ausführung: **Geoteam**

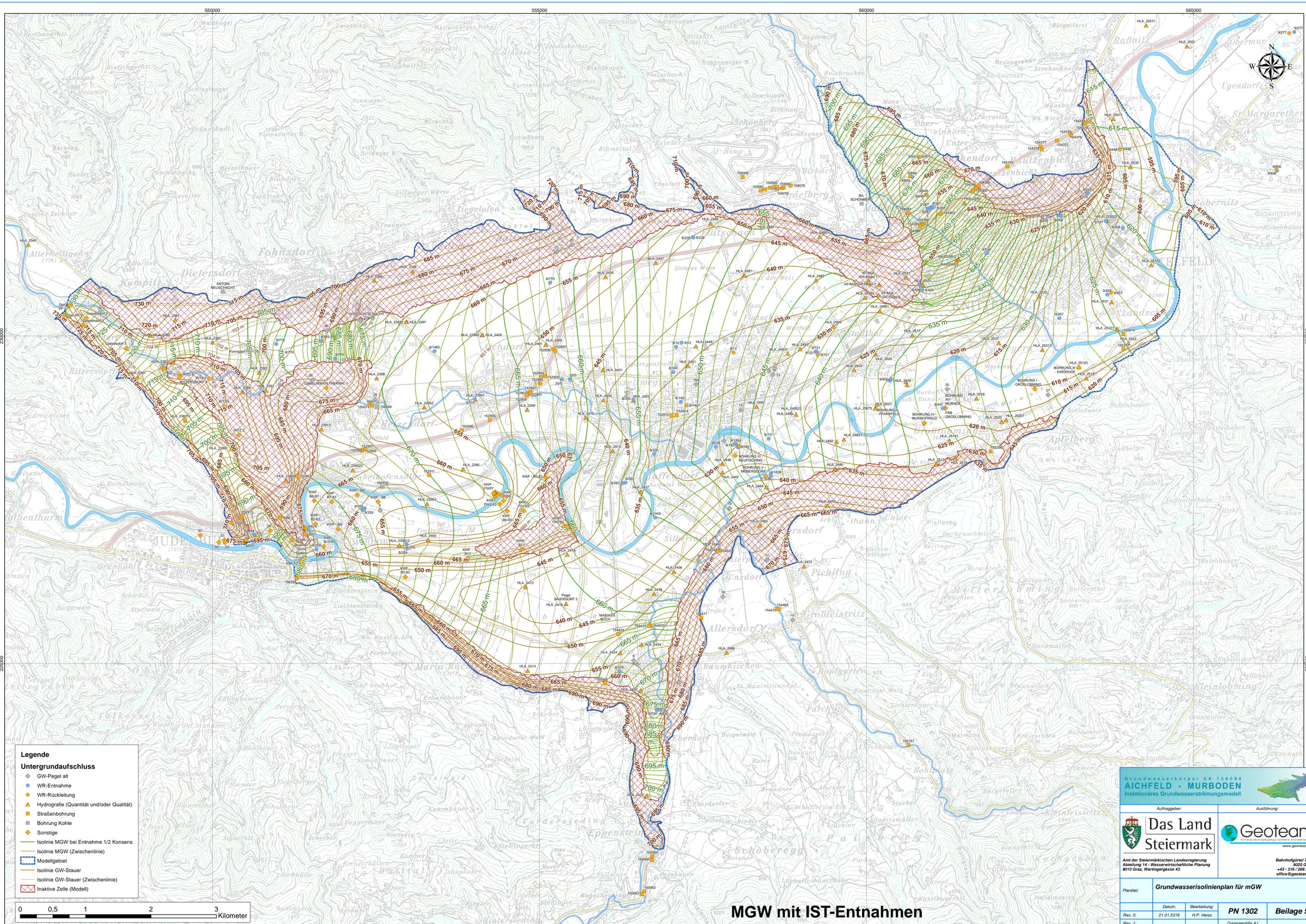
Anteil der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartingergasse 43

Bahnholzgürtel 774
 8020 Graz
 +43 - 316 / 269 269
 office@geoteam.at

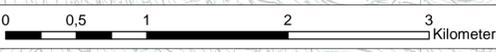
Planziel: **Grundwasserisolienplan für nGW bei Ist-Entnahme**

Datum:	Bearbeitung:	PN 1302	Beilage 4
Rev. 0:	21.01.2016	H.P. Heiss	
Rev. 1:			

Document Path: G:\daten\projekte\misch\Aichfeld\Aichfeld\Gefiles_NGW_ISTEntnahmen_ausModel_151126.mxd



- Legende**
- Untergrundaufschluss**
- ◆ GW-Pegel alt
 - WR-Entnahme
 - WR-Rückleitung
 - ▲ Hydrografie (Quantität und/oder Qualität)
 - ▲ Straßenbohrung
 - Bohrung Kohle
 - ◆ Sonstige
 - Isolinie MGW bei Entnahme 1/2 Konsens
 - Isolinie MGW (Zwischenlinie)
 - Isolinie MGW-Stauer
 - Isolinie MGW-Stauer (Zwischenlinie)
 - Inaktive Zelle (Modell)



MGW mit IST-Entnahmen

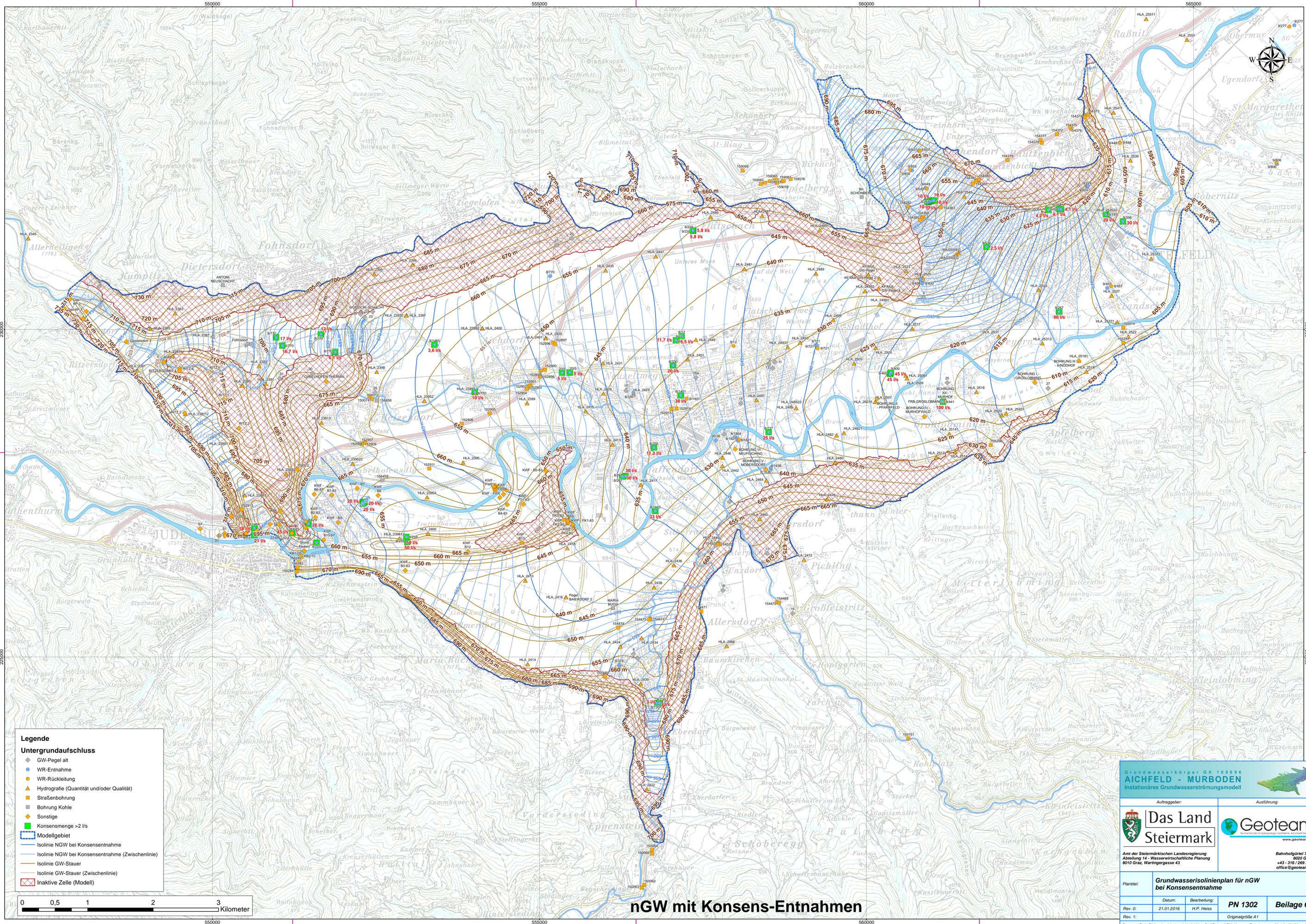
Grundwasserkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell

Auftraggeber: **Das Land Steiermark**
 Ausführung: **Geoteam**

Ant der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartingergasse 43

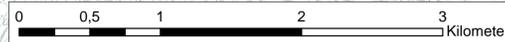
Bahnholgürtel 77/4
 8020 Graz
 +43 - 316 / 269 269
 office@geoteam.at

Planziel:	Grundwasserisolinienplan für MGW			
Rev. 0:	Datum: 21.01.2016	Bearbeitung: H.P. Heiss	PN 1302	Beilage 5
Rev. 1:	Originalgröße A1		Document Path: G:\daten\projekte\Aichfeld\AutoCad\Gis\GW_1_2_Konsens_ausModel_151130.mxd	



nGW mit Konsens-Entnahmen

- Legende**
- Untergrundaufschluss**
- ◆ GW-Pegel alt
 - WR-Entnahme
 - ▲ WR-Rückleitung
 - ▲ Hydrografie (Quantität und/oder Qualität)
 - Straßenbohrung
 - Bohrung Kohle
 - Sonstige
 - Konsensmenge >2 l/s
 - ▭ Modellgebiet
 - Isolinie NGW bei Konsensentnahme
 - Isolinie NGW bei Konsensentnahme (Zwischenlinie)
 - Isolinie GW-Stauer
 - Isolinie GW-Stauer (Zwischenlinie)
 - ▭ Inaktive Zelle (Modell)



Grundwassererkörper GK 100696
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell

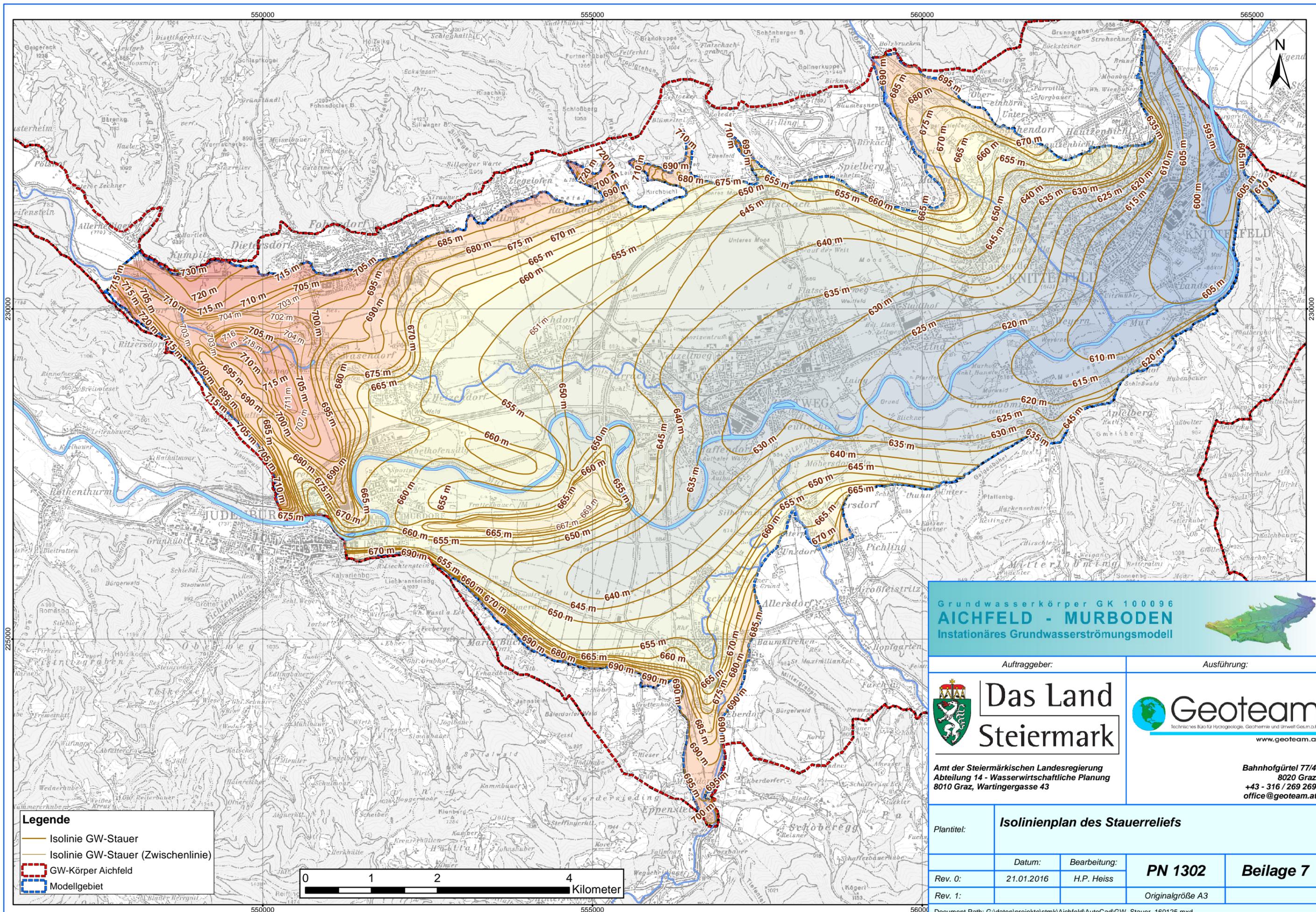
Auftraggeber: **Das Land Steiermark**
 Ausführung: **Geoteam**

Amst der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartingergasse 43

Bahnholgürtel 77H
 8020 Graz
 +43 - 316 / 269 269
 office@geoteam.at

Plantitel:	Grundwasserisolinienplan für nGW bei Konsensentnahme		
Datum:	21.01.2016	Bearbeitung:	H.P. Heiss
Rev. 0:	21.01.2016	PN 1302	Beilage 6
Rev. 1:		Originalgröße A1	

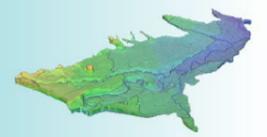
Document Path: G:\daten\projekte\stmk\Aichfeld\AutoCad\Gis\NGW_Konsens_Entnahmen_ausModell_151126.mxd



- Legende**
- Isolinie GW-Stauer
 - Isolinie GW-Stauer (Zwischenlinie)
 - GW-Körper Aichfeld
 - Modellgebiet



Grundwasserkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell



Auftraggeber:



Das Land Steiermark

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartingergasse 43

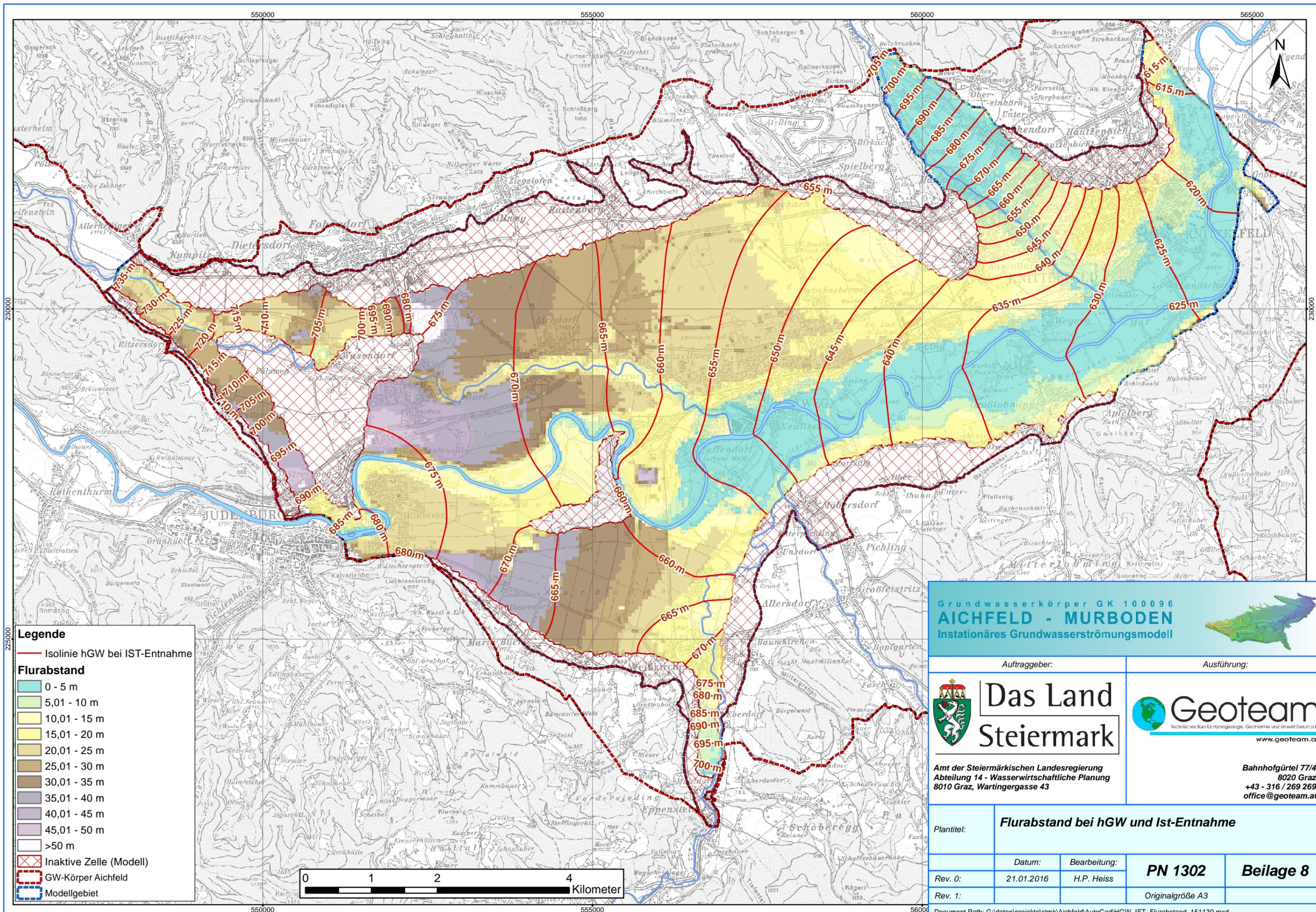
Ausführung:



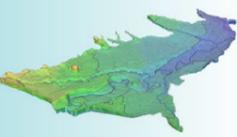
Geoteam
 Technisches Büro für Hydrogeologie, Geochemie und Umwelt Ges.m.b.H.
 www.geoteam.at

Bahnhofgürtel 77/4
 8020 Graz
 +43 - 316 / 269 269
 office@geoteam.at

Plantitel:	Isolinienplan des Stauerreliefs		
Rev. 0:	Datum: 21.01.2016	Bearbeitung: H.P. Heiss	PN 1302
Rev. 1:			Beilage 7
			Originalgröße A3



Grundwasserkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell



Auftraggeber:

Ausführung:



Amt der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung
 8010 Graz, Wartingergasse 43

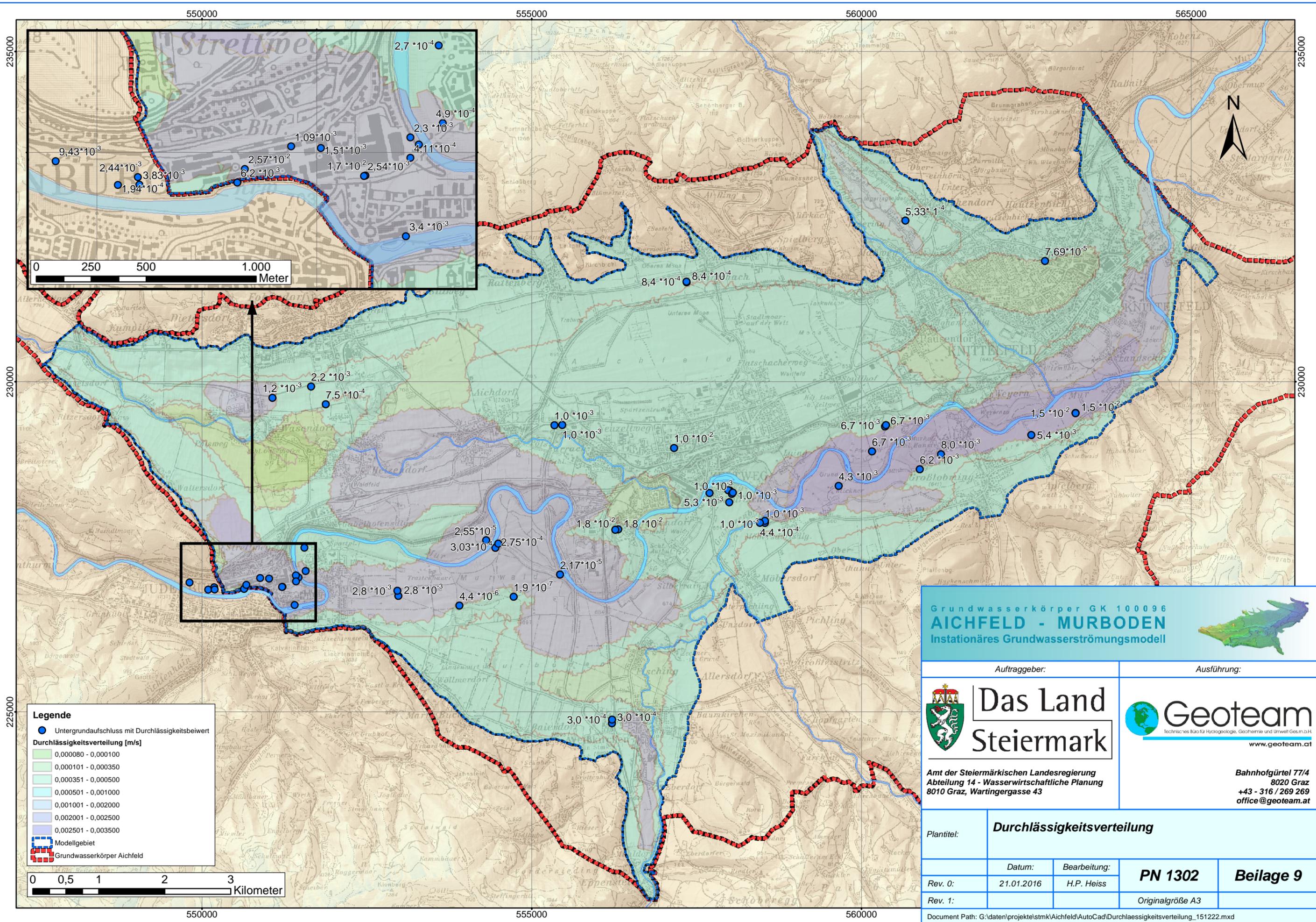
Bahnhofgürtel 77/4
 8020 Graz
 +43 - 316 / 269 269
 office@geoteam.at

Plantitel:	Flurabstand bei hGW und Ist-Entnahme		
Rev. 0:	Datum: 21.01.2016	Bearbeitung: H.P. Heiss	PN 1302
Rev. 1:			Beilage 8
			Originalgröße A3

Legende

- Isolinie hGW bei IST-Entnahme
- Flurabstand**
- 0 - 5 m
- 5,01 - 10 m
- 10,01 - 15 m
- 15,01 - 20 m
- 20,01 - 25 m
- 25,01 - 30 m
- 30,01 - 35 m
- 35,01 - 40 m
- 40,01 - 45 m
- 45,01 - 50 m
- >50 m
- Inaktive Zelle (Modell)
- GW-Körper Aichfeld
- Modellgebiet





Legende

- Untergrundausschluss mit Durchlässigkeitsbeiwert
- Durchlässigkeitsverteilung [m/s]
 - 0,000080 - 0,000100
 - 0,000101 - 0,000350
 - 0,000351 - 0,000500
 - 0,000501 - 0,001000
 - 0,001001 - 0,002000
 - 0,002001 - 0,002500
 - 0,002501 - 0,003500
- ▭ Modellgebiet
- ▭ Grundwasserkörper Aichfeld

Grundwasserkörper GK 100096
AICHFELD - MURBODEN
 Instationäres Grundwasserströmungsmodell

Auftraggeber:	Ausführung:
 Das Land Steiermark	 Geoteam Technisches Büro für Hydrogeologie, Geothermie und Umwelt Ges.m.b.H. www.geoteam.at
Amt der Steiermärkischen Landesregierung Abteilung 14 - Wasserwirtschaftliche Planung 8010 Graz, Wartingergasse 43	
Bahnhofgürtel 77/4 8020 Graz +43 - 316 / 269 269 office@geoteam.at	

Plantitel:	Durchlässigkeitsverteilung		
Rev. 0:	Datum: 21.01.2016	Bearbeitung: H.P. Heiss	PN 1302
Rev. 1:			Beilage 9
			Originalgröße A3

Document Path: G:\daten\projekte\stmk\Aichfeld\AutoCad\Durchlaessigkeitsverteilung_151222.mxd