Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsgebiet des Straussees

Bericht

Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsgebiet des Straussees

Bericht

BGD ECOSAX GmbH Tiergartenstraße 48 01219 Dresden
+49 (0)351 47878-9800

DHI WASY GmbH Volmerstraße 8 12489 Berlin
+49 (0)30 67 99 98-0

Erstellt für Stadt Strausberg

eigene Fotoaufnahme vom 04.08.18

Projektmanager	Dipl.-Ing. Matthias Beyer (BGD ECOSAX)
Projektbearbeitung	Dipl.-Ing. Katja Eulitz (DHI WASY), Dr.-Ing. Patrick Keilholz (DHI WASY), Dipl.-Geoökol. Theresa Albert (BGD ECOSAX), M. Sc. Philipp Huttner (DHI WASY)

Projektnummer	P182048MO; TDTWVV3618 / 14804798
Revision	Final 1.0
Einstufung	Vertraulich

INHALT

1 Einführung 1
1.1 Veranlassung und Zielstellung 1
1.2 Vorgehensweise 1
1.3 Verwendete Unterlagen 2
1.3.1 Daten 2
1.3.2 Gutachten 3

2 Ist-Standsanalyse des Untersuchungsgebiets Straussee (Meilenstein 1) 6
2.1 Untersuchungsgebiet Straussee 6
2.1.1 Entstehung des Straussees und seine Kenngrößen 6
2.1.2 Topografie 7
2.1.3 Einzugsgebiete und Gewässer 7
2.1.4 Flächennutzung und Böden 10
2.2 Hydrologie 13
2.2.1 Pegeldaten 13
2.2.2 Stauregulierung und Einleitungen 16
2.2.3 Niederschlag 18
2.2.4 Verdunstung auf der Landfläche 19
2.2.5 Verdunstung auf der Seefläche 20
2.2.6 Grundwasserneubildung 21
2.3 Geologie 22
2.4 Hydrogeologie/ Grundwasser 26
2.4.1 Unterirdisches Einzugsgebiet 26
2.4.2 Grundwasserentnahmen 26
2.4.3 Grundwassergleichenpläne 30
2.4.4 Grundwasserstandsganglinien 31
2.4.5 Kommunikation zwischen GWLK1 und GWLK2 35
2.5 Isotopenhydrologische Untersuchungen von Grund- und Oberflächenwässern 39
2.5.1 Grundlagen der Isotopenhydrologie 39
2.5.2 Untersuchungsmaterialien 40
2.5.3 Analysenmethoden 41
2.5.4 Ergebnisse 41

3 Aufbau und Kalibrierung des Modells (Meilenstein 2) 48
3.1 Modellraum 48
3.2 Geologisches Strukturmodell 49
3.2.1 Grundlagen des HGSM 49
3.2.2 Modellerstellung 51
3.3 Aufbau des Strömungsmodells 56
3.3.1 Modellraum 57
3.3.2 Klimatische Eingangsgrößen 60
3.3.3 Landnutzung 61
3.3.4 Oberflächenabfluss und Abfluss in Gewässern 61
3.3.5 Ungesättigter Bodenwasserhaushalt 63
3.3.6 Gesättigte 3-D Grundwasserströmung 64
3.4 Modellkalibrierung des Referenzzustands 68
3.4.1 Stationäre Kalibrierung 68
3.4.2 Instationäre Kalibrierung 71
3.4.1 Anpassung im Bereich Straussee 84

4 Bewertung der Wasserbilanz des Straussees (Meilenstein 3) 90
4.1 Auswertung des Wasserhaushalt Straussee 90
4.1.1 Direkter klimatischer Einfluss 90
4.1.2 Grundwasseran- und -abstrom 90
4.1.3 Zu- und Abfluss aus den Oberflächengewässern 92
4.2 Wasserbilanz 96
4.2.1 Direkter klimatischer Einfluss 96
4.2.2 Grundwasseran- und -abstrom 96
4.2.3 Zu- und Abfluss aus den Oberflächengewässern 97
4.2.4 Bildung der Gesamtbilanz 98
4.3 Bewertung der Grundwasserentnahmen 100
4.4 Monitoringkonzept 104
4.5 Maßnahmenableitung 107

5 Modelltechnische Maßnahmenbewertung (Meilenstein 4) 111
5.1 Maßnahme 1: Wasserüberleitung aus dem Fängersee 111
5.2 Maßnahme 2: Verringerung der Entnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg 113
5.3 Maßnahme 3: Änderung der Landnutzung im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens und im Anstrom des Straussees 115

6 Prüfung weiterer Entnahmen 119

7 Zusammenfassung und Ausblick 120

ABBILDUNGEN

Abbildung 2-1: Lage des Untersuchungsgebiets 7
Abbildung 2-2: Geländeoberkante und oberirdische Teileinzugsgebiete des Untersuchungsgebiets .8
Abbildung 2-3: Flächendeckende Landnutzungskartierung (Quelle: LfU) 11
Abbildung 2-4: Bodenübersichtskarte BÜK 1:200.000 (Quelle: LBGR).... 12
Abbildung 2-5: Wasserstandsentwicklung im Straussee ab 1970 bis Frühjahr 2019.... 14
Abbildung 2-6: Wasserstands- und Abflussentwicklung im Bötzsee ab 1970 15
Abbildung 2-7: Jahresmittelwerte des Abflusses aus dem Bötzsee (Quelle: LfU in ZALF, 2009)..... 15
Abbildung 2-8: Gegenüberstellung der Wasserstands- bzw. Abflussentwicklung im Straussee und Bötzsee ab 1989 16
Abbildung 2-9: Einleitungspunkte aus dem Generalentwässerungsplan der Stadt Strausberg (Quelle: Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, 2016) 17
Abbildung 2-10: Gemessene Jahresniederschläge an der Station Strausberg 1970 – 2018 (Quelle: DWD) 19
Abbildung 2-11: Potentielle Verdunstung auf der Landfläche nach Penman-Monteith für die hydrologischen Jahre 2014 bis 2018 an der Klimastation Manschnow 20
Abbildung 2-12: Halbjahressummen (mm) der Verdunstung auf der Seefläche 1985 bis 2018 21
Abbildung 2-13: Grundwasserneubildung bzw. ABIMO-Abflussspende (LfU Brandenburg).... 22
Abbildung 2-14: Ausschnitt der Hydrogeologischen Grundkarte im Bereich Straussee und Strausberg gemäß HK50 (VOIGT et. al, 1980-86).... 25
Abbildung 2-15: Legende zur Hydrogeologischen Grundkarte (VOIGT et. al, 1980-86).... 25
Abbildung 2-16: Genehmigte Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet (Quelle: LfU und LK MOL, Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019). 27
Abbildung 2-17: Jährliche Fördermengen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühlenweg und Strausberg 1989 - 2018 (Quelle: WSE und LfU, Fehljahre 1990 und 1994).... 28
Abbildung 2-18: Monatliche Fördermengen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühlenweg und Strausberg 2000 - 2018 (Quelle: WSE).... 28
Abbildung 2-19: Grundwasserstandsdifferenzen 2011 (LfU) minus 2019 (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019).... 31
Abbildung 2-20: Ausschnitt aus dem Grundwassergleichenplan der Stichtagsmessung Frühjahr 2019 mit Markierung ausgewählter Grundwassermessstellen (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019).... 32
Abbildung 2-21: Grundwasserstandsmessungen im Nahbereich der Brunnen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühle und Strausberg (ab 2005).... 33
Abbildung 2-22: Grundwasserstandsmessungen im Umfeld des Wasserwerks Bötzsee/ Spitzmühle (ab 2005).... 33
Abbildung 2-23: Grundwasserstandsmessungen im Einzugsgebiet des Straussees bzw. in angrenzenden Einzugsgebieten (ab 2005).... 34
Abbildung 2-24: Grundwasserstandsmessungen im Einzugsgebiet des Straussees bzw. in angrenzenden Einzugsgebieten (langjährig).... 35
Abbildung 2-25: Schnitt 9 aus VEB Hydrogeologie, 1970/71 36
Abbildung 2-26: Legende zu Schnitt 9 aus VEB Hydrogeologie, 1970/71 36
Abbildung 2-27: Hydrogeochemisches Genesemodell der Wässer in den GWLK des Landes Brandenburg, Gliederung nach maßgeblichen hypothetischen Salzen (aus RECHLIN, 1997).... 38
Abbildung 2-28: Vergleich der Chlorid- und Sulfatkonzentration in ausgewählten Grund- und Oberflächenwasserproben im Umkreis von Strausberg, Probenahme 10.04. und 24.10.2019 42
Abbildung 2-29: Tiefenprofile Sulfat und Chlorid, Probenahme Straussee 10.04. und 09.08.2019 42
Abbildung 2-30: $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$-Stabilisotopenverhältnisse aller Proben der Probenahmekampagne 10./11.04.19 43
Abbildung 2-31: $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$-Stabilisotopenverhältnisse aller Proben der Probenahmekampagne 09./13.08.19 43
Abbildung 2-32: $\delta^{2}H$- Tiefenprofil im Straussee am 10.04. und 09.08.2019 45

Abbildung 2-33: Vergleich der δ^2H-Isotopenverhältnisse von Straussee und Bötzsee (Zu-fluss) mit dem typischen saisonalen Gang des Nieder-schlages, Station Leipzig 45
Abbildung 2-34: δ^2H-Isotopensignaturen von Seewasserund Zustromwasserproben von Bötzsee und Straussee, Probenahme 24.10.2019 46
Abbildung 2-35: Vergleich von Calcium-Konzentrationen und pH-Werten ausgewählter Grundwasser- und Straussee-Wasserproben, Probenahme 09.08.19 47
Abbildung 2-36: Sedimentproben vom Seeboden aus der Mitte des Straussees, Probenahme 09.08.2019 47
Abbildung 3-1: Lage des Betrachtungsraums (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019) 48
Abbildung 3-2: Aufschlussdaten – Lageplan der Bohransatzpunkte im Betrachtungsraum (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019) 50
Abbildung 3-3: Dreiecksnetz der Schichtbildung UK GWLK 2 im Kontext der Nachweispunkte (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019) 52
Abbildung 3-4: Verwendete geologische Profile (LBGR, HGN 1999, Hydro1992 und HY 1970) 53
Abbildung 3-5: Längsschnitt von Süd nach Nord durch den Straussee mit Bodengruppenbereichen 54
Abbildung 3-6: Lage der geologischen Profilschnitte im Modellgebiet 54
Abbildung 3-7: Geologisches Querprofil von West nach Ost durch den Fängersee und Straussee 55
Abbildung 3-8: Geologisches Querprofil von West nach Ost durch den Fängersee, Straussee sowie die Wasserwerke 55
Abbildung 3-9: Geologisches Längsprofil von Nord nach Süd durch den Bereich der Stauchungszone und des Wasserwerks Strausberg 56
Abbildung 3-10: Modellsystem MIKE SHE mit Beschreibung der berechenbaren Wasserhaushaltskomponenten 56
Abbildung 3-11: Abgrenzung des Grundwassermodellgebiets auf Grundlage der Grundwassergleichen von 1993 (Quelle: LfU Brandenburg) 58
Abbildung 3-12: Geländeoberkante auf Basis des digitalen Geländemodells mit Darstellung des Modellumgriffs 59
Abbildung 3-13: Klimadaten für den Betrachtungszeitraum 60
Abbildung 3-14: Im Modell verwendete Landnutzungsklassen 61
Abbildung 3-15: Leckage-Werte der versiegelten Flächen (Hintergrundkarte Google Earth) 62
Abbildung 3-16: Lage des Gewässernetzte mit den zugeordneten Gewässerquerschnitten (Hintergrundkarte Google Earth) 63
Abbildung 3-17: Schichtgrenzen (Unterkanten) des GWLK1 (links); Mergelschicht (Mitte) und des GWLK2 (rechts) in mNN (Hintergrundkarte Google Earth) 64
Abbildung 3-18: Mächtigkeiten des GWLK1 (links), der Mergelschicht (Mitte) und des GWLK2 (rechts) (Hintergrundkarte Google Earth) 65
Abbildung 3-19: Übersicht zu den festgesetzten Randbedingungen (blau: Wasserhebungen) 67
Abbildung 3-20: Wasserstandsverlauf an GWMS HySu1/70OP (Gielsdorf) mit roter Linie = Mittelwert, orange sind jeweils die Messwerte der Stichtagsmessungen 1993 und 2011 69
Abbildung 3-21: Großräumige Grundwasserdynamik im Zeitraum WWJ 2009 bis 2018 72
Abbildung 3-22: Vertikale (oben) und horizontale (unten) Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeiten für GWLK1 (links), der Mergelschicht (Mitte) und des GWLK2 (rechts) 74
Abbildung 3-23: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HyBith23/75 75
Abbildung 3-24: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 33485041-RHyLUA101/02 75
Abbildung 3-25: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 33495005-RHySu 18/70 75
Abbildung 3-26: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu124/92 UP 76
Abbildung 3-27: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu125/92 76
Abbildung 3-28: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu127/92 76
Abbildung 3-29: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HY Su 6/1971 77
Abbildung 3-30: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle Brunnen 6 77
Abbildung 3-31: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle Brunnen 9 77
Abbildung 3-32: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle GWBR1 78
Abbildung 3-33: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle GWBR2 78
Abbildung 3-34: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySU12/70 78

Abbildung 3-35: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 34495032-RHyLUA79/01 Treuenhof .. 79
Abbildung 3-36: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 34491545-RHySu 1/70 UP Herrensee 79
Abbildung 3-37: Wasserstand im Bötzsee 79
Abbildung 3-38: Abfluss im Bötzsee 80
Abbildung 3-39: Wasserstand im Fängersee 81
Abbildung 3-40: Zufluss zum Fängersee 81
Abbildung 3-41: Räumlich differenzierte mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum WWJ 2009/2018 82
Abbildung 3-42: Grafische Darstellung der gemittelten Jahreswerte der Wasserbilanzgrößen in [mm/a] 83
Abbildung 3-43: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 33491521-RHySu10/70 UP 84
Abbildung 3-44: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu019/1970 MP 84
Abbildung 3-45: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu09/71 85
Abbildung 3-46: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu121/92 85
Abbildung 3-47: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu5/70 86
Abbildung 3-48: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 34495033-RHyLUGV215/13 86
Abbildung 3-49: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle BR 1 Altlast A (Reinigung) MP 87
Abbildung 3-50: Berechneter Abfluss in m³/s aus dem Straussee über das Ausleitbauwerk für den Betrachtungszeitraum 2010 – 2018. 87
Abbildung 3-51: Berechneter Zufluss aus der kleinen Babe in m³/s in den Straussee für den Betrachtungszeitraum 2009 – 2018. 88
Abbildung 3-52: Berechneter Zufluss aus dem Roten Hofgraben in m³/s in den Straussee für den Betrachtungszeitraum 2009 – 2018. 88
Abbildung 3-53: Wasserstand im Straussee 89
Abbildung 4-1: Schematische Darstellung der Wasserhaushaltsprozesse des Stausees (Hintergrundkarte Google Earth) 90
Abbildung 4-2: „Particle Tracking“ (30 Jahre) für das gesamte Modellgebiet mit Partikeleintrag in GWLK1. 91
Abbildung 4-3: Darstellung der mit dem Straussee interagierenden Fließpfade für den Zufluss (rot) und den Abfluss (grün) mit Partikeleintrag in GWLK1 92
Abbildung 4-4: Jährlicher Abfluss aus dem Straussee über das Annafließ 93
Abbildung 4-5: Jährlicher Zufluss in den Straussee über den Roten Hofgraben 94
Abbildung 4-6: Jährlicher Zufluss in den Straussee über die kleine Barbe 94
Abbildung 4-7: Darstellung der Pfade über 30 Jahre mit Grundwasserzustrom (Partikeleintrag über GWLK1) in den Roten Hofgraben 95
Abbildung 4-8: Wasserbilanz des direkten Klimatischen Einflusses auf den Straussee 96
Abbildung 4-9: Wasserbilanz des direkten Grundwasserzu- und -abstroms 97
Abbildung 4-10: Wasserbilanz der Zu- und Abflüsse 98
Abbildung 4-11: Summierte Wasserbilanz der positiv und negative gerichteten Bilanzgrößen 99
Abbildung 4-12: Differenzen der Bilanzgrößen Klima, Grundwasser und Oberflächengewässer mit Darstellung des Wasserdefizits und den Auswirkungen auf den Strausseewasserstand. 99
Abbildung 4-13: Zustrombereiche zu den zwei Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg (Rückwärtspartikel 30 Jahre) und mit dem Straussee interagierenden Fließpfade für den Zufluss (rot) und den Abfluss (grün) 100
Abbildung 4-14: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg. 101
Abbildung 4-15: Berechnete Grundwasserzu- und -abflüsse im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg. 102
Abbildung 4-16: Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg im Vergleich zum IST-Zustand. 103
Abbildung 4-17: Übersicht Monitoringkonzept (Anlage 4) 105
Abbildung 4-18: Bestehende (blau) und empfohlene (rot) OWMS im Einzugsgebiet (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019) 106

Abbildung 4-19: Wasserspiegel- und Abflussganglinien des Bötzsees am Pegel Eggersdorf. 108
Abbildung 4-20: Anstieg der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg seit 2014 in den Wintermonaten aufgrund des durchgängigen Filterbetriebs und Gegenüberstellung mit den Monatsmengen aus 2012. 108
Abbildung 4-21: Anstieg der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg seit 2014 insbesondere in den Sommermonaten und Gegenüberstellung mit den Monatsmengen aus 2012. 109
Abbildung 4-22: Roter Hofgraben vor Mündung in den Straussee. 109
Abbildung 4-23: Grundwasserzutrittsbereich am Nordufer. 109
Abbildung 4-24 Teilgebiete des Generalentwässerungsplant [17] 110
Abbildung 5-1: Abschätzung zur Machbarkeit der Wasserüberleitung im Winterhalbjahr November bis April anhand der Abflussmessungen des Bötzsees am Pegel Eggersdorf. 112
Abbildung 5-2: Vorschlag zur Realisierung in Form einer ca. 2500 m langen Druckleitung aus dem Fängersee (Quelle: „Offener Brief“ von Hr. Hänisch an Fr. Stadeler vom 11.03.2019). 112
Abbildung 5-3: Berechnungsansatz zur Verringerung der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg mit den Fördermengen aus 2012 für die Jahre 2014 – 2018. 113
Abbildung 5-4: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den verringerten Grundwasserentnahmen am WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg ab 2014. 113
Abbildung 5-5: Berechnete Grundwasserzu- und -abflüsse im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den verringerten Grundwasserentnahmen am WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg ab 2014. 114
Abbildung 5-6: Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der verringerten Fördermengen im Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg im Vergleich zum IST-Zustand. 115
Abbildung 5-7: Landnutzung im unterirdischen Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens: IST-Zustand (linke Abbildung), Szenario mit geänderter Landnutzung (rechte Abbildung). 116
Abbildung 5-8: Verteilung der mittleren Neubildung im unterirdischen Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens: IST-Zustand (linke Abbildung), Szenario mit geänderter Landnutzung (rechte Abbildung). 116
Abbildung 5-9: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit dem Szenario zur veränderten Landnutzung. 117
Abbildung 5-10: Berechneter Abfluss im Roten Hofgraben im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit dem Szenario zur veränderten Landnutzung. 117
Abbildung 5-11: Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der geänderten Landnutzung im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens im Vergleich zum IST-Zustand. 118
Abbildung 6-1: Entnahmemengen der Wasserwerke Spitzmühle und Strausberg sowie die Mehrentnahme von ca. 1 Mio. m³/a 119
Abbildung 6-2: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie unter Berücksichtigung erhöhter Entnahmen 119

TABELLEN

Tabelle 1-1: Quellenübersicht der verwendeten Daten 2
Tabelle 2-1: Übersicht zu den Stillgewässern und Seen sowie Fließgewässern im Untersuchungsgebiet. 9
Tabelle 2-2: Flächennutzungstypen und zugehörige Flächenanteile im Untersuchungsgebiet. 10
Tabelle 2-3: Vereinfachte Zeichenerklärung der Bodenübersichtskarte 13
Tabelle 2-4: Versiegelte Flächen und erwartete Abflüsse der EZG für ein 2-jährliches Niederschlagsereignis, die in den Straussee eingeleitet werden (Quelle: Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, 2016) 18
Tabelle 2-5: Jährliche Grundwasserentnahmen durch den Golfclub Wilkendorf (Quelle: LfU) 30
Tabelle 3-2: Berechnungsansätze in MIKE SHE 57
Tabelle 3-2: Vertikale Modelldiskretisierung in der ungesättigten Zone 60
Tabelle 3-4: Exemplarische Parametrisierung des Leitprofils 11 (Acker) 64
Tabelle 3-5: Verteilung der geohydraulischen Parameter im Ergebnis der stationären Kalibrierung 69
Tabelle 3-6: Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände 70
Tabelle 3-7: Verteilung der geohydraulischen Parameter am Ende der instationären Kalibrierung 73
Tabelle 4-1: Jährliche Defizitmengen als Grundlage für die Abschätzung des Wasserbedarfs für Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushalts. 107

ANHANG

Anlage	Bezeichnung	Zeichnungsnr.
Anlage 1	Übersichtslageplan	182048G006
Anlage 2	Vergleich der unterirdischen Einzugsgebiete	182048G007
Anlage 3	Hydroisohypsen Frühjahr 2019	182048G008
Anlage 4	Monitoringkonzept Grund- und Oberflächenwasser	182048G012
Anlage 5	Messstellen gesamt	182048G011

Abkürzungsverzeichnis

AKS	Aqua-Kommunal-Service GmbH
AN	Auftragnehmer
ASK	Arbeitsgruppe für Stadtplanung und Kommunalbau GmbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BÜK	Bodenübersichtskarte
DGM	Digitales Geländemodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
EZG	Einzugsgebiet
GWL	Grundwasserleiter
GWLK	Grundwasserleiterkomplex
GWMS	Grundwassermessstelle
HGN	HGN Hydrogeologie GmbH
HGWL	Hauptgrundwasserleiter
HK50	Hydrogeologische Karte 1:50 000
k_f-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
LAI	„Leaf Area Index“ (Blattflächenindex)
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LK	Landkreis
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (jetzt LfU)
m DHHN92	Höhen über Normalhöhennull (Deutsches Haupthöhennetz 1992)
mNN	Meter über Normalnull
MOL	Märkisch-Oderland
MUGV	Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
ÖNU	Forschungs-, Beratungs- und Projektierungs-GmbH für Ökologie, Natur- und Umweltschutz
OWM	Oberflächenwassermessstelle
S_s	Spezifischer Speicherkoeffizient [m^{-1}]
VEB	Volkseigener Betrieb
WASIM	Modulares Abfluss- und Wasserhaushaltsmodell ETH
WSE	Wasserverband Strausberg-Erkner
WW	Wasserwerk
WWJ	Wasserwirtschaftsjahr
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

1 Einführung

1.1 Veranlassung und Zielstellung

Der Landschaftswasserhaushalt in Nordostdeutschland befindet sich in einem Wandel. Sinkende Grundwasser- und Seespiegel, reduzierte Abflussmengen in Fließgewässern und ausgetrocknete Moore werden zunehmend in Politik und Öffentlichkeit thematisiert (Kaiser et al. 2012, Lischeid 2010, Hupfer et al. 2011). Gründe dafür werden in einer Abnahme der Niederschläge und einer Zunahme der Sommertemperaturen, die zu einer erhöhten Verdunstung führen, gesehen.

Im Einzugsgebiet des Straussees ist seit einigen Jahren ebenfalls das Phänomen sinkender Grundwasser- und Seespiegel zu beobachten. Eine vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) 2009 durchgeführte Trendanalyse mit Daten aus der Region bestätigt die klimatischen Veränderungen. Laut ZALF (2009) können diese Veränderungen jedoch nicht der einzige Grund für den sinkenden Wasserstand des Straussees sein. Zu weiteren Ursachen für die Wasserstandsabsenkungen gibt es viele unterschiedliche Theorien, welche bereits in der Öffentlichkeit diskutiert werden. Es wird ein indirekter Zusammenhang zwischen Wasserentnahmen im Einzugsgebiet des Straussees, einer daraus folgenden Veränderung des Grundwasserkörpers und dem Wasserspiegelrückgang im Straussee vermutet. Ob und inwieweit der Rückgang des Wasserspiegels des Straussees auf die klimatischen Verhältnisse zurückzuführen ist oder ob die Abnahme durch den Einfluss der Trinkwassergewinnung in den Wasserwerken Strausberg und Bötzsee bzw. durch andere Ursachen verstärkt wird, gilt es zu untersuchen. Der See wird größtenteils durch die Bevölkerung Berlins und Brandenburgs als Naherholungsraum genutzt. Am See befinden sich ein öffentliches Schwimmbad, ein Bootsverleih und eine Taucherbasis. Die Stadt Strausberg ist sehr daran interessiert, den See für die Bevölkerung in den kommenden Jahren zu erhalten.

In der Vorstudie des ZALF aus dem Jahr 2009 konnten mit den vorliegenden Daten die Bilanzgrößen des Seewasserhaushaltes nur teilweise abgebildet werden. Eine genauere Abbildung der Zusammenhänge im Untersuchungsgebiet soll durch die Erfassung weiterer Daten und vor allem durch die Erstellung eines gekoppelten Wasserhaushalts- und Grundwassermodells erreicht werden. Dadurch soll das Zusammenwirken von ober- und unterirdischen Zuflüssen und Abflüssen besser abgebildet und bilanziert werden. Es sollen die verschiedenen Einflussgrößen, die für ein Absinken des Seewasserspiegels verantwortlich gemacht werden, untersucht werden.

Auf Grundlage der Modellergebnisse sollen Maßnahmen, die zur Verbesserung der derzeitigen und zukünftigen Wasserhaushaltsituation des Sees beitragen, vorgeschlagen und auf ihre Auswirkung hin untersucht werden. Die Maßnahmen sollen zur Stärkung und Regulationsfähigkeit des Landschaftswasserhaushaltes und somit auch zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes des Straussees beitragen. Es soll eine umweltverträgliche Bewirtschaftung der Wasserressource und der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur gewährleistet werden. Dadurch soll ein Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des ländlichen Raumes und zur Umsetzung der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie gegeben werden.

1.2 Vorgehensweise

Die Bearbeitung des Projektes wird in 4 Meilensteine unterteilt. Im 1. Meilenstein, der Ist-Stands-Analyse, werden alle verfügbaren Daten und Unterlagen bei den jeweiligen Verantwortlichen abgefragt (Wasserverband, Behörden, Stadt…). Nach Erhalt erfolgen die Zusammenstellung und Auswertung der Daten. Parallel beginnt der Aufbau des Modellsystems. Das Gesamtmodell be-

steht aus einem Wasserhaushalts-Modell, welches mit einem Grundwasserströmungsmodell gekoppelt wird. Zur Erstellung des Grundwasserströmungsmodells ist außerdem der Aufbau eines geologischen Strukturmodells notwendig.

Meilenstein 2 umfasst die Fertigstellung des Modells, welches die Niederschlags-Abfluss-Beziehung, die Oberflächenwasseranbindung sowie die Grundwasserverhältnisse enthält. Dazu werden alle Daten aus Meilenstein 1 in das Modell integriert. Anschließend erfolgt die Kalibrierung des Modells.

Mit Hilfe des Modells erfolgt in Meilenstein 3 die Bewertung der Grundwasserentnahmen der Wasserwerke sowie der Sparkasse und des Golfplatzes. Im Ergebnis der modellgestützten Analyse wird ein Monitoringkonzept aufgestellt und es werden Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes abgeleitet.

Im 4. und letzten Meilenstein erfolgt dann der modelltechnische Nachweis von 3 vorgeschlagenen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen.

1.3 Verwendete Unterlagen

1.3.1 Daten

Tabelle 1-1: Quellenübersicht der verwendeten Daten

Nr.	Quelle	Beschreibung
Grundlagendaten		
	BKG	Topographische Karte „TopPlus“, © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019
	Stadt Strausberg	Digitales Geländemodell (DGM10), Auflösung 10 m x 10 m Raster
	LfU	Flächendeckende Biotop- und Landnutzungskartierung
	LBGR	Bodenübersichtskarte von Deutschland 1:200 000 (BUEK200)
	LBGR	Seeflächen
	LBGR	Fließgewässernetz
Hydrologie		
	DWD	Niederschlag Strausberg 1969 - 2018
	DWD	Klimareihe Manschow 1985 - 2018
	LfU	Oberirdische Einzugsgebiete
	LfU	Pegeldaten mit Abflüssen und Wasserspiegeln
	LfU	Mittlere Abflussspende für die Zeitreihe 1976-2005 (Abimo 2.1)

Nr.	Quelle	Beschreibung
	Stadt Strausberg	Wöchentliche Messung des Wasserspiegels im Straussee
Geologie		
	LBGR	GeODin-Datenbank mit geologischen Aufschlüssen
	LBGR	Geologische Schnitte
Hydrogeologie		
	LBGR	Hydrogeologische Karten Brandenburg, http://www.geobrandenburg.de/hyk50
	LfU	Stammdaten der Grundwassermessstellen, Grundwasserstandsganglinien
	LBGR	Wasserschutzgebiete
	LBGR	Grundwasserkörper
	LBGR	Unterirdische Einzugsgebiete
	LfU	Grundwassergleichen der Stichtagsmessung von 2011
Entnahmen		
	LfU	Bescheid vom 13.05.2019 nach dem Umweltinformationsgesetz (Gesch.-Z.: LFU-LfU-3006/2028+3#118607/2019): Übermittlung der jährlichen Entnahmen des Wasserverbands Strausberg-Erkner
	LK MOL	Auszüge aus dem Wasserbuch zu Wasserentnahmen
	Sparkasse MOL	Auskunft zum Tiefbrunnen (mittlere Entnahme, Lage, Tiefe) für die Klimaanlage im Objekt Karl-Liebknecht-Str. (Ronald Bandiko)
	WSE	Entnahmemengen der Wasserwerke
	Golfpark	Entnahmemengen

1.3.2 Gutachten

[1] AKS (2007): Erweiterungsgutachten zum Fachgutachten der Firma HGN Hydrogeologie GmbH zur Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes der neuen Wasserfassung Strausberg Stadt.

[2] AKS (2010): 2. Ergänzung zum Fachgutachten der Firma HGN Hydrogeologie GmbH zur Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes der neuen Wasserfassung Strausberg.

[3] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration -guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

[4] ASK Arbeitsgruppe für Stadtplanung und Kommunalbau GmbH (2002): Erläuterungsbericht zum Flächennutzungsplan Strausberg.

[5] Clark, I. & Fritz, P. (1997): Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publ. CRC Press LLC., ISBN 1-56670-249-6

[6] Cyganski (2018): Wasserhaushaltsmodellierung für das oberirdische Einzugsgebiet des Straussees unter Berücksichtigung von Maßnahmen zur Stabilisierung des Seewasserspiegels, Masterarbeit.

[7] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Technische Regel - Arbeitsblatt: DVGW W 107 (A): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten, 2016

[8] Emch & Berger (1996): Genereller Entwässerungsplan Regenwasser der Stadt Strausberg.

[9] Geyh, M.A. (2000): Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle – Principles and Applications -Volume IV Groundwater Saturated and Unsaturated Zone, IAEA, Hannover

[10] H. Sponagel; W. Grottenthaler; K.-J. Hartmann; R. Hartwich; P. Janetzko; H. Joisten; D. Kühn; K.-J. Sabel; R. Traidl, (2005), Bodenkundliche Kartieranleitung. KA5, Hannover Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten

[11] HGN (1999a): Hydrogeologisches Gutachten für die Neubemessung des Trinkwasserschutzgebietes der Wasserfassung Strausberg Stadt.

[12] HGN (1999b): Hydrogeologisches Gutachten für die Neubemessung des Trinkwasserschutzgebietes der Wasserfassung Eggersdorf.

[13] HGN (2006): Hydrogeologisches Gutachten für die Neubemessung des Trinkwasserschutzgebietes für das Wasserwerk Bötzsee.

[14] Hinz (2016): Vorschlag für einen Ausgleich der Wasserbilanz im Bereich des Fredersdorfer Mühlenfließes, Kurzgutachten.

[15] Hupfer & Nixdorf (2011): Zustand und Entwicklung von Seen in Berlin und Brandenburg, Diskussionspapier 11, https://edoc.bbaw.de/files/1660/diskussionspapier_11_hupfer_nixdorf.pdf (Stand: Juni 2019)

[16] Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH (1992): Hydrogeologische Dargebotserkundung Strausberg – Bötzsee.

[17] Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH (2016): Generalentwässerungsplan für die Stadt Strausberg.

[18] Kaiser et. al. (2012): Aktuelle hydrologische Veränderungen von Seen in Nordostdeutschland, Wasserspiegeltrends, ökologische Konsequenzen, Handlungsmöglichkeiten. In: U. Grünewald, O. Bens, H. Fischer, R.F. Hüttl, K. Kaiser, A. Knierim (Hrsg.): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart, 2012.

[19] LBGR (1999): Hydrogeochemisch – genetische Interpretation von Wasseranalysen im Einzugsgebiet und Fassungsbereich der Wasserwerke Eggersdorf und Strausberg.

[20] LfU (2016): Wasserspiegelabsenkung des Straussees, Zusammenhang mit dem WW Bötzsee, Kurzgutachten 08.07.2016.

[21] Lischeid (2010): Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der interdisziplinären Arbeitsgruppen IAG Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Diskussionspapier, Bd. 2. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin. (https://mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/udb_wasser.pdf)

[22] LUGV (2011): Hydrologisches Gutachten zur Neufestsetzung von Wasserschutzgebieten im Land Brandenburg.

[23] Mook, W.G. (2006): Introduction to Isotope Hydrology: Stable and Radioactive Isotopes of Hydrogen, Oxygen and Carbon. Taylor & Francis/ Balkema, ISBN 0415-39805-3

[24] Nixdorf et. al. (2004): Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands.

[25] ÖNU (1991): Pflege- und Entwicklungsplan Straussee, Zwischenbericht.

[26] ÖNU (1992): Pflege- und Entwicklungsplan Straussee.

[27] ÖNU (1997): Landschaftsplan Strausberg.

[28] Planungsbüro für ländliche Regionalentwicklung (2004): Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung Annafließ, Berichtsentwurf.

[29] Pöhler, H., Chmielewski, F.-M., Jasper, K., Henniges, Y., Scherzer, J., (2007), Abschlussbericht: KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe, Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie

[30] Polizei (2009): Übersicht Kampfmittelberäumung im Straussee 1995-2008, Zentraldienst der Polizei, Kampfmittelbeseitigungsdienst.

[31] Rechlin (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischen Raum, Stand April 1997).

[32] Schapp, M., Leij, F. & van Genuchten, M. T., (2001). ROSETTA: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. Journal of Hydrology, Band 251(3), pp. 163-176.

[33] Scholz (1962): Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs.

[34] Stadtverwaltung (2009): Akte Staurecht Straussee 1994-2006.

[35] Untere Wasserbehörde Landkreis Märkisch-Oderland (2000): Wasserrechtliche Genehmigung Stauanlage Straussee.

[36] VEB Hydrogeologie (1970/1971): Ergebnisbericht über hydrogeologische Untersuchungsarbeiten im Objekt Strausberg.

[37] VEB Hydrogeologie (1976/1977): Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung Eggersdorf.

[38] Voigt et. al. (1980-1986): Geologische und Hydrogeologische Karten Brandenburg, Blatt Strausberg.

[39] Wasserwirtschaftsdirektion Oder-Havel (1976): Wasserrechtliche Nutzungsgenehmigung zur Entnahme von Grundwasser für die öffentliche Trinkwasserversorgung, Bötzsee.

[40] Wieneke, S. (2016): Wasserspiegelabsenkung des Straussees, Zusammenhang mit dem WW Bötzsee. 4 S.

[41] ZALF (2009): Vorstudie - Machbarkeitsstudie „Stabilisierung des Wasserhaushaltes des Straussees“.

2 Ist-Standsanalyse des Untersuchungsgebiets Straussee (Meilenstein 1)

2.1 Untersuchungsgebiet Straussee

2.1.1 Entstehung des Straussees und seine Kenngrößen

Der Straussee liegt ca. 30 km östlich von Berlin. Die Stadt Strausberg gehört zum Landkreis Märkisch-Oderland in Brandenburg und hat derzeit knapp 30.000 Einwohner. Die Abbildung 2-1 zeigt eine großmaßstäbliche Übersicht zur regionalen Einordnung.

Der Straussee liegt in einer Schmelzwasserrinne. Über die nördlicher liegenden Lattseen und den Ihlandsee verläuft sie zum Straussee und geht von dort südwestlich weiter über den Herrensee und den Stienitzsee bis in das Berliner Urstromtal.

Im Brandenburger und Frankfurter Stadium der Weichseleiszeit wurde dieser Landschaftsraum mit einem Mosaik aus welligen bis flach hügligen Sand- und Lehmplatten überformt. Dieses Mosaik geht in den damaligen Eisrandlagen in End- und Stauchmoränenzüge mit teilweise stärker eingeschnittenen Schmelzwasserrinnen über. Beim Abschmelzen des Eises blieben in diesen Rinnen Eisreste als Toteis zurück, die die Entstehung der Mulden der heutigen Seen ermöglichten. Das später abtauende Toteis bildete schließlich die Wasserkörper der Rinnenseen in diesen Mulden. Der Straussee ist ein solcher langgestreckter Rinnensee.

Die Ausdehnung des Straussees beträgt von Nordost nach Südwest 3,78 km. Er wird dabei bis zu 340 m breit und 19,8 m tief (ÖNU, 1992). Damit liegt die tiefste Stelle der Seesohle auf einer geodätischen Höhe von etwa 45,7 mNN. Während der Sommerstagnation bildet sich ab etwa 9 m eine Sprungschicht aus. Aus seiner Wasserfläche von 135 ha und einer mittleren Tiefe um 10 m ergibt sich sein Wasservolumen von ca. 13,8 Mio. m³ (ZALF, 2009).

Der Straussee hat ein oberirdisches Einzugsgebiet (EZG) von ca. 114 km². Die oberirdischen Zuflussgewässer zum Straussee sind aus Gielsdorf kommend die „Kleine Babe“, ein kleines Fließ an der Schillerhöhe und der aus Richtung Klostersee kommende „Rote Hof Graben“. An der Anlegestelle der Fähre wird das überschüssige Wasser aus dem Straussee über ein Wehr durch den verrohrten Postgraben in das Annafließ zum Herrensee abgeführt.

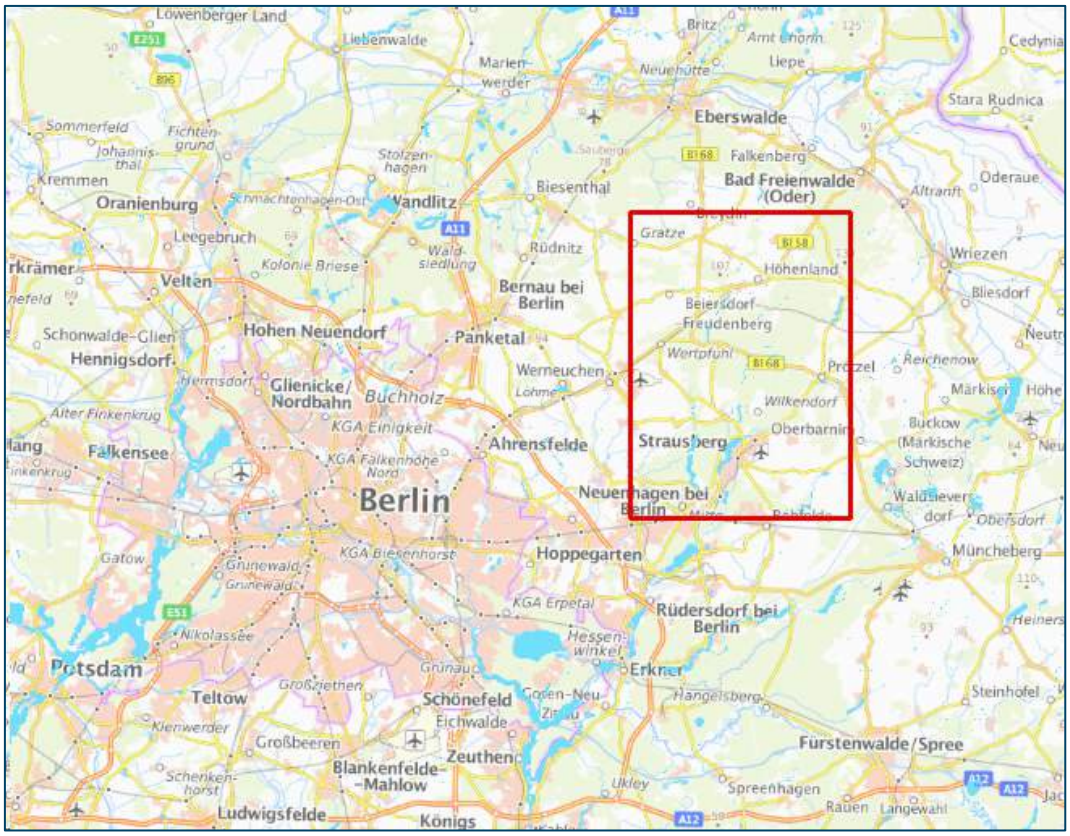


Abbildung 2-1: Lage des Untersuchungsgebiets

2.1.2 Topografie

Die höchsten Geländehöhen sind mit 155 mNN am Nordrand des Untersuchungsgebiets kurz vor dem Abfall zum Oderbruch hin zu erkennen, nach Süden fällt das Gelände auf 50 mNN ab (s. Abbildung 2-2). Die Differenz von rund 100 m auf einer Längsausdehnung des Untersuchungsgebiets von ca. 25 km resultiert in einem mittleren Gefälle von 4 ‰ (0,004 [-]).

Die eiszeitlichen Schmelzwasserrinnen lassen sich in der Topografie deutlich erkennen Diese haben durch eine Abfolge von Seen und Fließgewässern kettenartige Gewässerstrukturen gebildet. Liegen die Rinnen tief genug, so entstehen kleinere Fließgewässer, die das Grundwasser drainieren können.

Die Digitalen Geländemodelle (DGM) wurden in zwei unterschiedlichen Auflösungen zur Verfügung gestellt:

- DGM10 in 10 m – Rasterweite und
- DGM25 in 25 m – Rasterweite.

Für das Kernaussagegebiet des Straussees wird das DGM10 verwendet. Im nördlichen Randbereich werden die Geländehöhen dem DGM25 entnommen. Die gröbere Auflösung ist jedoch für Betrachtung des Wasserhaushalts außerhalb des Kernaussagegebiets vollkommen ausreichend.

2.1.3 Einzugsgebiete und Gewässer

Da neben dem oberirdischen Einzugsgebiet des Straussees auch das deutlich weiträumigere unterirdische Einzugsgebiet für die Modelluntersuchungen berücksichtigt werden muss (s. Kapitel 2.4.1), ergibt sich insgesamt ein zu betrachtendes Untersuchungsgebiet von ca. 240 km². Die

weiteren oberirdischen Einzugsgebiete entwässern oberflächig nicht in den Straussee, können aber das Grundwassersystem beeinflussen. Das Einzugsgebiet für das Grundwasser umfasst daher auch Teile der oberirdischen Einzugsgebiete vom Fredersdorfer Fließ, dem Sophienfließ und der Frankenfelder Vorflut/ Büchnitz. Grundsätzlich kann insgesamt in 9 Teileinzugsgebiete unterschieden und bilanziert werden (s. Abbildung 2-2).

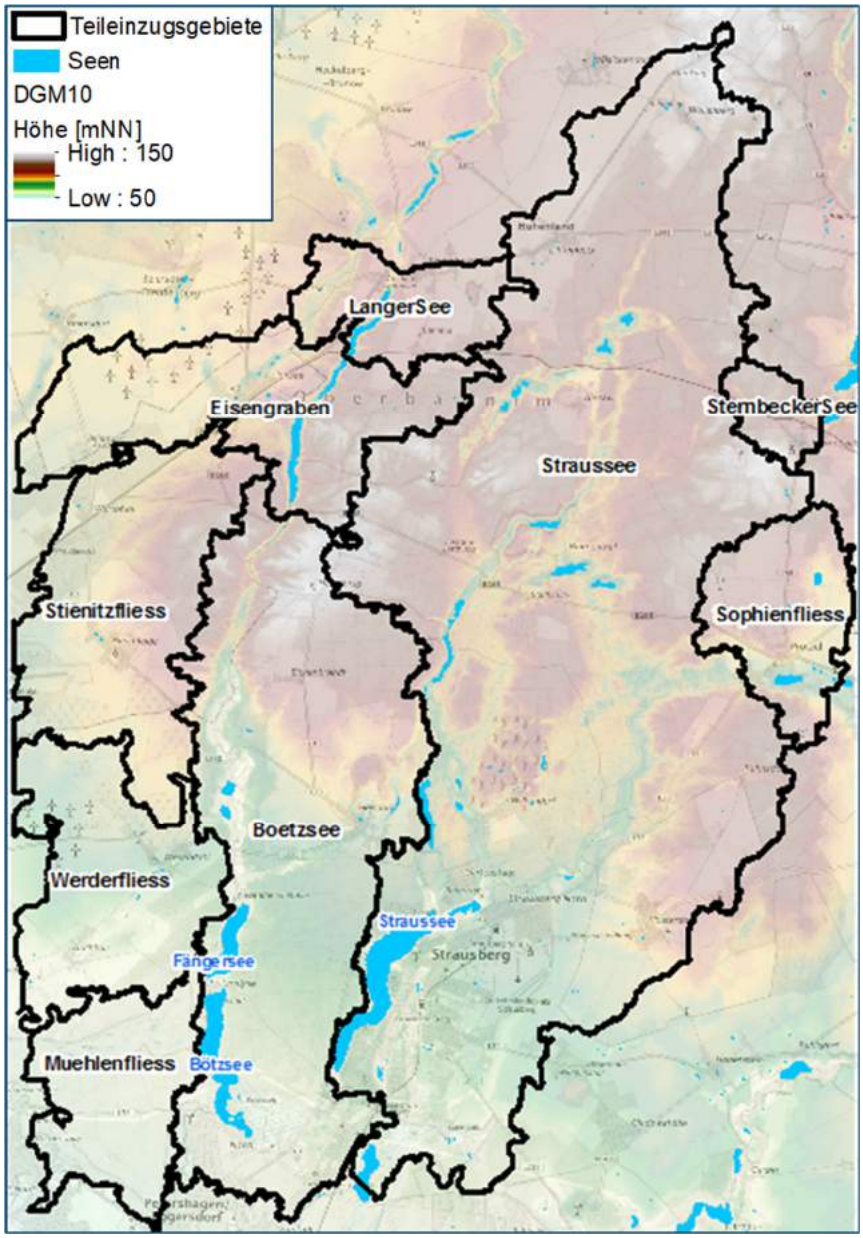


Abbildung 2-2: Geländeoberkante und oberirdische Teileinzugsgebiete des Untersuchungsgebiets

Im Folgenden wird auf die vier Gewässereinzugsgebiete eingegangen:

EZG Straussee

Das oberirdische Einzugsgebiet des Straussees kann anhand der Topografie mit einer Fläche von 114 km² abgeleitet werden. Aufgrund der sandigen Böden gibt es kein ausgeprägtes Gewässernetz, weshalb es keine Abflusskonzentration gibt. Dies bedeutet, dass der Niederschlag im nördlichen Bereich des Einzugsgebiets dem Straussee nicht als Oberflächenwasser zufließen kann. Da jedoch nicht auszuschließen ist, dass bei intensiven Niederschlägen das gesamte Gebiet abflusswirksam werden kann, wird für die Untersuchung das vollständige Einzugsgebiet verwendet.

EZG Fredersdorfer Fließ (Bötzsee)

Die nord-westlichen Einzugsgebiete Langer See und Gamensee (Eisengraben) sind abflusslos. Über das Grundwasser speist der Gamensee das Einzugsgebiet des Bötzsees. Die westlichen Einzugsgebiete Stienitzfließ, Werderfließ und Mühlenfließ sind Kopfeinzugsgebiete des Fredersdorfer Mühlenfließes. Ebenso wie der Auslauf des Bötzsees. Um den Wasserhaushalt für den Bötzsee und das darunterliegende unterirdische EZG vollständig zu erfassen, werden daher auch diese EZG mit in der Wasserhaushaltsmodellierung berücksichtigt.

EZG Sophienfließ

Die Region um Prötzel (Schloßsee) entwässert oberflächlich nicht zum Straussee. Es gibt jedoch eine Überschneidung mit dem unterirdischen Einzugsgebiet, weshalb die Region im Hinblick auf die Grundwasserneubildung mit betrachtet wird. Das Oberflächenwasser entwässert nach Osten über das Sophienfließ zum Schermützelsee.

EZG Frankenfelder Vorflut/ Büchnitz (Sternbecker See)

Die Region um den Sternbecker See entwässert ebenfalls oberflächlich nicht zum Straussee. Sie wird aber im Wasserhaushaltsmodell berücksichtigt, um die Grundwasserneubildung für das unterirdische EZG des Straussees ermitteln zu können. Das Oberflächenwasser entwässert nach Osten über die Frankenfelder Vorflut zum Friedländer Strom.

In Tabelle 2-1 werden zusammenfassend die im Untersuchungsgebiet liegenden Stillgewässer und Seen sowie Fließgewässer aufgelistet.

Tabelle 2-1: Übersicht zu den Stillgewässern und Seen sowie Fließgewässern im Untersuchungsgebiet.

Einzugsgebiet	Fließgewässer	Stillgewässer/ Seen
Straussee	Kleine Babe Fließ an der Schillerhöhe, Roter Hofgraben Annafließ	Röthsee Markgrafensee Krummer See Barssee Großer Pichesee Blumenthalsee Fauler See Lattsee Großer Lattsee Kleiner Lattsee Schloßsee Ihlandsee Herrensee Schützensee Klostersee Straussee Igelpfuhl
Fredersdorfer Fließ	Fredersdorfer Mühlenfließ Durchstich zwischen Fängersee und Bötzsee an der Spitzmühle Werderfließ Mühlenfließ Stienitzfließ	Langer See Mittelsee Gamensee Hangelsee Kesselsee Fängersee Bötzsee
Sophienfließ	Sophienfließ	Schloßsee

Einzugsgebiet	Fließgewässer	Stillgewässer/ Seen
Frankenfelder Vorflut/ Büchnitz	Frankenfelder Vorflut	Großer See Schloßsee Sternbecker See

2.1.4 Flächennutzung und Böden

Flächennutzung

Das Untersuchungsgebiet um den Straussee ist überwiegend natürlich beschaffen und ist durch große Waldflächen mit ca. 60 % prozentualem Flächenanteil geprägt (siehe Tabelle 2-2 und Abbildung 2-3). Etwa 1/5 der Fläche wird landwirtschaftlich genutzt. Der Flächenanteil von flach wachsender Vegetation wie Wiesen und Buschwerk beträgt ca. 10 %. Nur 3 % der Flächen sind durch Bebauung sowie Straßen versiegelt und weisen vor allem im Stadtgebiet von Strausberg eine stark verminderte Versickerungsfähigkeit von Regenwasser auf.

Tabelle 2-2: Flächennutzungstypen und zugehörige Flächenanteile im Untersuchungsgebiet.

Flächennutzungstyp	Fläche [km²]	Fläche [%]
Mischwald	54	22
Landwirtschaft	52	21
Nadelwald	45	19
Laubwald	44	18
Wiese	22	9
Brachland	7	3
Mischbebauung	6	2
Buschwerk	5	2
Seen	4	2
Bebauung	3	1
Fluss	< 1	< 1
Straße	< 1	< 1
Summe	242	100

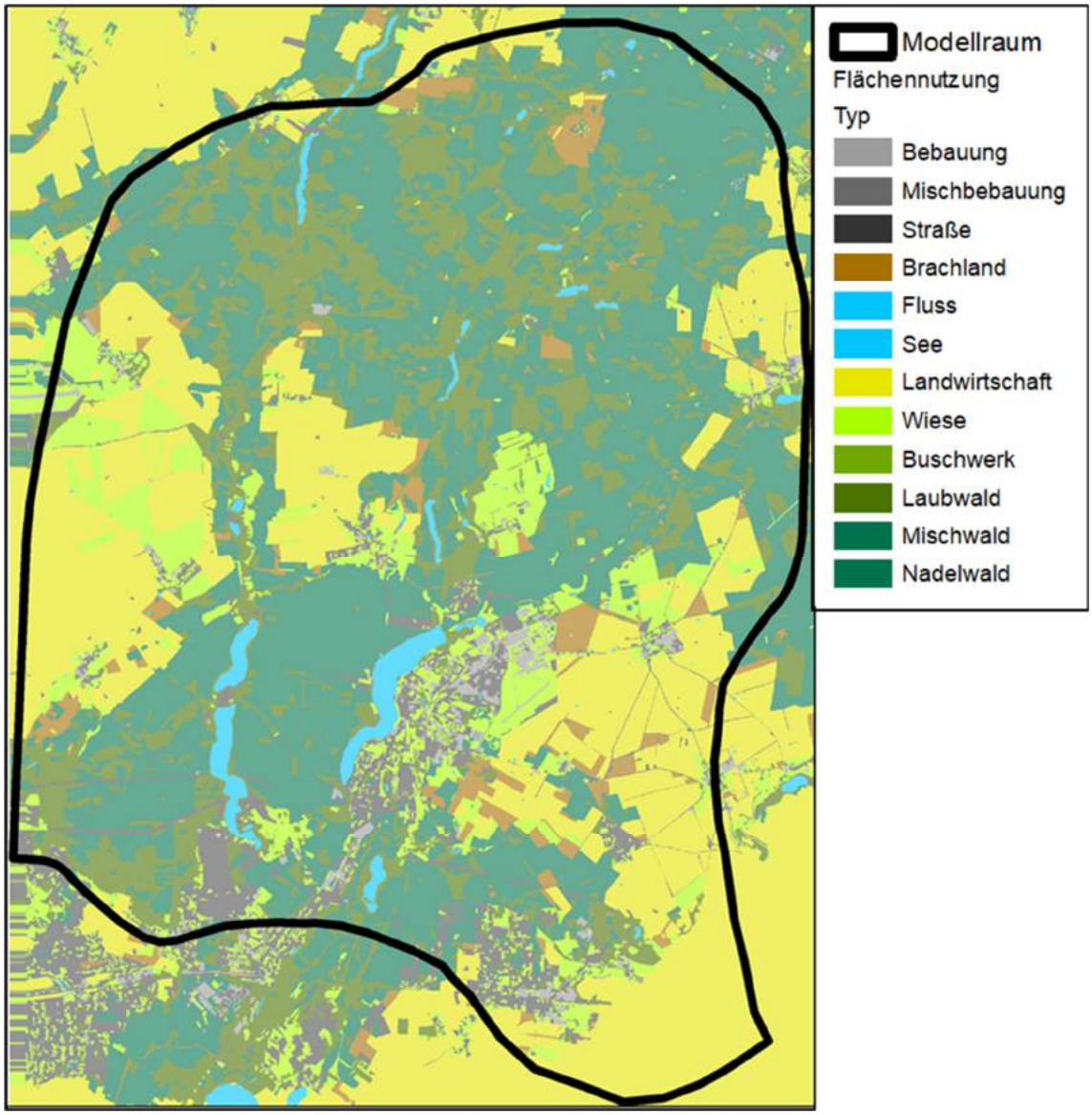


Abbildung 2-3: Flächendeckende Landnutzungskartierung (Quelle: LfU)

Als gewerbliche Nutzungen seien an dieser Stelle der Golfpark Wilkendorf und das Stadtbad am Straussee genannt. Der Golfpark Wilkendorf ist in Abbildung 2-3 nördlich des Straussees als größere zusammenhängende Wiesenfläche zu erkennen. Das Stadtbad am Straussee ist durch die sinkenden Seewasserstände besonders betroffen, da die Nutzung hier nur noch eingeschränkt möglich ist.

Böden

In Abbildung 2-4 ist für das Untersuchungsgebiet die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BÜK 200) dargestellt. Tabelle 2-3 enthält die dazugehörige Erläuterung.

Die vorherrschenden Bodentypen bestehen überwiegend aus podsoligen Braunerden. Der mineralische Bodenanteil ist ausschließlich Sand mit nahezu keinem Schluff oder Tonanteil. Die Böden verfügen über eine hohe Durchlässigkeit und eine geringe Kapillarität. Dadurch kommt es zu einer schnellen Austrocknung des Oberbodens, was die Humusbildung deutlich hemmt.

In den Niederungen finden sich kleinere Niedermoore, die über Staunässeböden verfügen, und lessivierte Braunerden, die mit einer sandig schluffigen Schicht untersetzt sein können. Dadurch

sind die Durchlässigkeiten in diesen Bereichen etwas herabgesetzt und oberflächennahes Grundwasser kann kapillar aufsteigen. Aufgrund der überlagernden Sandschicht ist ein großflächiger kapillarer Anstieg bis an die Geländeoberkante unwahrscheinlich.

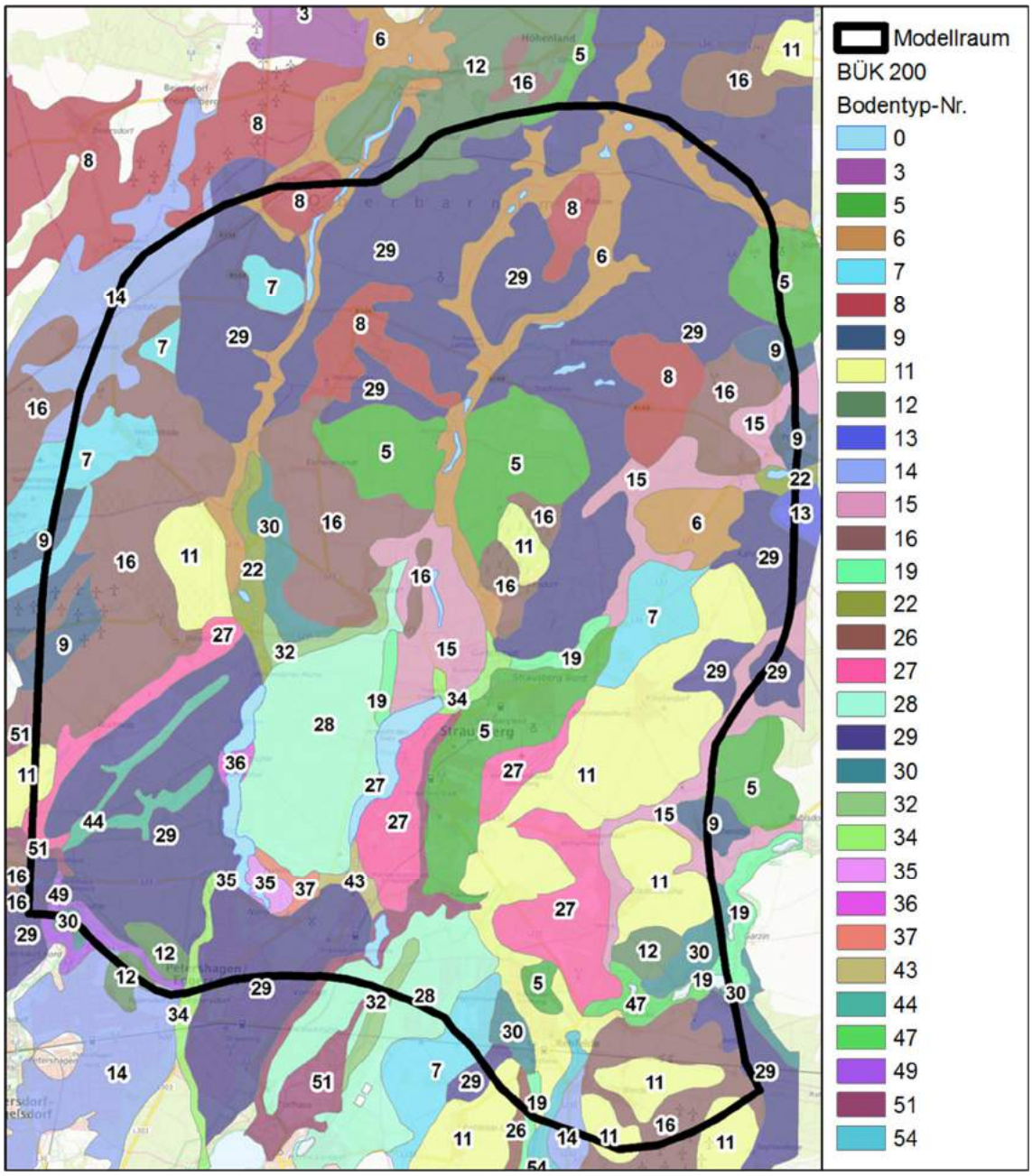


Abbildung 2-4: Bodenübersichtskarte BÜK 1:200.000 (Quelle: LBGR)

Tabelle 2-3: Vereinfachte Zeichenerklärung der Bodenübersichtskarte

Bodentyp-Nr.1	Beschreibung des Bodentyps (vereinfacht)
0	Gewässerflächen
3	vorherrschend podsolige *Regosole, *Podsol-Regosole
5	podsolige Braunerden
6, 14	überwiegend lessivierte *Braunerden, *Fahlerde-Braunerden und Braunerden
7, 8, 9, 11, 12, 13	vorherrschend *Fahlerde-Braunerden, *Braunerde-Fahlerden und *Braunerden
15	verbreitet lessivierte *Braunerden, vergleyte Braunerden und *Gley-Braunerde
16	überwiegend *Fahlerden, *Braunerde-Fahlerden
19	verbreitet *Gleye, *Anmoor- und *Humusgleye
22	überwiegend *Erd-Niedermoore
27	überwiegend lessivierte *Braunerden
28	vorherrschend podsolige *Braunerden, *Podsol-Braunerden
29	überwiegend podsolige *Braunerden und *Podsol-Braunerden
30	verbreitet podsolige *Braunerden, *Podsol-Braunerden und verbreitet vergleyte Braunerden
32	vorherrschend lessivierte *Braunerden
34, 51, 54	vorherrschend *Erd-Niedermoore
35, 36, 37	verbreitet *Erd-Niedermoore über Flusssand
43	überwiegend vergleyte *Braunerden und *Gley-Braunerden
44	überwiegend *Gleye und *Humusgleye

2.2 Hydrologie

2.2.1 Pegeldaten

Es stehen die Messungen des Landesamts zum Wasserstand im Straussee (seit 1970) sowie zum Wasserstand des Bötzsees und zum Ablauf in das Fredersdorfer Mühlenfließ (seit 1966) als Tageswerte zur Verfügung. Die Messwerte ab 1970 bis Ende 2018/ Anfang 2019 sind in Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6 dargestellt.

Der Wasserspiegel im Straussee weist im Frühjahr immer die maximalen Werte auf und sinkt bis zum Herbst im Mittel um ca. 25 bis 35 cm ab. Über das Winterhalbjahr erfolgt wieder die Auffüllung des Sees. Langjährig lag das Minimum bei ca. 65,2 mNN bzw. im Oktober 1992, 2006, 2008 und 2009 bei ca. 65,1 mNN. Aufgrund der Häufung der geringen Wasserspiegel in den vorangegangenen Jahren wurde 2009 die ZALF-Studie beauftragt. In den folgenden Jahren 2010 bis

2013 wurden wieder mittlere bzw. überdurchschnittliche Wasserspiegel beobachtet. In den Sommermonaten 2010 bis 2012 fiel der Wasserspiegelrückgang mit < 20 cm deutlich geringer aus. In den Jahren 2014 bis 2016 sank der Wasserspiegel bis auf ein neues Minimum von 64,75 mNN Ende Oktober 2016. In den drei Sommerhalbjahren wurden jeweils deutlich erhöhte Wasserspiegelrückgänge von ca. 37 cm (2014, 2016) bis 42 cm (2015) beobachtet. Die Auffüllung im Winterhalbjahr lag jedoch nur bei ca. 20 bis 25 cm (2014, 2016) bzw. 16 cm in 2015. In den Jahren 2017 und 2018 stieg der Wasserspiegel wieder an und wies im April 2018 einen Wasserstand von ca. 65,2 mNN auf. Dieser lag somit auf dem Niveau des bisherigen langjährigen Minimums. Im November 2018 wies der Straussee den bislang tiefsten beobachteten Wasserspiegel von 64,6 mNN auf.

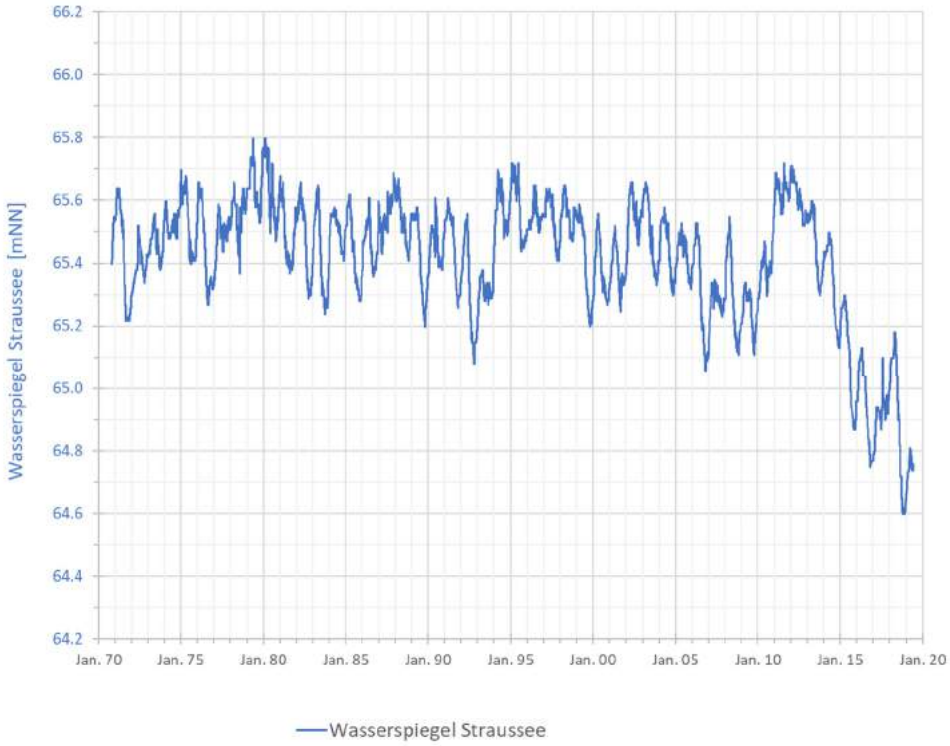


Abbildung 2-5: Wasserstandsentwicklung im Straussee ab 1970 bis Frühjahr 2019.

Im benachbarten Bötzsee ist diese Entwicklung in den Wasserständen bislang nicht zu erkennen. Jedoch zeigt die Abflussganglinie einen deutlichen abnehmenden Trend seit Anfang der 90er Jahre. Welche Veränderungen der Durchflüsse am Ablauf des Bötzsees zu beobachten waren, verdeutlichen die aus den täglichen Durchflussmessungen berechneten mittleren jährlichen Abflüsse aus dem See (s. Abbildung 2-7): Waren es in der Periode 1967/1977 im Mittel noch 260 l/s, wurden in der Periode 1997/2007 im Mittel nur noch 139 l/s beobachtet (ZALF, 2009).

In der Abbildung 2-8 sind die langjährige Wasserstandsentwicklung im Straussee und die Abflussentwicklung im Bötzsee gegenübergestellt.

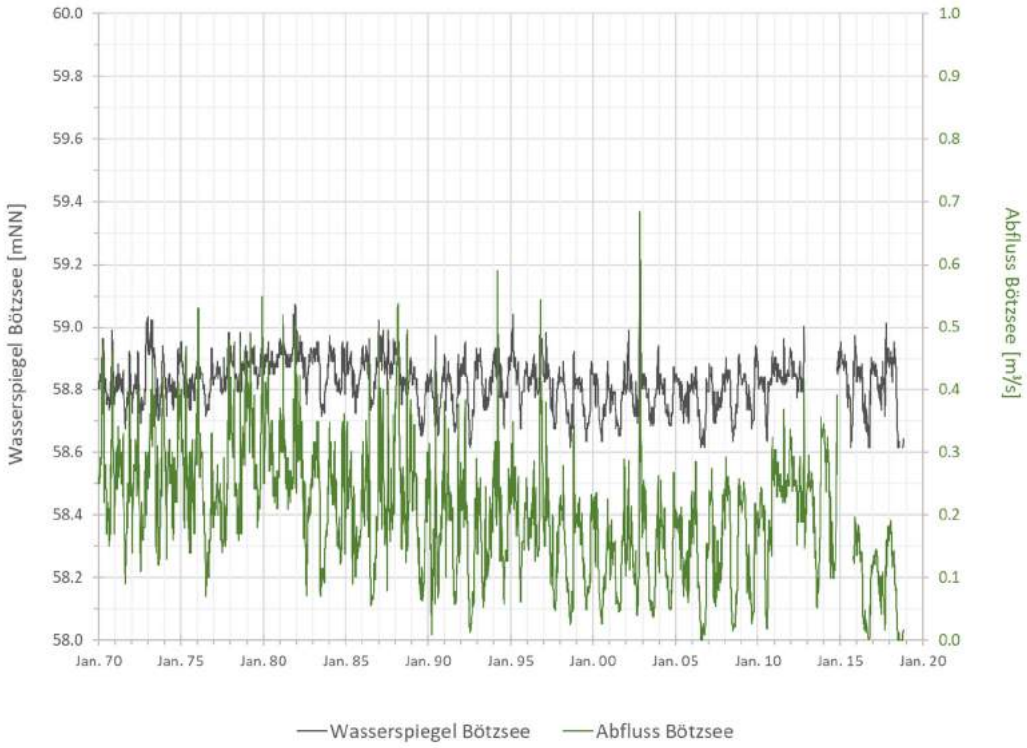


Abbildung 2-6: Wasserstands- und Abflussentwicklung im Bötzsee ab 1970

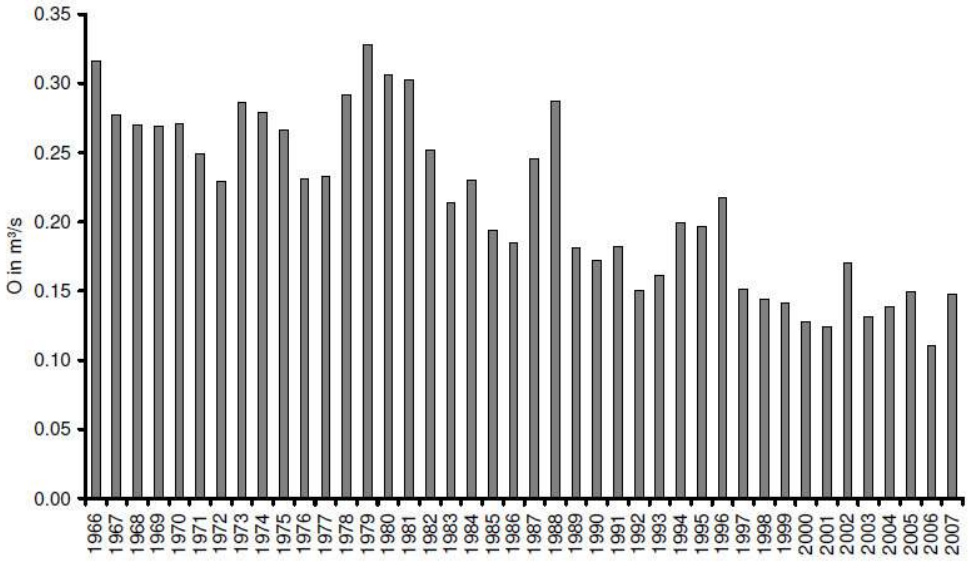


Abbildung 2-7: Jahresmittelwerte des Abflusses aus dem Bötzsee (Quelle: LfU in ZALF, 2009)

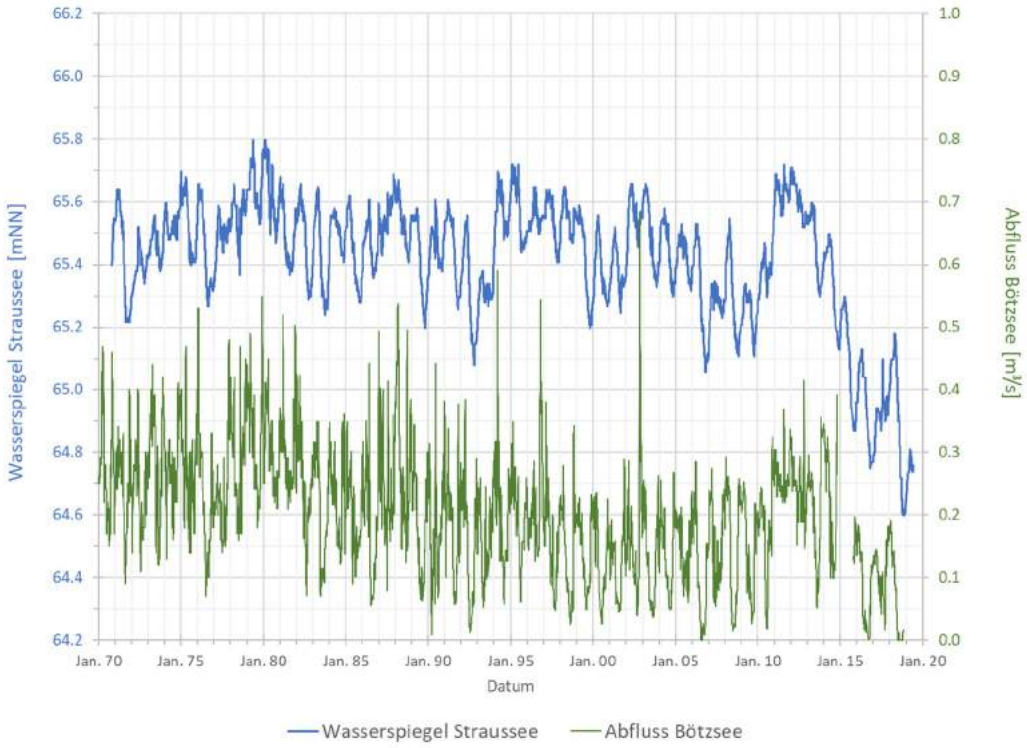


Abbildung 2-8: Gegenüberstellung der Wasserstands- bzw. Abflussentwicklung im Straussee und Bötzsee ab 1989

Die oberirdischen Zuflüsse zum Straussee und Bötzsee werden nicht erfasst.

Die Kleine Babe ist seit einigen Jahren ausgetrocknet, es wird nur noch Regenwasseransammlung (Pfützen) beobachtet. Der Ihlandsee (westlich des Golfplatzes) und benachbarte Seen weisen seit mehreren Jahren deutlich gesunkene Wasserspiegel auf. Der Klostersee im nördlichen Stadtgebiet ist seit mehr als 15 Jahren nahezu ausgetrocknet (Informationen von Bürgern beim Bürgerdialog am 03.04.2019).

2.2.2 Stauregulierung und Einleitungen

Stauregulierung

Der Stadt Strausberg liegt eine Wasserrechtliche Genehmigung vom 03.02.2000 vor, die im 2. Nachtrag vom 08.12.2011 bis Ende 2021 verlängert wurde, welche sie berechtigt, die Stauanlage am Straussee zur Sicherung einer optimalen Einstauhöhe zu betreiben. Anhand von langjährigen Messreihen des Wasserstandes wurden demnach folgende Stauhöhen festgelegt:

- Niedrigstau: 65,29 m DHHN 92
- Normalstau: 65,49 m DHHN 92
- Höchststau: 65,64 m DHHN 92

Das Auslaufbauwerk wurde 1996 durch ein regulierbares Wehr ersetzt. Die Wehrtafel hat die feste Höheneinstellung von 65,52 m DHHN 92 (138 cm über Pegelnullpunkt). Das überschüssige Wasser wird über das Wehr durch den verrohrten Postgraben in das Annafließ zum Herrensee abgeführt (ZALF, 2009).

Wassereinleitungen

Direkte Wassereinleitungen in den Straussee entstehen nur durch Ableitungen des Niederschlagswassers von bebauten Flächen im Stadtgebiet Strausberg (Emch & Berger, 1996). Bei Möglichkeit wird dieses Niederschlagswasser über Mulden o. ä. in den oberen Grundwasserleiter versickert (s. Wasserbuch, untere Wasserbehörde). Wo der hydraulische Kontakt besteht, kann es dadurch verzögert und kontinuierlicher in den Straussee gelangen. Ein Teil dieses Niederschlagswassers wird auch über Sandabscheider direkt in den See oder seine Zuflüsse geleitet (ZALF, 2009).

Im aktuellen Generalentwässerungsplan der Stadt Strausberg (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, 2016) werden die relevanten Einleitungspunkte (Abbildung 2-9) angegeben.

Abbildung 2-9: Einleitungspunkte aus dem Generalentwässerungsplan der Stadt Strausberg (Quelle: Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, 2016)

Ein Großteil der Niederschlagsentwässerung wird über das Annafließ abgeführt. Die Einleitungspunkte Fontanestraße, Kopernikusstraße, Nordstraße, Ringstraße und Klosterstraße entwässern in den Straussee.

Der maximale Zufluss über die 5 Einleitstellen wurde für ein Niederschlagsereignis mit einer 2-jährlichen Wiederkehrzeit wie folgt bestimmt (Tabelle 2-4):

Tabelle 2-4: Versiegelte Flächen und erwartete Abflüsse der EZG für ein 2-jährliches Niederschlagsereignis, die in den Straussee eingeleitet werden (Quelle: Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, 2016)

Einleitpunkt	Straße	Versiegelte Fläche des EZGs ca. [ha]	Max. Abfluss für T = 2 a [l/s]
11	Fontanestraße	2,35	257
12	Kopernikusstraße	0,20	22
19	Nordstraße	0,61	67
20	Ringstraße	1,57	172
30	Klosterstraße	k. A.	k. A.

Wasserentnahmen

Wasserentnahmen aus dem Straussee oder seinen Zuflüssen sind nicht bekannt.

2.2.3 Niederschlag

Im näheren Umkreis des Straussees stehen mehrere Wetterstationen mit sehr heterogenen Datenbeständen zur Verfügung (Stations-ID 4912 Strausberg, 4114 Rehfelde, 12177 Tiefensee, 2047 Haselberg, 7389 Heckelberg, 3376 Müncheberg). Die nächstgelegene Wetterstation mit weitgehend vollständigen Zeitreihen ist die Station Strausberg (ID 4912). Die Station liegt auf einer Höhe von 81 m NN und erfasst den Niederschlag seit 1969. Der für diesen Zeitraum langjährige Mittelwert von **575** mm spiegelt die im deutschlandweiten Vergleich trockenen Verhältnisse im Nordosten Deutschlands wider. In Abbildung 2-10 sind die Jahressummen sowie der mittlere Niederschlag für die Jahre 1970 bis 2018 dargestellt. In der Zeitreihe wurden die beiden Messlücken 1992/1993 und 2003/2006 mit der 20 km weiter östlich gelegenen Wetterstation Müncheberg (ID 3376) ergänzt.

Betrachtet man den Zeitraum der letzten 15 Jahre, so lässt sich die Entwicklung der Niederschlagssummen bereichsweise zusammenfassen. Im Zeitraum 2003 bis 2006 wurden unterdurchschnittliche Jahressummen ermittelt, sodass von hydrologisch trockenen Verhältnissen gesprochen werden kann. Die darauffolgenden 6 Jahre von 2007 bis 2012 waren hingegen überdurchschnittlich feucht. In den letzten 6 Jahren ab 2013 fiel bis auf das Jahr 2017 deutlich weniger Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittelwert. Seit Beginn der Aufzeichnungen stellen die beiden Zeiträume 2003 - 2006 und 2013 - 2016 zwei besonders trockenen Zeiträume dar.

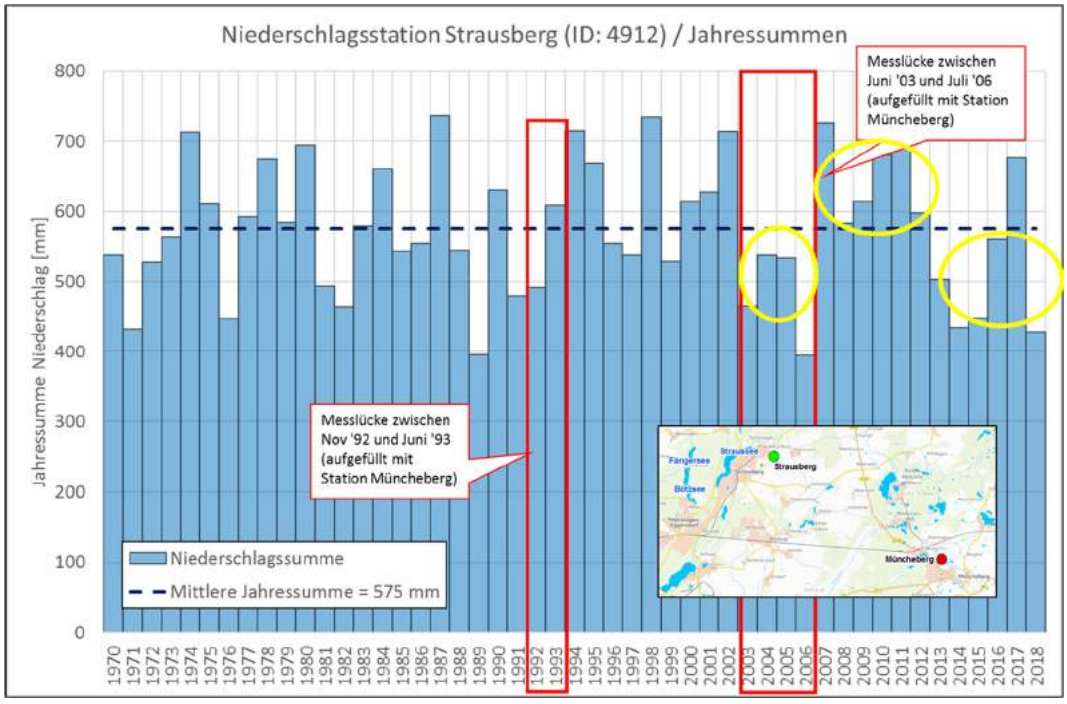


Abbildung 2-10: Gemessene Jahresniederschläge an der Station Strausberg 1970 – 2018 (Quelle: DWD)

2.2.4 Verdunstung auf der Landfläche

Ein weiteres Bilanzglied des Untersuchungsgebiets ist die Verdunstung auf der Landfläche. Im näheren Umkreis befinden sich drei Klimastationen, die die notwendigen Parameter zur Ermittlung erfassen. Die nächstgelegene Station lautet Müncheberg und liegt etwa 35 km westlich des Straussees. Dort werden seit 1991 Klimadaten erfasst. In der gleichen Entfernung liegt nördlich die Klimastation Heckelberg, welche allerdings erst seit Ende 2006 in Betrieb ist. Als ergänzende Klimastation wurde zusätzlich die ca. 90 km westlich von Strausberg gelegene Station Manschnow mit ausgewertet, da sie langjährig den aktuellen Luftdruck erfasst. Eine Gegenüberstellung der Messungen an den Klimastationen Manschnow und Müncheberg zeigt eine sehr starke Korrelation, weshalb für die Auswertungen die Messstation 03158 Manschnow im Zeitraum 01.01.1985 – 31.12.2018 herangezogen wurde. Aufgrund von fehlenden Messwerten der Temperatur zwischen 1991 und 1992 wurde in diesen Fällen Daten der Messstation 00970 Alt Zeschdorf verwendet.

Die potenzielle Evapotranspiration (Grasreferenzverdunstung) wird vom DWD nach dem Verfahren von Penman-Monteith ermittelt. Die Berechnung erfolgt auf Tageswertbasis nach FAO 56 (Allen et al. 1998). Es werden die folgenden Messdaten berücksichtigt:

- Lufttemperatur in 2 m Höhe,
- relative Luftfeuchte,
- Solarstrahlung,
- Windgeschwindigkeit,
- Luftdruck.

Beispielhaft ist in Abbildung 2-11 die berechnete Verdunstung auf Tageswertbasis für die hydrologischen Jahre 2014 bis 2018 grafisch dargestellt.

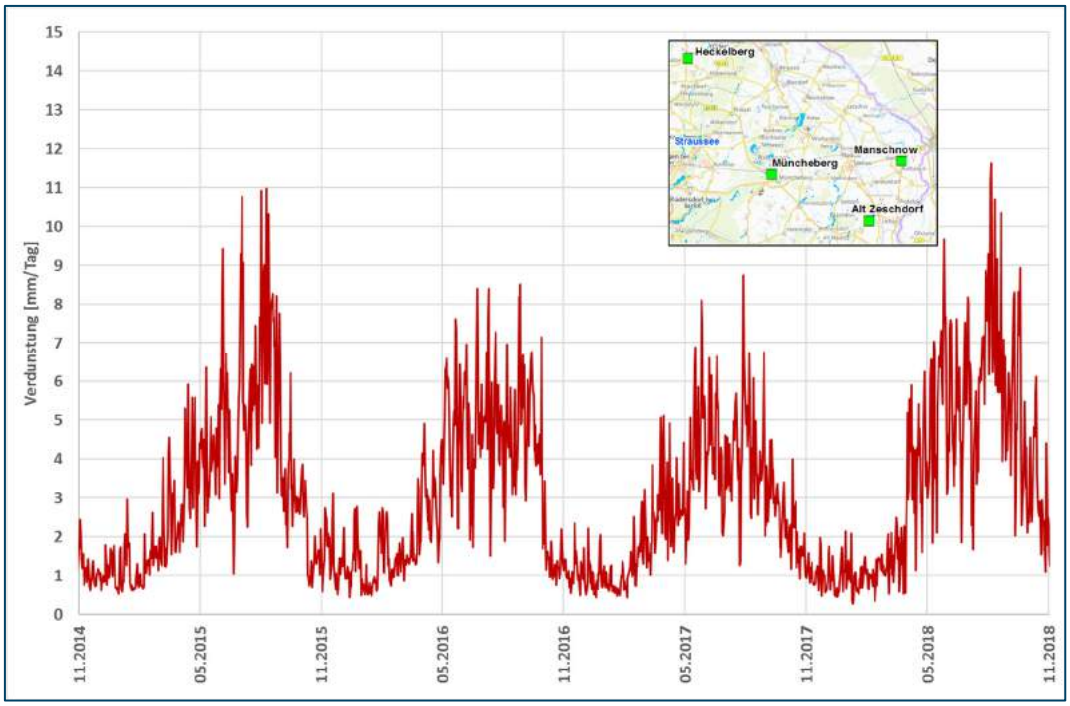


Abbildung 2-11: Potentielle Verdunstung auf der Landfläche nach Penman-Monteith für die hydrologischen Jahre 2014 bis 2018 an der Klimastation Manschnow

2.2.5 Verdunstung auf der Seefläche

Bereits in anderen vorangegangenen Gutachten wurde die erhöhte Verdunstung auf der Seeoberfläche thematisiert [6]. Der Verdunstung auf freien Wasserflächen liegen gegenüber der Verdunstung auf der Landfläche weitere Effekte zugrunde.

Zur Abschätzung des Einflusses der Verdunstung auf der Seefläche erfolgte die Auswertung der Entwicklung der Halbjahressummen auf Basis der Klimadaten der Messstation Manschnow 1985 bis 2018.

Die Abbildung 2-12 zeigt relativ konstante Verdunstungssummen im Winter, aber einen steigenden Trend der Sommerhalbjahres-Verdunstung. Für die Jahre 1985 bis 2014 werden im Mittel ca. 700 mm/ Sommerhalbjahr Verdunstung auf der Seefläche berechnet. Für die Jahre 2015 - 2018 werden ca. 800 mm/ Sommerhalbjahr ausgewiesen, d.h. im Mittel ca. 10 cm mehr Verdunstung auf der Seefläche jeden Sommer.

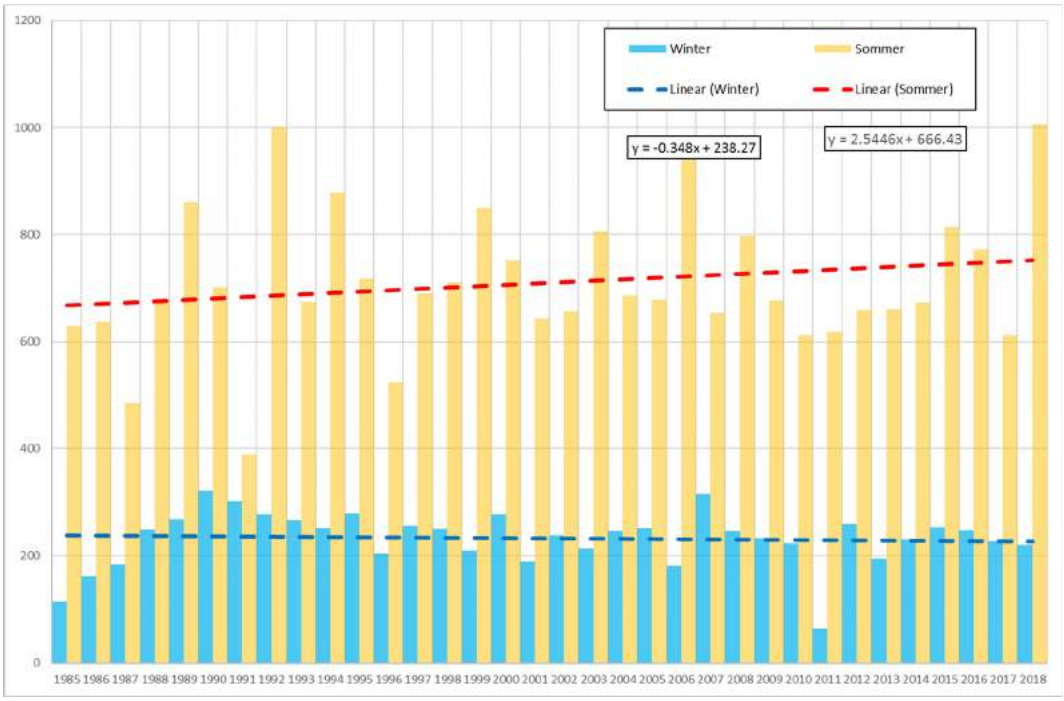


Abbildung 2-12: Halbjahressummen (mm) der Verdunstung auf der Seefläche 1985 bis 2018

2.2.6 Grundwasserneubildung

Eine oftmals unbekannte Größe in der Wasserbilanz eines Einzugsgebiets ist die Grundwasserneubildung, welche sich aus der Differenz zwischen Niederschlag und tatsächlicher Verdunstung ergibt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird die Grundwasserneubildung später durch die hydrologische Modellkomponente berechnet. Um die Parameter des Modells später auf das Gebiet anpassen zu können, wird der von amtlichen Behörden angegebene Jahresmittelwert herangezogen.

Im niedersächsischen Umweltportal (https://numis.niedersachsen.de/) lässt sich anhand der vom BGR veröffentlichten GWN1000 eine ähnliche Bandbreite zwischen 50 mm und 150 mm pro Jahr ableiten.

Seitens des LfU Brandenburg [40] wird für den Grundwasserkörper HAV_US 3 eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung von ca. 95 mm/a angegeben, welcher auch außerhalb des Modellgebiets weiter verbreitet ist. Entsprechend der „Mittleren Abflussspende für die Zeitreihe 1976-2005 (Abimo 2.1)“ des LfU Brandenburg ergibt sich für das Modellgebiet eine mittlere Abflussspende von 135 mm/a. Die räumlich differenzierte Abflussspende ist in Abbildung 2-13 dargestellt:

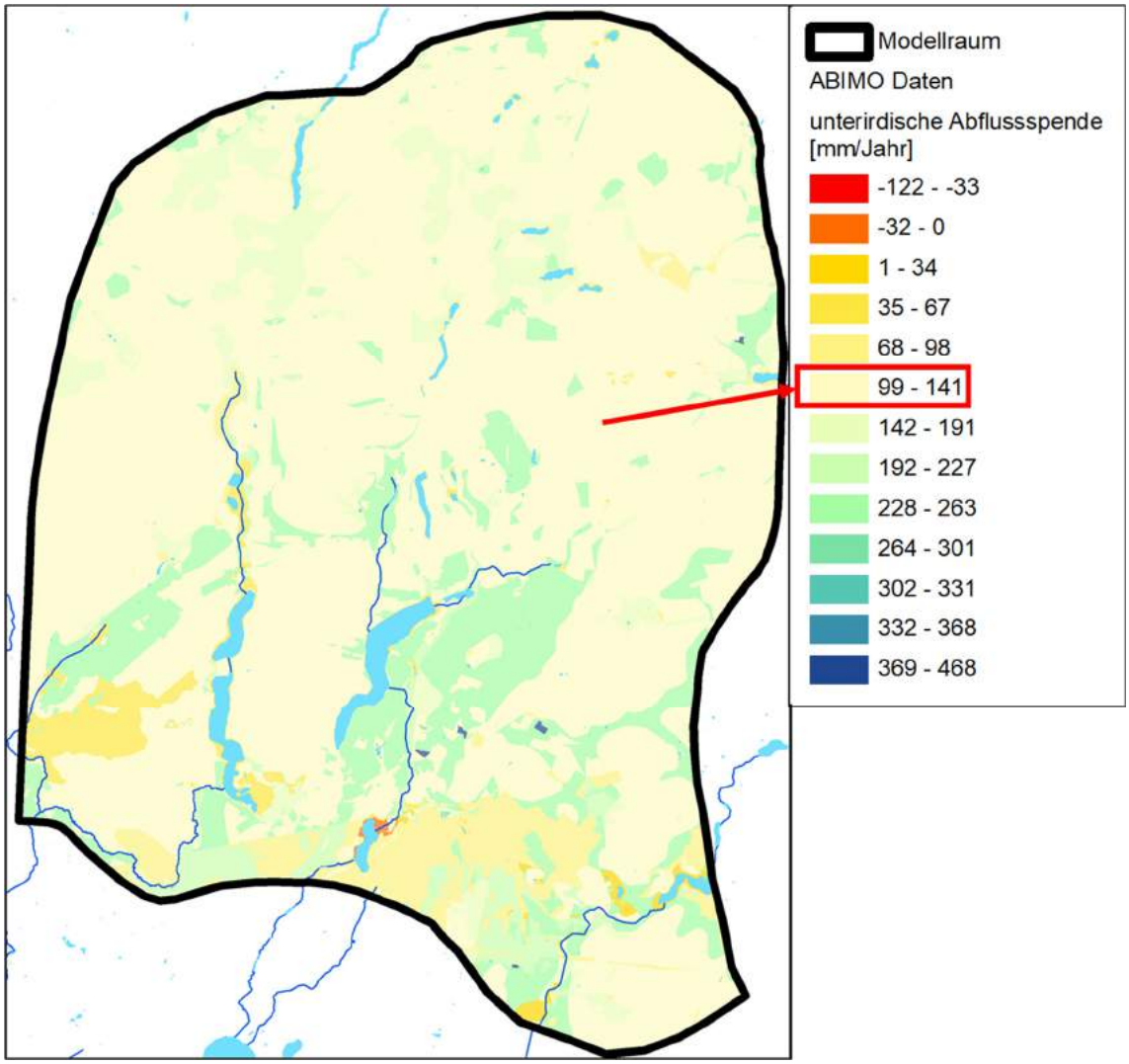


Abbildung 2-13: Grundwasserneubildung bzw. ABIMO-Abflussspende (LfU Brandenburg)

2.3 Geologie

Die nachfolgende

Tabelle 2-5 enthält einen Überblick der geologischen Schichten, welche sich im Untersuchungsgebiet befinden. Dabei ist anzumerken, dass ein Großteil der aufgeführten Schichten nur lokal verbreitet ist.

Tabelle 2-5: Stratigrafische Einheiten im Untersuchungsgebiet.

Stratigrafie	Lithologie	Bemerkung
GWLK1 (gf_SW_1)	Mittelsand mS	Mächtigkeiten bis zu 16 m, aber nicht überall grundwasserführend, unbedeckt
Grundmoräne Weichsel 1 (gW_I)	Geschiebemergel Mg	nur örtlich verbreitet, 1 - 6 m mächtig
Grundmoräne Saale 3 (gS_{III})	Geschiebemergel Mg	Mächtigkeiten von 5 - 30 m, im Rinnenbereich tiefgreifende Erosion und Ablagerung von sandig-kiesigen Sedimenten
GWLK 2.1 (gfS_{3V})	Mittelsand mS	oberer Teil des bedeckten Hauptgrundwasserleiters, Mächtigkeiten bis 35 m
Grundmoräne Saale 2 (gS_{II})	Geschiebemergel Mg	nicht ubiquitär verbreitet, mächtige Ablagerungen im Westen
Zwischenstauer (glS_{1n})	Schluff U	glazilimnische Ablagerungen, welche nur lokal auftreten und geringe Mächtigkeiten aufweisen
Grundmoräne Saale 1 (gS_I)	Geschiebemergel Mg	nur lokal verbreitet als Zwischenstauer oder in Verbindung mit jüngeren Grundmoränen zum Hangendstauer-Komplex zugehörig
GWLK 2.2 (gfS_{1V} – En)	Sand S	Sande, welche Hauptanteil des Grundwasserleiterkomplexes 2 bilden
Liegendstauer (glEn)	Schluff U	Liegendstauer des HGWL

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der Barnim-Hochfläche der Ostbrandenburgischen Platte und wurde von den Eisvorstößen der drei Kaltzeiten geprägt. Die ältesten pleistozänen Sedimente sind elsterzeitliche Beckensedimente, welche sich jedoch vorwiegend auf eine Erosionsrinne beschränken, die sich südlich vom Bearbeitungsgebiet befindet und in O-W-Richtung verläuft. Im Hangenden befinden sich die Ablagerungen der 3 saalezeitlichen Gletschervorstöße (S1 - S3) als Geschiebemergel teilweise unmittelbar übereinander (z. B. im Bereich Strausberg), teilweise wurden zwischen den 3 Geschiebemergellagen auch glazifluviatile Sandschichten abgelagert. Die Höhenlage der Saale 1-Basisfläche schwankt von 45 mNN bis unter 0 mNN. Zwischen Bötzsee und Straussee fehlen die glazigenen Bildungen der Saale 1- und 2-Kaltzeit. Jedoch kamen als Äquivalent feinkörnige Sandschüttungen zur Ablagerung. Die Grundmoräne der Saale 3-Kaltzeit überdeckt nahezu im gesamten südlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes den durch Stauchung und Erosion geprägten Untergrund. In der Niederung des Straussees ist die Saale 3-Grundmoräne nicht vorhanden. Zusätzlich wurden z. T. Ablagerungen der Eem-Warmzeit in Form von Schluffen und Faulschlammablagerungen im Stadtgebiet von Strausberg nachgewiesen (VEB Hydrogeologie 1970/71, HGN 1999).

Im Hangenden der saalezeitlichen Ablagerungen befinden sich die Einheiten der Weichseleiszeit. Infolge von Schmelzwassererosionen ist der weichselzeitliche Geschiebemergel nur örtlich zusammenhängend verbreitet wie z. B. bei Klosterdorf-Hohenstein, nördlich Gielsdorf und bei Wesendahl-Hirschfelde (VEB Hydrogeologie 1970/71). Im Zuge des abfließenden Gletscherwassers entstanden tiefe Entwässerungsrinnen, welche den Geschiebemergel erodiert haben (Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH, 1992). Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes lagern in N-S-Richtung weichselzeitliche Sandschüttungen des Strausberger Sanders. Diese wurden beim Abschmelzen des Inlandeises aufgeschüttet und bedecken die glazifluviatilen Sedimente der Saaleeiszeit. Außerdem grenzen sie an die Grundmoränenhochfläche des Barnim an. Die jüngsten pleistozänen Bildungen sind periglaziale Fließerden und Abschlämmmassen.

Aufgrund der saalezeitlichen Beanspruchung und weichselzeitlichen Überprägung des Gebietes kam es zu stark gestörten Lagerungsverhältnissen. Teilweise wurden sogar tertiäre Schichten bis an die Geländeoberfläche gedrückt. Daraus resultiert eine stark wechselnde Schichtabfolge von durchlässigen und stauenden Schichten, wie Sand und Geschiebemergel.

Holozänbildungen sind nur geringfügig in Form von organogenen Bildungen (Torfe) vertreten.

Abbildung 2-14 zeigt die Verbreitung der geologischen Schichten, wobei die braunen Linien die Verbreitung der Grundwasserstauer und die grün/grünblauen Einfärbungen die Verbreitung der Grundwasserleiter repräsentieren. Im Untersuchungsgebiet wurden mächtige Schichten Geschiebemergel abgelagert. Im Bereich des Straussees wird jedoch ersichtlich, dass die oberen stauenden Schichten nicht verbreitet sind, da dieser aufgrund seiner Entstehung andere geologische Schichten im Untergrund hat als dessen Umgebung. Der Straussee ist als Hinterlassenschaft einer Schmelzwasserrinne eines Gletschers entstanden. Dadurch wurde die ursprüngliche Geologie, welche aus einer Abfolge von Sand und Geschiebemergel bestand, durch Erosion und Ablagerung von glazifluviatilen Sedimenten überprägt.

Nördlich von Gielsdorf befinden sich stark gestörte Lagerungsverhältnisse, die durch eine Stauchungszone begründet sind. Es herrschen dort durchlässige Sandschüttungen vor, in die z. T. geringmächtige meist sandig ausgebildete Geschiebemergel und Beckenbildungen (Schluff, Ton) eingeschaltet sind (VEB Hydrogeologie, 1970/71). Von Norden nach Süden nimmt die Intensität der Schichtenstörungen ab. In manchen Bohrungen wurden auch gar keine grundwassergeringleitenden Schichten zwischen den grundwasserleitenden Schichten angesprochen. Das heißt, dass die Grundwasserleiterkomplexe GWLK1 und 2 in diesen Bereichen direkt übereinander liegen und erst im weiteren Verlauf Richtung Süden durch den Geschiebemergelkomplex voneinander getrennt sind.

Im Bereich Straussee liegen beide GWLK1 und 2 vor. Der obere unbedeckte Grundwasserleiter besteht vor allem aus Sedimenten des Strausberger Sanders und ist insbesondere für die Grundwasserneubildung von Bedeutung. Er ist im Brandenburger Stadium der Weichsel-Kaltzeit entstanden und weist Mächtigkeiten bis 16 m auf, wobei diese von Nord nach Süd zunimmt. Die wassererfüllte Mächtigkeit ist wesentlich geringer, so dass zum Teil auch nur saisonal bzw. niederschlagsabhängig Grundwasser auftritt (Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH, 1992). Der Hauptgrundwasserleiter entspricht dem GWLK2 und weist gespannte Verhältnisse auf. Er ist der Saalekaltzeit zuzuordnen. Die Mächtigkeit der grundwasserleitenden Schicht beträgt bis zu 60 m (VEB Hydrogeologie, 1970/71). Getrennt werden die beiden Grundwasserleiter durch Geschiebemergel, welcher sowohl in der Weichsel- als auch in der Saalekaltzeit abgelagert wurde. Teilweise liegen mehrere Schichten Geschiebemergel unterschiedlicher Entstehungszeiten übereinander.

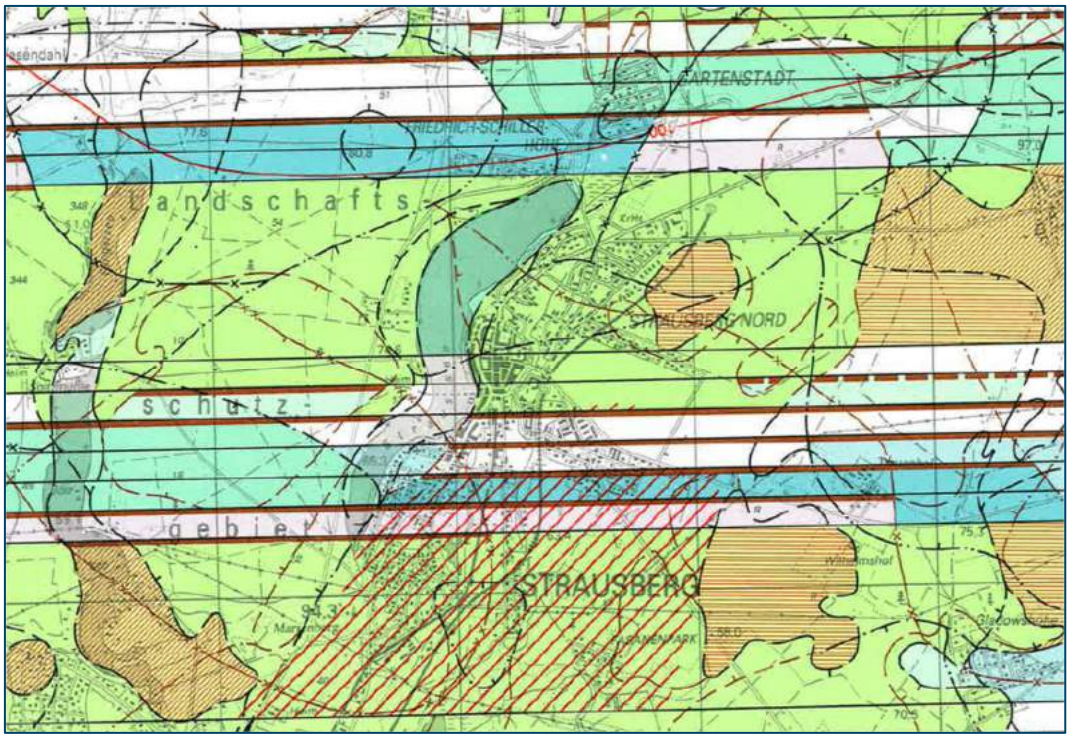


Abbildung 2-14: Ausschnitt der Hydrogeologischen Grundkarte im Bereich Straussee und Strausberg gemäß HK50 (VOIGT et. al, 1980-86)

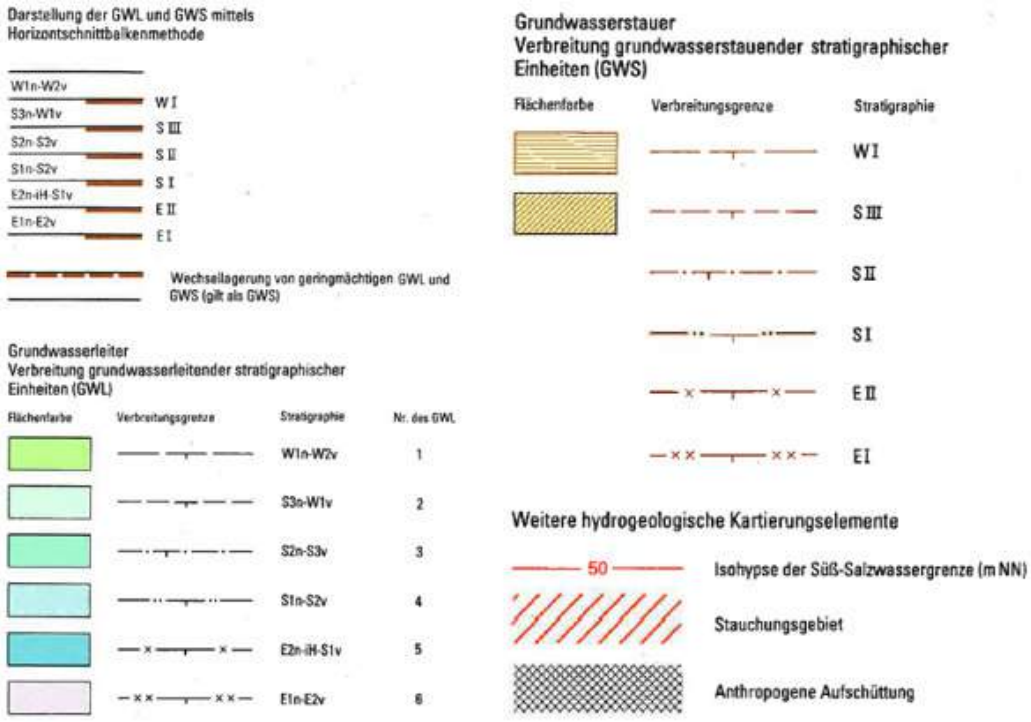


Abbildung 2-15: Legende zur Hydrogeologischen Grundkarte (VOIGT et. al, 1980-86)

2.4 Hydrogeologie/ Grundwasser

2.4.1 Unterirdisches Einzugsgebiet

Unterirdische Einzugsgebiete können anhand von Trennstromlinien eines Hydroisohypsenplans oder im Zuge einer Grundwassermodellierung ermittelt und ausgewiesen werden. Für die hier zu beantwortende Fragestellung sind die unterirdischen Einzugsgebiete des Straussees, des WW Strausberg und des WW Bötzsee relevant (siehe Anlage 2). Für das vorliegende Gutachten wurde auf die Daten des LBGR zurückgegriffen. Im Norden reichen diese in etwa bis an die Bahnlinie Werneuchen-Wriezen. Die östliche Grenze geht bis Sternbeck im Nordosten über Prötzel und verläuft dann nach Süden bis an den Herrensee. Im Westen verläuft die Einzugsgebietsgrenze zwischen Leuenberg und Werneuchen-Ost parallel zur B158 dann Richtung Südwesten mittig durch den Bötzsee in Richtung Strausberg. Das unterirdische Einzugsgebiet ist demnach ca. 182 km^2 groß.

Im Zuge der Recherche konnten mehrere Gutachten gesichtet werden, welche aufgrund von unterschiedlichen Modellannahmen das Einzugsgebiet bzw. die Teileinzugsgebiete unterschiedlich ausgewiesen haben. Diese unterirdischen EZG sind gleichfalls in Anlage 2 dargestellt.

Im Zuge von Erkundungsarbeiten der hydrogeologischen Situation in und um Strausberg zur Ermittlung des Grundwasserdargebotes wurde 1970/71 von der VEB Hydrogeologie ein Gutachten erstellt, welches das damalige unterirdische EZG des WW Strausbergs ausweist. Zur Abgrenzung des unterirdischen EZG wurde der Hydroisohypsenplan der Stichtagsmessung von Juni 1971 verwendet. Wie aus Anlage 2 ersichtlich, weisen die EZG von 1971 und der aktuellen Untersuchungen in etwa die gleiche Ausbreitung auf. Es ist jedoch zu beachten, dass die damaligen Grundwasserstände im gesamten Gebiet ca. 0,5 – 1 m höher lagen als heute.

1999 wurde von HGN ein Gutachten für die Neubemessung des Wasserschutzgebietes der Wasserfassung Strausberg-Stadt erstellt. Das damalige unterirdische EZG wurde anhand eines Grundwassermodells ermittelt. Dabei wurde ein 1-Schicht-Modell aufgebaut, bei dem nur der Hauptgrundwasserleiter (GWLK 2) betrachtet wurde. Die Grundwasserneubildung wurde nach BAGROV-GLUGLA neu berechnet, wobei Neubildungsraten von 2 bis 4 l/s*km^2 für Waldgebiete und Neubildungsraten von größer 5 l/s*km^2 für die Ortslagen und Ackerflächen berechnet wurden. Die Grundwasserneubildung wurde aufgrund des Modellaufbaus direkt dem HGWL zugewiesen. Damit steht dem HGWL im Modell eine größere Wassermenge zur Verfügung, was dazu führte, dass das unterirdische EZG flächenmäßig kleiner bestimmt wurde als 1971 und derzeit vom LBGR.

2006 erfolgte von HGN nach der gleichen Vorgehensweise wie 1999 die Neubemessung des Trinkwasserschutzgebietes für das Wasserwerk Bötzsee. Im Ergebnis wurde auch das unterirdische EZG des Bötzsees flächenmäßig kleiner ermittelt als im vorliegenden Gutachten.

Eine Bewertung der verschiedenen Annahmen und Ergebnisse hinsichtlich der Grundwasserneubildung und der Lage der unterirdischen EZG erfolgt im Zuge der Modellierung.

2.4.2 Grundwasserentnahmen

In Abbildung 2-16 sind die genehmigten Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet dargestellt.

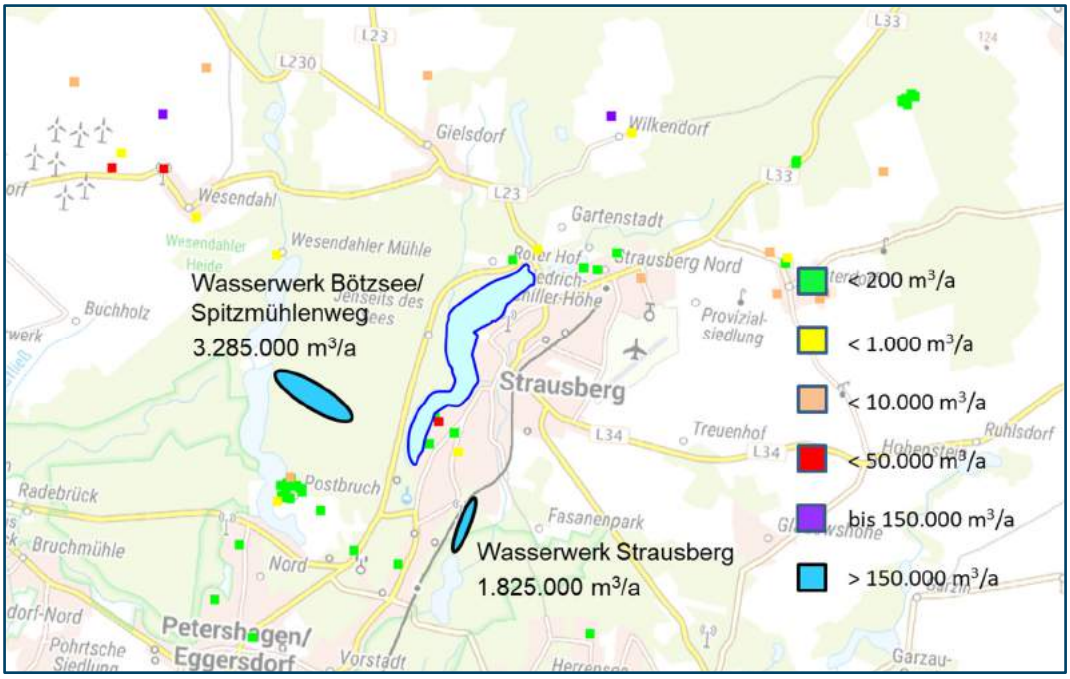


Abbildung 2-16: Genehmigte Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet (Quelle: LfU und LK MOL, Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

Im Untersuchungsgebiet liegen zwei Wasserwerke (WW): Strausberg südöstlich vom Straussee und Bötzsee/ Spitzmühle westlich vom Straussee. Im Südwesten von Strausberg befindet sich zudem noch das Wasserwerk Eggersdorf, welches aber außerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes liegt. Die Brunnen der Wasserwerke sind alle im Hauptgrundwasserleiter verfiltert und entnehmen das Grundwasser somit aus dem GWLK2. Das WW Bötzsee/ Spitzmühle ist seit 1976 Inhaber eine wasserrechtliche Erlaubnis zur Förderung von durchschnittlich 9.000 m³/d bzw. 3.285.000 m³/a. Die Maximalentnahmemenge des WW Strausberg beträgt 1.825.000 m³/a.

In Abbildung 2-17 sind die jährlichen Fördermengen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühlenweg und Strausberg ab 1989 bis 2018 dargestellt. Die Abbildung 2-18 enthält die monatlichen Fördermengen ab 2000 bis 2018. Es ist deutlich der Anstieg der Fördermengen des WW Bötzsee/ Spitzmühle ab 2014/ 2015 erkennbar. Die monatlichen Werte zeigen in den Sommermonaten stark erhöhte und vor allem ansteigende Grundwasserentnahmen aufgrund eines zunehmenden Wasserverbrauchs.

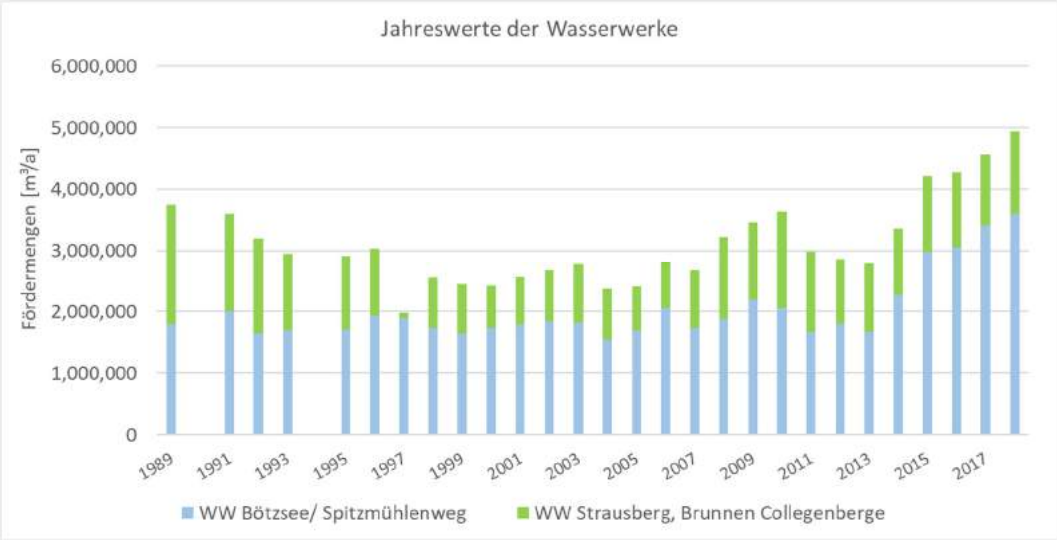


Abbildung 2-17: Jährliche Fördermengen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühlenweg und Strausberg 1989 - 2018 (Quelle: WSE und LfU, Fehljahre 1990 und 1994)

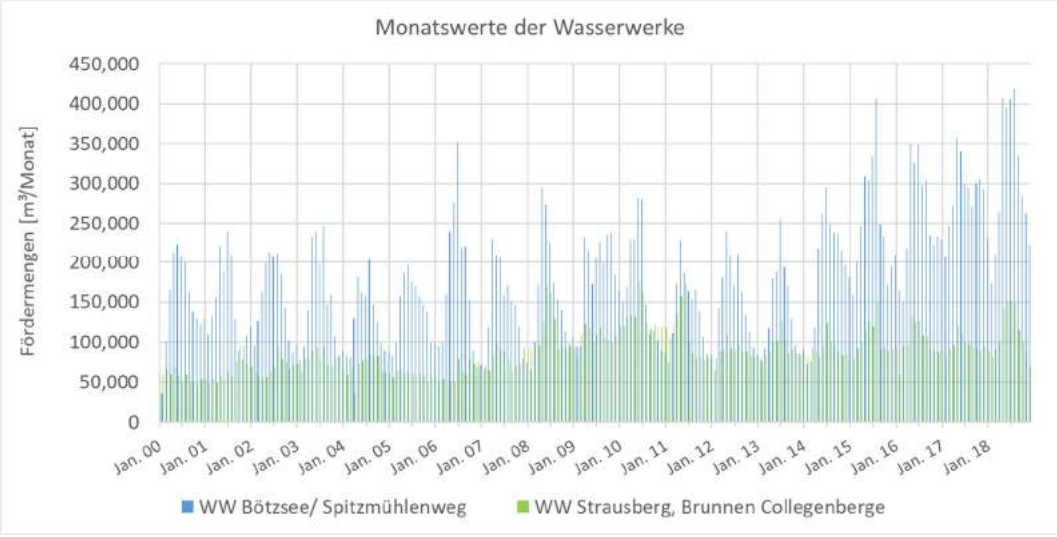


Abbildung 2-18: Monatliche Fördermengen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühlenweg und Strausberg 2000 - 2018 (Quelle: WSE)

Weitere relevante Grundwasserentnahmen erfolgen am Golfplatz Wilkendorf im nordöstlichen Zustrombereich zum Straussee. Der Golfplatz Wilkendorf verfügt seit 1997 über eine wasserrechtliche Erlaubnis zum Fördern von max. 91,6 m³/h bzw. 2200 m³/Tag und 150.000 m³/a. Die Grundwasserentnahme erfolgt aus zwei 1992 errichteten Brunnen zur Bewässerung der Golfplätze (Endteufe 60 m bzw. 48 m).

Tabelle 2-5 enthält die jährlichen Grundwasserentnahmen, die ab 2013 bis 2018 vorliegen.

Tabelle 2-5: Jährliche Grundwasserentnahmen durch den Golfclub Wilkendorf (Quelle: LfU)

Jahr	Entnahme [m³/a]
2013	87.842
2014	133.791
2015	150.263
2016	133.306
2017	68.639
2018	215.762

Die Sparkasse Strausberg betreibt nahe des Straussees (ca. 10 m von der Uferlinie entfernt) seit 1996 in der Sommerzeit einen Tiefbrunnen (56 m Ausbautiefe), aus dem bis zu 350 m³/d Grundwasser für den Betrieb der Klimaanlage gefördert werden. Laut Aussage von Herrn Ronald Bandiko von der Sparkasse Strausberg belaufen sich die Fördermengen auf ca. 20.000 m³/a. Das Wasser wird nach der Nutzung in das Annafließ eingeleitet. Das Kühlsystem wurde 2019 auf ein geschlossenes System umgebaut werden. Damit entfällt die Grundwasserentnahme zukünftig.

Laut HGN (2006) besitzt zudem die Bundeswehr an der Prötzeler Chausee eine wasserrechtliche Erlaubnis für die Entnahme von 140 m³/d Grundwasser.

Darüber hinaus existieren laut den Daten des Landkreis Märkisch Oderland im Einzugsgebiet 72 Brunnen, für die eine wasserrechtliche Erlaubnis vorliegt. Die meisten genehmigten Fördermengen sind aber vergleichsweise gering, so dass sie nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Von den 72 Brunnen liegt für 57 eine wasserrechtliche Erlaubnis für die Förderung von weniger als 1.000 m³/Jahr vor. An 12 Standorten dürfen 1.000 – 10.000 m³/a gefördert werden und nur für 3 Standorte wurden Fördermengen von mehr als 10.000 m³/d genehmigt. Diese befinden sich alle nordwestlich des Fängersees. Das geförderte Wasser wird zur Bewässerung von Obst- und Gemüsekulturen verwendet.

Von Einleitungen in das Grundwasser ist nichts bekannt.

2.4.3 Grundwassergleichenpläne

Am 10. und 11. April 2019 wurde von BGD ECOSAX und DHI WASY eine Stichtagsmessung an allen bekannten und intakten Grundwassermessstellen durchgeführt. Es konnte an insgesamt 64 GWMS ein Wasserstand gemessen werden. Viele GWMS, von denen Stammdaten vorliegen waren nicht auffindbar oder nicht messbar aufgrund von Beschädigungen. Zwei der angefahrenen GWMS führten zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung kein Grundwasser. Eine Übersicht zu allen bekannten GWMS ist Anlage 5 zu entnehmen.

Zur Ermittlung der Grundwasserfließrichtung wurde für den Hauptgrundwasserleiter (GWLK 2) mit Hilfe der gemessenen Grundwasserstände ein Hydroisohypsenplan erarbeitet. Der Hydroisohypsenplan ist Anlage 3 zu entnehmen.

Der Verlauf der interpolierten Hydroisohypsen stimmt grundlegend mit denen der vergangenen Jahre überein. Das Grundwasser strömt großräumig von Nord nach Süd und wird in der Nähe der Wasserwerke in Richtung der Brunnen abgelenkt. Um die Wasserwerksbrunnen bilden sich Absenktrichter aus. Es ist aber anzumerken, dass es sich bei dem Hauptgrundwasserleiter in weiten Bereichen um einen gespannten Grundwasserleiter handelt und die gemessenen Wasserstände dem Druckspiegel entsprechen.

Der obere Grundwasserleiter wird nur von sehr wenigen GWMS aufgeschlossen, weshalb die Konstruktion von Hydroisohypsen für diesen GWL nicht möglich ist. Es ist auch davon auszugehen, dass der GWL nicht ubiquitär Wasser führt.

Im Zuge der Datenrecherche konnten Stichtagsmessungen aus verschiedenen Jahren zusammengetragen werden. Hydroisohypsenpläne liegen aus den Jahren 1971 (VEB Hydrogeologie), 1993 (HGN) und 2011 (LfU) vor. Im Vergleich zu den aktuellen Grundwasserstandsmessungen fällt auf, dass sich die Grundwasserstände der früheren Messungen, abgesehen von einem kleinen Schankungsbereich, über die Jahre auf etwa demselben Niveau befanden. Zur aktuellen Stichtagsmessung im April 2019 liegen die Grundwasserstände jedoch im Vergleich zu den früheren Messungen großräumig um 0,5 – 1 m niedriger. Das betrifft sowohl den Anstrombereich im Norden als auch den Nahbereich um den Straussee wie aus Abbildung 2-19 ersichtlich. Die Differenzen im Bereich der Brunnen sind dabei nicht aussagekräftig, da diese anhand der aktuellen Förderraten stark schwanken.

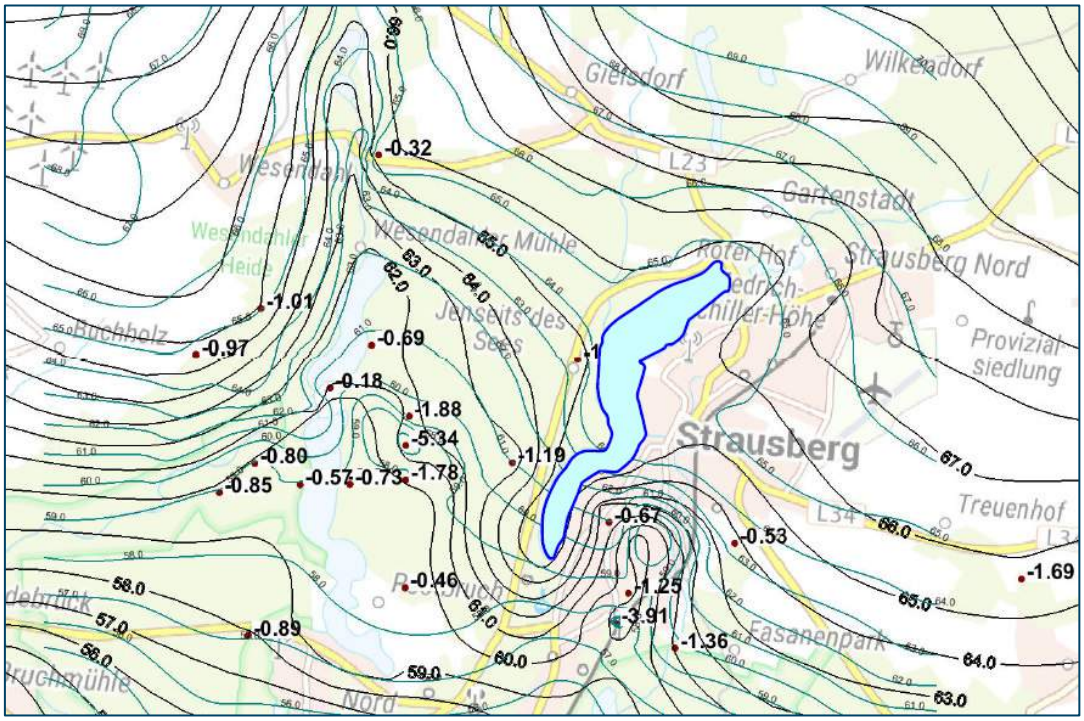


Abbildung 2-19: Grundwasserstandsdifferenzen 2011 (LfU) minus 2019 (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

2.4.4 Grundwasserstandsganglinien

Von den verschiedenen Messnetzbetreibern (Landesamt LfU, Wasserverband sowie ISAC GmbH an der Textilreinigung) wurden die Grundwasserstandsdaten abgefragt und für die Kalibrierung des Grundwassermodells aufbereitet. Im Weiteren folgt die Darstellung der Messwerte in ausgewählten Grundwassermessstellen. Die Abbildung 2-20 zeigt einen Ausschnitt aus dem Grundwassergleichenplan der Stichtagsmessung Frühjahr 2019 mit Markierung der Lage der ausgewählten Grundwassermessstellen.

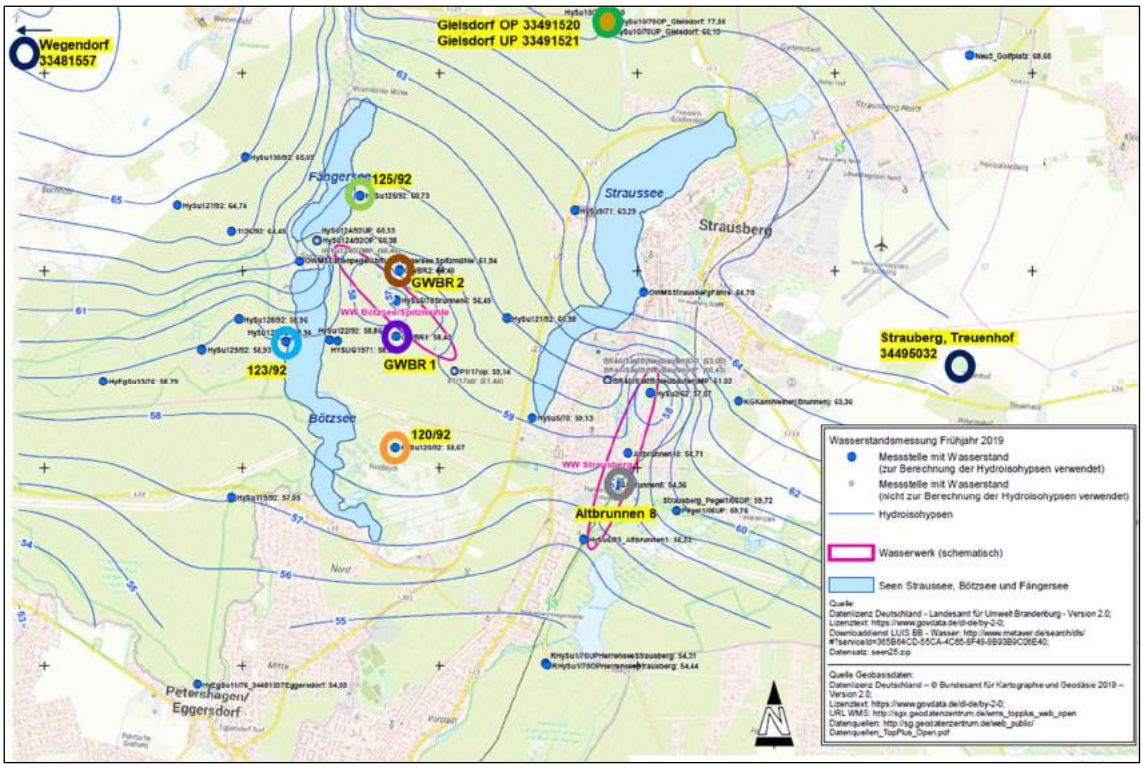


Abbildung 2-20: Ausschnitt aus dem Grundwassergleichenplan der Stichtagsmessung Frühjahr 2019 mit Markierung ausgewählter Grundwassermessstellen (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

Die Abbildung 2-21 zeigt Grundwasserstandsmessungen im Nahbereich der Förderbrunnen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühle und Strausberg. Ab 2010 liegen diese Daten des WSE in den Messstellen GWBR 1, GWBR 2 und Altbrunnen 8 mit einer höheren zeitlichen Auflösung vor, so dass eine Bewertung der Grundwasserstandsentwicklung möglich ist: In den Jahren 2011 bis 2013 wurden relativ hohe Grundwasserstände beobachtet. Ab 2014 sinken die Grundwasserstände, es ist jedoch kein abfallender Trend zu beobachten, sondern ab 2015 schwanken die Grundwasserstände um ein im Mittel ca. 1,5 bis 2 m tieferes Grundwasserstandsniveau. Das zyklische Schwankungsverhalten der Grundwasserstände mit einem jährlichen Minimum zumeist im August zeigt die Beeinflussung durch die Förderung der Wasserwerksbrunnen.

Die drei Grundwassermessstellen im Umfeld des Wasserwerks Bötzsee/ Spitzmühle HySu 125/92 (östlich des Fängersees), HySu 125/92 (westlich des Bötzsees) und HySu 120/92 (südöstlich des Bötzsees) zeigen ein ähnliches Verhalten, sind jedoch weniger von der Wasserwerksförderung beeinflusst (Abbildung 2-22). Das Schwankungsverhalten ist geringer und nach den hohen Grundwasserständen in den Jahren 2011 bis 2013 werden in den Folgejahren ca. 0,5 bis 1 m geringere Grundwasserstände beobachtet. Es gibt keinen abnehmenden Trend der Grundwasserstände.

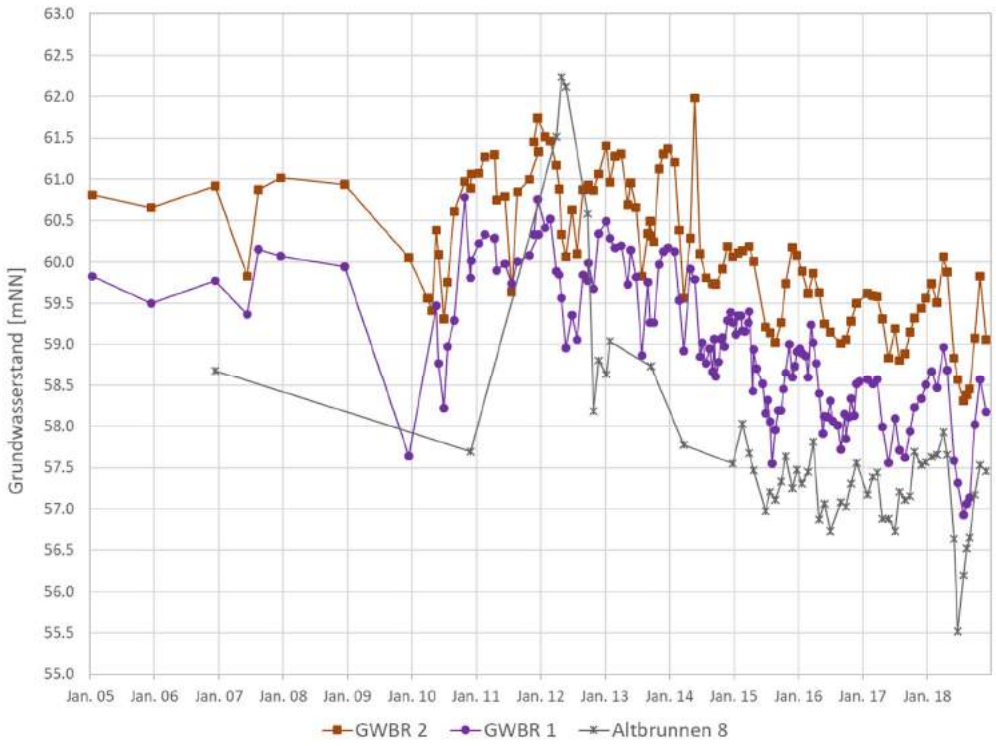


Abbildung 2-21: Grundwasserstandsmessungen im Nahbereich der Brunnen der Wasserwerke Bötzsee/ Spitzmühle und Strausberg (ab 2005)

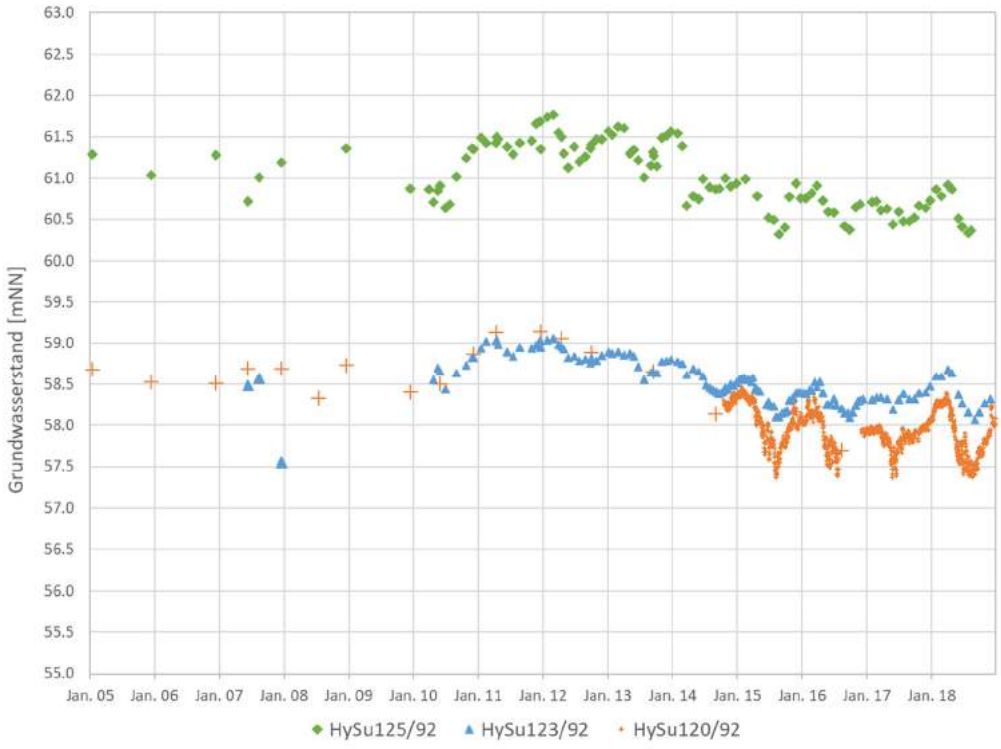


Abbildung 2-22: Grundwasserstandsmessungen im Umfeld des Wasserwerks Bötzsee/ Spitzmühle (ab 2005)

Die Abbildung 2-23 zeigt für den Betrachtungszeitraum 2005 - 2018 die Grundwasserstandsmessungen in GWM im Einzugsgebiet des Straussees (GWM Gielsdorf OP und UP etwa 1,5 km nördlich des Straussees im GW-Zustrom) bzw. in den angrenzenden Einzugsgebieten (GWM Wegendorf ca. 7,5 km westlich und GWM Strausberg ca. 4 km östlich des Straussees). Die Grundwasserganglinien zeigen alle ein ähnliches Verhalten: seit 2013 sinken die Grundwasserstände nahezu kontinuierlich über 4 Jahre um ca. 1,5 m. Ab Januar 2017 bis April/Mai 2018 wurde ein Anstieg um ca. 0,8 bis 1,2 m beobachtet, anschließend fielen die GW-Stände wieder. Die Grundwasserstandsentwicklung ist klimatisch geprägt, die Grundwasserstände reagieren verzögert auf die Niederschläge. Die im Grundwasserzustrom gelegene GWM Gielsdorf OP zeigt keine Beeinflussung durch die Wasserwerksförderung im unbedeckten Grundwasserleiter.

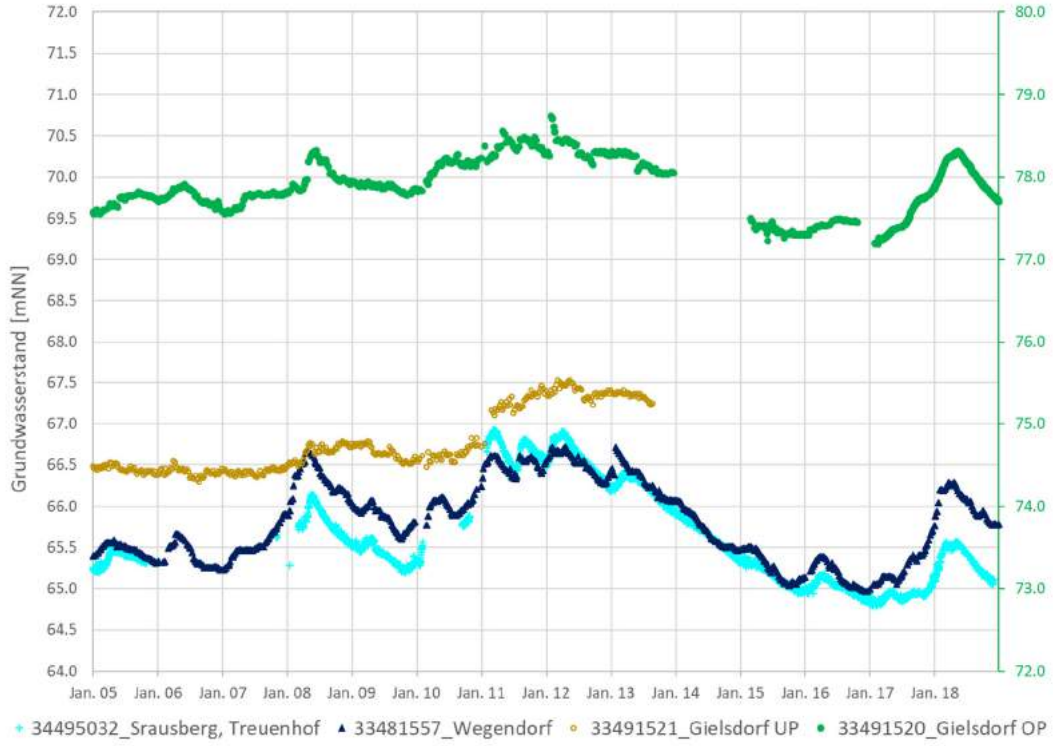


Abbildung 2-23: Grundwasserstandsmessungen im Einzugsgebiet des Straussees bzw. in angrenzenden Einzugsgebieten (ab 2005)

Zur Einordnung der beschriebenen Beobachtungen in den letzten Jahren wurden in Abbildung 2-24 die langjährigen Grundwasserganglinien dargestellt. Es zeigt sich, dass seit Messbeginn Mitte der 80er Jahre im Dezember 2016 die tiefsten, bislang beobachteten Grundwasserstände auftraten. Zur vom AN durchgeführten Stichtagsmessung im Frühjahr 2019 wurde großräumig um den Straussee ein bis zu 1 m tieferes Grundwasserstandsniveau im Vergleich zur landesweiten Stichtagsmessung im April 2011 gemessen.

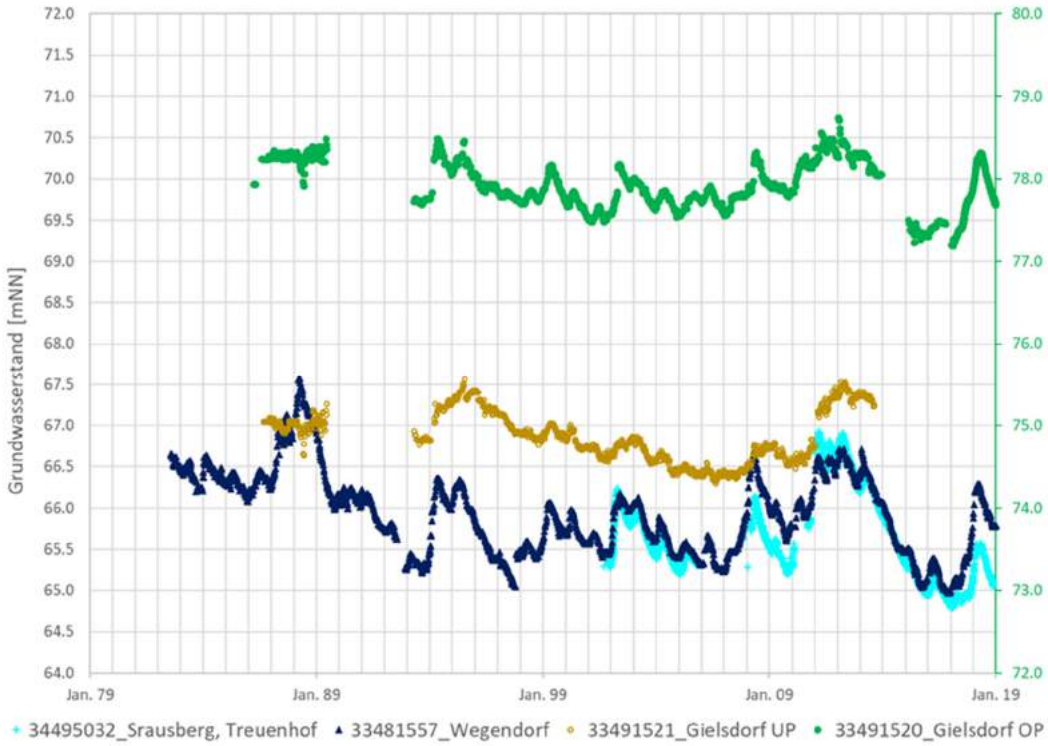


Abbildung 2-24: Grundwasserstandsmessungen im Einzugsgebiet des Straussees bzw. in angrenzenden Einzugsgebieten (langjährig)

2.4.5 Kommunikation zwischen GWLK1 und GWLK2

Es existieren verschiedene Hinweise, die vermuten lassen, dass der GWLK1 zumindest lokal mit dem GWLK2 in Kontakt steht. Diese werden im Folgenden aufgelistet.

Tiefe des Straussees und geologischer Untergrund

Der Straussee ist mittig bis zu 20 m tief. Östlich des Straussees beträgt die Mächtigkeit des Geschiebemergels, welcher als Trennhorizont zwischen den GWLK dient, zum Teil über 20 m (Bohrung Hy Su 7/1990, Schnitte in VEB Hydrogeologie 1970/1971), wodurch eine Kommunikation zwischen GWLK1 und GWLK2 unwahrscheinlich ist. Im Westen des Straussees sind die Lagerungsverhältnisse sehr unterschiedlich. Hier wurden in den vorhandenen Bohrungen Geschiebemergelmächtigkeiten von 3 m nahe des Straussees und bis 20 m in Richtung Bötzsee angesprochen. Die Bohrung Hy Su 9/71 befindet sich nahe am Straussee auf der westlichen Seite. Hier wurden nur 3 m Geschiebemergel angesprochen, welche sich zwischen 67 – 70 mNN befinden. Der Straussee reicht an seiner tiefsten Stelle in etwa bis 45 mNN. Das heißt, wenn sich unter dem Straussee keine grundwasserstauende Schicht befindet, ist eine Kommunikation zwischen Straussee, welcher unter anderem von dem GWLK1 gespeist wird, und dem GWLK2 sehr wahrscheinlich. Da jedoch noch nie im Straussee gebohrt wurde, kann keine Aussage über den direkten Untergrund des Sees gemacht werden.

LHKW-Nachweis im GWLK2

Im Gutachten von HGN (1999a) wird angesprochen, dass im Brunnen 3 des WW Strausberg im Hauptgrundwasserleiter GWLK2 LHKW nachgewiesen wurde. Die LHKW müssen aus einer Altlast im GWLK1 stammen. Da der Geschiebemergelkomplex am Brunnen 3 jedoch knapp 20 m mächtig ist, ist nicht davon auszugehen, dass die beiden GWLK in diesem Bereich hydraulisch miteinander im Kontakt stehen. Es ist wahrscheinlicher, dass durch die Bohrmaßnahmen bei der Errichtung der Brunnen und/oder durch falschen Brunnenausbau, wie fehlende Abdichtungen im Ringraum, Schadstoffe in den Hauptgrundwasserleiter gelangen konnten. Tonsperren im Ausbau

verhindern vertikale Wasserbewegung. Der Ausbau des Brunnens 3 ist nicht bekannt, in dem Gutachten von HGN (1999a) wird er jedoch in einem geologischen Schnitt dargestellt. Dort ist nur eine Tonsperre von 48 bis 50 mNN eingezeichnet. Verfiltert ist er jedoch von 7 bis 17 mNN und den Geschiebemergel durchteuft er von ca. 30 bis 55 mNN.

Erkundungen 1970/71

Im Altgutachten der VEB Hydrogeologie von 1970/71 wurde die Geologie im Untersuchungsgebiet umfangreich untersucht. Unter anderem sind verschiedene geologische Schnitte durch das Untersuchungsgebiet enthalten. Einer der Schnitte verläuft grob in W-O-Richtung über die Bohrung HySu5/70, welche sich direkt südlich vom Straussee befindet. Der Schnitt ist in Abbildung 2-25 dargestellt. Laut VEB Hydrogeologie 1970/71 ist „infolge tiefgreifender Erosion im Bereich der Straussee-Niederung, offenbar einer älteren vorgezeichneten Schwächezone, eine Auswaschung der Moränenablagerungen erfolgt. Die Rinnenfüllung besteht vorwiegend aus sandig-kiesigen Sedimenten." Am südlichen Ende ist der Straussee nur wenige Meter tief, wie im Schnitt dargestellt. Im mittleren Bereich, wo er bis zu 20 m tief ist, sind in dem geologischen Schnitt keine stauenden Schichten eingezeichnet.

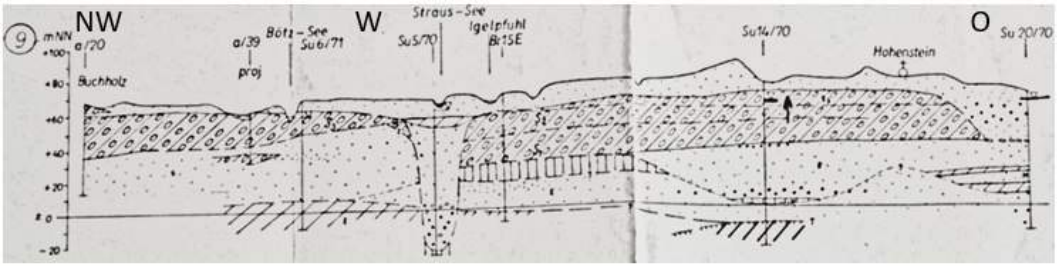


Abbildung 2-25: Schnitt 9 aus VEB Hydrogeologie, 1970/71

Abbildung 2-26: Legende zu Schnitt 9 aus VEB Hydrogeologie, 1970/71

Außerdem heißt es weiter: „Ausgehend vom geologischen Bau des Untergrundes und den Lagerungsverhältnissen ist zwischen dem ungespannten Grundwasserleiter der nördlichen Stauchungszone und dem gespannten Grundwasserleiter des Strausberger Gebietes eine enge hydraulische Verbindung zu erwarten. Das Hauptnährgebiet des bewirtschafteten Grundwasserleiters ist dementsprechend in der Stauchungszone zu suchen." Dabei ist hier nicht die Rede von dem oberen GWLK im Raum Strausberg, welcher nur temporär Grundwasser führt, sondern von dem GWLK im Anstrombereich des Untersuchungsgebietes, nördlich vom Straussee. Nach VEB Hydrogeologie 1970/71 ist die Wasserführung des oberen ungespannten Grundwasserleiterstockwerks im Bereich Strausberg ebenfalls von untergeordneter Bedeutung und beschränkt sich vorwiegend auf den Zentralteil des Strausberger Sanders. Es wird vermutet, dass in dem Bereich der Erosionsrinnen hydraulische Verbindungen beider GWLK möglich sind. Es wird geschrieben:

„Solche hydraulischen Zusammenhänge werden in der nördlichen Rinnenzone des Straussees und in der Bötzsee-Rinne vermutet."

Pumpversuch Bereich WW Strausberg

Laut AKS (2007) fand während der Untersuchungen im Bereich WW Strausberg ein Pumpversuch im Hauptgrundwasserleiter statt. Im dazugehörigen Gutachten heißt es „der Pumpversuch bestätigte, dass die Förderung aus dem saale-, elsterzeitlichen Hauptgrundwasserleiter keinen Einfluss auf die Wasserstände im oberen unbedeckten GWL hat." Das bestätigt die Vermutung, dass der Hauptgrundwasserleiter östlich vom Straussee aufgrund der mächtigen Geschiebemergelschicht keine Verbindung zum oberen GWLK aufweist.

Grundwasserstauer Geschiebemergel nicht ubiquitär vorhanden

Die Trennschicht zwischen den beiden Grundwasserleiterkomplexen 1 und 2 ist zwar in Strausberg und Umgebung vorhanden, jedoch nicht im Anstrombereich des Straussees und somit nicht im gesamten unterirdischen Einzugsgebiet. Im Norden des Anstrombereichs im Bereich Sternebeck, Leuenberg liegen beide GWLK ohne stauende Trennschicht direkt übereinander. Das zeigen sowohl die Ergebnisse von VEB Hydrogeologie 1970/71 als auch die Schichtenverzeichnisse der vorliegenden Bohrungen.

Hydrogeochemische Untersuchungen vom LBRG 1999

Im Zuge der Verifizierung des geologischen Strukturmodells wurden vom LBGR 1999 hydrogeochemische Befunde untersucht. Die Auswertung der Wasseranalysen erfolgte auf der Grundlage des vom LBGR erarbeiteten hydrogeochemischen Genesemodells nach Rechlin 1997. Dabei wurden die Ionenverhältnisse der untersuchten Wasserproben ermittelt und die Koordinaten im Genesediagramm errechnet. Die Lagepunkte können dann typischen Lagerungsbereichen, die die dazugehörigen hydrogeologischen Verhältnisse beschreiben, zugeordnet werden. Eine Übersicht zu den Wässern in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung und damit ihrer Lage im Genesemodell ist Abbildung 2-27 zu entnehmen. Die Einordnung der Wässer beruht darauf, dass Grundwässer, welche keine Verbindung zum oberen GWLK aufweisen und somit keine Speisung von Neubildungswasser bzw. Niederschlagswasser erfolgt, eine gewisse Alterung erfahren, welche sich in der chemischen Zusammensetzung zeigt.

Im Gutachten werden hydrogeochemische Analysen von 3 Bereichen ausgewertet: der Anstrombereich im Norden um das Gebiet Werneuchen und die Stauchungszone der Barnimhochfläche, der Bereich des WW Eggersdorf und der Bereich des WW Strausberg.

Im nordwestlichen Anstrombereich um Werneuchen werden „im Hangendbereich des Hauptgrundwasserleiters Wässer des Typs 2 beobachtet, die über stauchungsbedingte hydraulische Verbindungen von der Oberfläche bis in ein Niveau von ca. 55 m unter Gelände gelangen. Lokale weichselzeitliche GWL im Hangenden des HGWL können aber auch gealterte Grundwässer des Typs 5.1 aufweisen. Sie deuten auf längere Verweilzeiten aufgrund einer isolierten Position hin."

Im nordöstlichen Anstrombereich wurden die untersuchten Wässer in die Typen 5.1 und 5.2 eingestuft, wobei im Gutachten angemerkt wird, dass aufgrund von fehlender Messstellen keine Neubildungswässer nachgewiesen werden konnten. Das Vorhandensein von jüngeren Wässern im Hangendbereich des HGWL ist jedoch zu vermuten.

Im Bereich des WW Strausberg konnten vor allem Wässer der Typen 5.1 und 5.2 nachgewiesen werden. Die Wässer der Brunnen 3 und 5 wurden hingegen hydrochemisch als Neubildungswässer des Typs 2 eingestuft. Das ist auch der Bereich, in dem LHKW im Hauptgrundwasserleiter nachgewiesen wurden.

Die Wässer im fassungsnahen Bereich des WW Eggersdorf werden dem Typ 4, 5.1 und 5.2 zugeordnet. Der Nachweis von Grundwässern der Typen 4 und 5.1 kann laut Gutachten als indirekter Nachweis für hydraulische Fenster im hangenden Geschiebemergelkomplex gedeutet werden, wobei aber noch relativ lange Transportzeiten vorhanden sind.

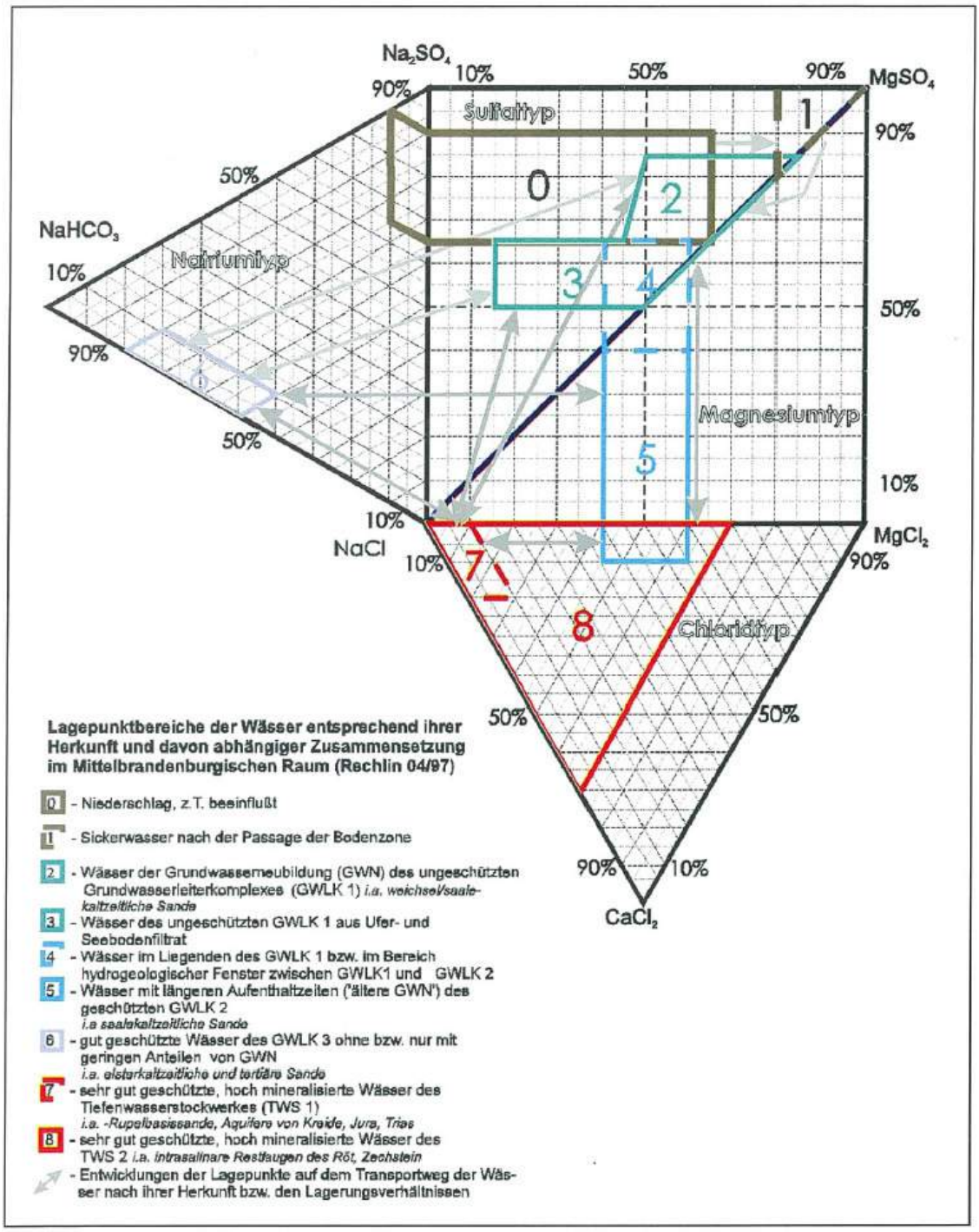


Abbildung 2-27: Hydrogeochemisches Genesemodell der Wässer in den GWLK des Landes Brandenburg, Gliederung nach maßgeblichen hypothetischen Salzen (aus RECHLIN, 1997)

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die verschiedenen Altgutachten auch unterschiedliche Aussagen zu möglichen hydraulischen Verbindungen zwischen dem GWLK1 und GWLK2 geben. Aufgrund der vielen Eisvorstöße, welche das Gebiet geologisch geprägt haben, ist der Untergrund stark heterogen. Die GWLK1 und GWLK2 könnten im nördlichen Anstrombereich und westlich vom Straussee beziehungsweise direkt unter dem Straussee einen hydraulischen Kontakt aufweisen.

Ein natürliches hydraulisches Fenster im Bereich WW Strausberg wird aufgrund der bis zu 20 m mächtigen Geschiebemergelschicht als unwahrscheinlich erachtet.

2.5 Isotopenhydrologische Untersuchungen von Grund- und Oberflächenwässern

2.5.1 Grundlagen der Isotopenhydrologie

Stabile Isotope

Stabile Isotope sind Atome eines Elementes, welche sich bei gleicher Ordnungszahl durch ihre Anzahl an Neutronen bzw. damit ihre Atommasse unterscheiden und keinem radioaktiven Zerfall unterliegen. Die Isotope mit der höheren Atommasse sind deutlich seltener. Zur Beschreibung der Häufigkeitsbeziehungen wird das Stabilisotopenverhältnis genutzt, welches dem Verhältnis der Anzahl der seltenen Isotope zur Anzahl der häufigsten Isotope entspricht. In den Umweltwissenschaften haben Isotopenverhältnisanalysen der Elemente C, N, S, O und H die größte Bedeutung [5].

Die Analytik stabiler Isotopenverhältnisse erfolgt mit einem Stabilisotopenmassenspektrometer (engl. IRMS). Da mit diesem nur Gase analysiert werden können, sind die Proben zuvor durch ein geeignetes Peripheriegerät in die Gasphase zu überführen. Für eine bessere Handhabbarkeit der zahlenmäßig sehr geringen, relativen Unterschiede zwischen schweren und leichten Isotopen eines Elementes werden diese in Promille angegeben. Die internationale Vergleichbarkeit wird durch Bezug auf einen international anerkannten Standard erreicht. Durch diese Schritte werden die Isotopenverhältnisse in der sogenannte ‚Delta-Notation' (δ) angegeben [23]. Für die Isotopenverhältnisse des Wassers selbst, die auf den Standard VSMOW2 (‚Vienna Standard Mean Ocean Water' mit δ^2H= 0,0 ‰ und $\delta^{18}O$ = 0,0 ‰) bezogen werden, ergibt sich damit folgende Delta-Notation:

$$\delta^2H\ (‰) = (({}^2H/{}^1H)_{Probe}/({}^2H/{}^1H)_{VSMOW2} - 1)*1000\ ‰$$

$$\delta^{18}O\ (‰) = (({}^{18}O/{}^{16}O)_{Probe}/({}^{18}O/{}^{16}O)_{VSMOW2} - 1)*1000\ ‰$$

IsotopenhydrologieIm Laufe des Wasserkreislaufes ändern sich die Phasenzustände des Wassers und damit auch dessen $\delta^{18}O$- und δ^2H- Isotopenverhältnisse wenigstens zweimal (bei Verdunstung und Kondensation). Diese Prozesse der An- bzw. Abreicherung von Isotopen in Wässern werden als Fraktionierung bezeichnet. Schwerere Isotope werden stärker im Molekül gebunden. Bei der Verdunstung werden die leichteren Isotope bevorzugt, so dass sich die schwereren Isotope im verbleibenden Wasserreservoir anreichern ($\delta^{18}O$ u. δ^2H werden positiver) und im Wasserdampf entsprechend abreichern (d. h. $\delta^{18}O$ und δ^2H werden negativer). Bei der Kondensation von Wasserdampf werden wiederum die schweren Isotope bevorzugt, so dass eine ohnehin schon an schweren Isotopen abgereicherte Wassermasse bei der Kondensation noch mehr verarmt und das Kondensat mit schweren Isotopen angereichert wird [5].

Zwischen den δ^2H- und $\delta^{18}O$- Stabilisotopenverhältnissen einer Wasserprobe besteht etwa das Verhältnis $\delta^2H \approx 8*\delta^{18}O + 10$. Diese Beziehung kann in einem $\delta^{18}O$-/ δ^2H- Diagramm als sogenannte ‚Global Meteoric Water Line' (GMWL) visualisiert werden. In Abhängigkeit von Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte gibt es auf lokaler Maßstabsebene geringfügige Abweichungen von der GMWL, womit sich eine lokale Beziehung bzw. ‚Local Meteoric Water Line' (LMWL) ergibt. Findet in einem Wasserreservoir Verdunstung statt, so kommt es zu einer Isotopenfraktionierung zwischen verbleibendem Wasserreservoir und Wasserdampf. Dabei verdunstet ^2H leichter als ^{18}O, d. h. letzteres reichert sich in der residualen Wasserphase an. Diese Isotopenfraktionierung führt zu $\delta^{18}O$-/δ^2H-Isotopenverhältnissen, die auf einer ‚Evaporation Line' (EL) plotten. Diese hat einen geringeren (flacheren) Anstieg als GMWL bzw. LMWL [5].

Isotopenhydrogeologie

Grundwasser wird in Bereichen ohne hydraulisch gering wirksame Überdeckung durch versickerndes Niederschlagswasser neu gebildet. Dabei stellt die ungesättigte Bodenzone einen Bereich dar, in welchem die Sickerwässer über einen längeren Zeitraum intensiv gemischt werden [5]. Da zudem Fraktionierungs- und Isotopenaustauschprozesse im Untergrund (ungesättigte Bodenzone sowie Grundwasser-gesättigte Zone) vernachlässigbar sind [9], kann davon ausgegangen werden, das die mittleren Stabilisotopensignaturen der Niederschläge (basierend auf mehrjährigen Analysen von Monatsmittelwerten) die Eingangssignale für die Grundwasserneubildung darstellen und diese Signale im Grundwasserbereich nur noch durch Mischung mit anderen Wässern verändert werden. Die Anteile f von zwei Wässern verschiedener Herkunft [1] und [2] in einem Mischwasser [1+2] können durch die Analyse der Isotopenverhältnisse dieser drei Proben mit Hilfe einer Zweikomponenten-Mischungsrechnung abgeschätzt werden. Dabei wird angenommen, dass das Mischwasser nur aus den beiden Wässern [1] und [2] gebildet wird und deren analysierte $\delta^{18}O$-/$\delta^{2}H$-Verhältnisse repräsentativ sind. Für den Anteil des Wassers $f_{[1]}$ in [1+2] gilt dann z. B.:

$$f_{[1]}(\%) = (\delta_{[1+2]} - \delta_{[2]}) / (\delta_{[1]} - \delta_{[2]})*100$$

2.5.2 Untersuchungsmaterialien

Wasserproben

Im Zeitraum von April bis Oktober 2019 wurden durch die BGD ECOSAX GmbH zwei Probenahmekampagnen durchgeführt. Es wurden verschiedene Grund- und Seewasserproben im Bereich des Straussees entnommen. Dabei wurden vom 09. – 11.04.19 zunächst Schöpfproben von 7 Grundwassermessstellen sowie Oberflächenwasserproben von Fängersee, Bötzsee und Straussee entnommen. Bei letzterem konnte von einem Boot aus, in der Mitte des Sees, ein Tiefenprofil von 0 – 19 m erstellt werden. Bei der zweiten Probenahmekampagne am 09.08. und 13.08. wurden repräsentative Grundwasserprobenahmen an 8 Grundwassermessstellen durchgeführt sowie nochmals Oberflächenwasserproben an Fängersee, Bötzsee und Straussee entnommen. Von letzterem wurde ein zweites Tiefenprofil aus der Mitte des Sees erstellt.

Am 08.05., 28.05., 12.07. und 24.10.19 wurden jeweils zusätzliche Oberflächenwasserproben vom Straussee bzw. Bötzsee entnommen. Bei jeder Probenahme wurden mindestens 250 mL Probe entnommen und gasblasenfrei in HDPE-Schraubflaschen abgefüllt, welche bis zur Übergabe an das Labor des Instituts für Grundwasserwirtschaft gekühlt aufbewahrt wurden. Hier wurde von allen Proben jeweils 2 mL Probevolumen für die beauftragte Stabilisotopenanalytik abgefüllt. Um eine umfänglichere Datenbasis für den Vergleich aller gewonnenen Grund- und Seewasserproben zu schaffen, wurden von ausgesuchten Proben weitere Parameter wie pH-Wert sowie An- und Kationenkonzentrationen analysiert. Für Letztere waren jeweils 15 mL Probevolumen über 0,2 µm Spritzenvorsatzfilter (Celluloseacetat) zu filtrieren. Die Proben für die Kationenanalytik waren anschließend mit 1 % HCl zu konservieren.

Sedimentprobenahme Straussee

Nach aktuellem Kenntnisstand befindet sich der Straussee in einer eiszeitlichen Rinne. Diese schneidet in den flächig verbreiteten Geschiebemergel ein. Im Bereich des Seetiefsten (ca. Höhe Fähre) und südlich davon könnte eine hydraulische Verbindung zum darunterliegenden Grundwasserleiter bestehen, da die Geschiebemergel komplett durchstoßen wurde. Aus diesem Grund wurden am 09.08.2019 in der Mitte des Straussees von einem Boot aus mit einem Sedimentstecher Proben des Seebodens entnommen. Diese wurden in den folgenden Tagen am Institut für Grundwasserwirtschaft in einer Darcy-Apparatur auf ihre geohydraulische Leitfähigkeit analysiert.

2.5.3 Analysenmethoden

pH-Wert

Der pH-Wert ausgewählter Wasserproben wurde mit einer pH-Elektrode SenTix 41 und einem pH-Messgerät 323 der Fa. WTW nach Kalibration der Sonde in zwei DIN-Standardlösungen analysiert.

Stabilisotope des Wassers

Die Analytik der stabilen Isotopenverhältnisse $\delta^{18}O$ und $\delta^{2}H$ der Wasserproben wurde im Labor des Instituts für Grundwasserwirtschaft durch Kopplung eines Hochtemperaturpyrolyseofens (HT, Fa. HEKAtech) und eines Stabilisotopenmassenspektrometers MAT 253 (IRMS, Fa. Thermo Fisher Scientific) durchgeführt. Hierbei wird die Wasserprobe im HT durch Pyrolyse bei 1450 °C und Zugabe von Kohlenstoff in die Probengase CO und H_2 überführt, welche anschließend im IRMS im Hochvakuum bzgl. der O-Atommassen 16 und 18 bzw. der H-Atommassen 1 und 2 getrennt werden.

An- und Kationen

Die Chlorid- und Sulfatkonzentrationen ausgewählter Wasserproben wurden mittels Ionenchromatografie (IC) analysiert, die Konzentrationen der Kationen mittels Atomatsorptionsspektroskopie (AAS). Während die IC-Analytik im Labor des Instituts für Grundwasserwirtschaft erfolgte, wurden alle Kationen im Labor des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der TU Dresden analysiert.

Ermittlung der geohydraulischen Leitfähigkeit

Zur Ermittlung der geohydraulischen Leitfähigkeit (K-Wert) der Sedimentprobe vom Boden des Straussees wurde ein Darcy-Experiment mit fallender Standrohrspiegelhöhe durchgeführt. Dabei wurde die Veränderung der Standrohrspiegelhöhe von h_1 zu h_2 über einen Zeitraum t von jeweils 30 min mehrfach ermittelt. Der K-Wert wurde jeweils nach der folgenden Gleichung ermittelt und auf T=10 °C korrigiert und abschließend über alle Messungen gemittelt:

$$K = \frac{A_{Standrohr}}{A_{Säule}} \cdot \frac{L_{Säule}}{t} \cdot ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

In die Formel gehen die Querschnittfläche der Versuchssäule $A_{Säule}$ und des Standrohrs $A_{Standrohr}$ sowie die Länge der Versuchssäule $L_{Säule}$ ein.

2.5.4 Ergebnisse

Anionen

Durch die Analyse der Anionen von ausgewählten Grund- und Oberflächenwasserproben, welche am 10.04. und 24.10.19 gewonnen wurden, fällt besonders der hohe Sulfatgehalt des Strausee-Wassers (ca. 80 mg/L) im Vergleich zu Bötzsee (ca. 60 mg/L) und Grundwässern (<40 mg/L) auf. Am 24.10. wurde deshalb auch der Zufluss des Straussees beprobt, dieser führt mit 112 mg/L noch deutlich höhere Sulfatkonzentrationen.

Abbildung 2-29 zeigt, dass die Chlorid- und Sulfatkonzentrationen über die Tiefe des Straussees im Frühjahr relativ konstant ist (Frühjahrszirkulation), im Sommer sinken die Sulfatkonzentrationen in der Nähe des Seebodens. Dies ist vermutlich die Folge einer Sommerstagnationsphase, in der aufgrund der starken Ablagerungen von organischem Material (vgl. Sedimentbeprobung 09.08. sowie mdl. Mitteilungen eines Hobbytauchers, der von ca. 4 m mächtigen Schlammschichten berichtete) über dem Seeboden anaerobe, sulfatreduzierende Bedingungen einstellen. Auch die sehr niedrigen Sulfatkonzentrationen in BR4 Altlast (_MP <0,01 mg/L, _UP 0,6 mg/L) indizieren ein sulfatreduzierendes Milieu im tiefen Grundwasserleiter.

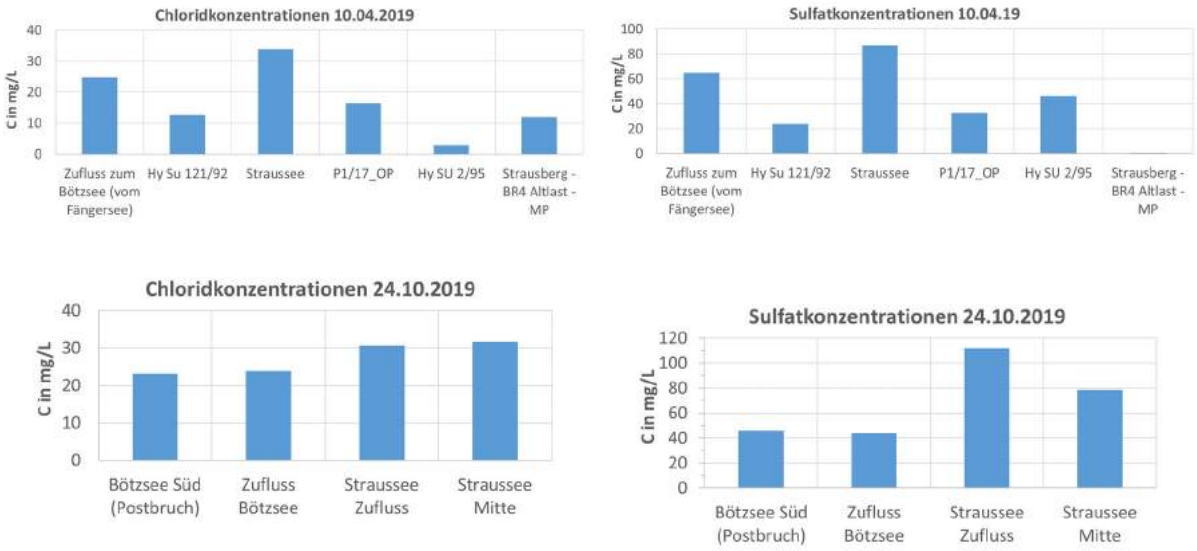


Abbildung 2-28: Vergleich der Chlorid- und Sulfatkonzentration in ausgewählten Grund- und Oberflächenwasserproben im Umkreis von Strausberg, Probenahme 10.04. und 24.10.2019

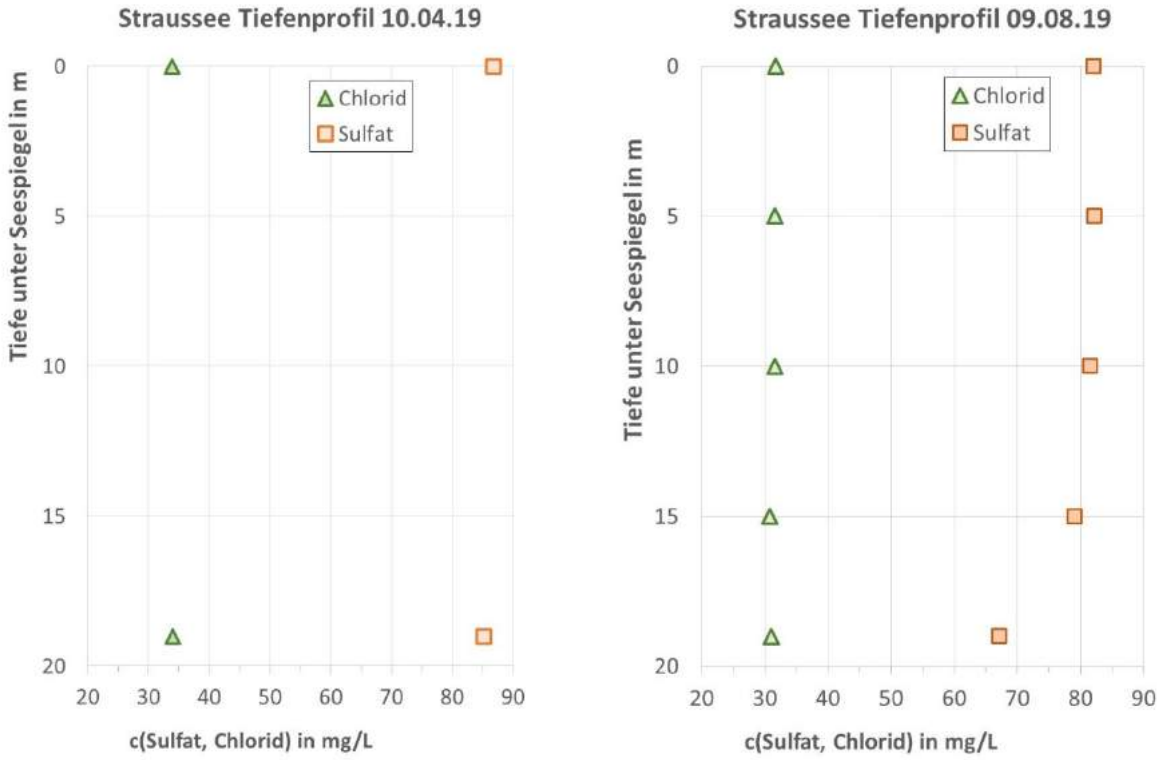


Abbildung 2-29: Tiefenprofile Sulfat und Chlorid, Probenahme Straussee 10.04. und 09.08.2019

Stabile Isotopenverhältnisse von Grund- und Seewasserproben

In der Abbildung 2-30, Abbildung 2-31 und Abbildung 2-32 werden die Isotopenanalysen der Probenahmekampagnen vom 10./ 11.04. (Standwasserproben der Messtellen, Bötzsee- u. Straus-

seewasserproben) und 09./13.08.2019 (repräsentative Grundwasser-, Bötzsee- und Strausseeproben) in $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$-Plotts dargestellt. Alle Grundwasserproben, welche keinem Verdunstungseinfluss unterliegen, liegen auf der Global Meteoric Water Line, GMWL, schwarze Linie ($\delta^{2}H=8{,}13*\delta^{18}O+10{,}8$).

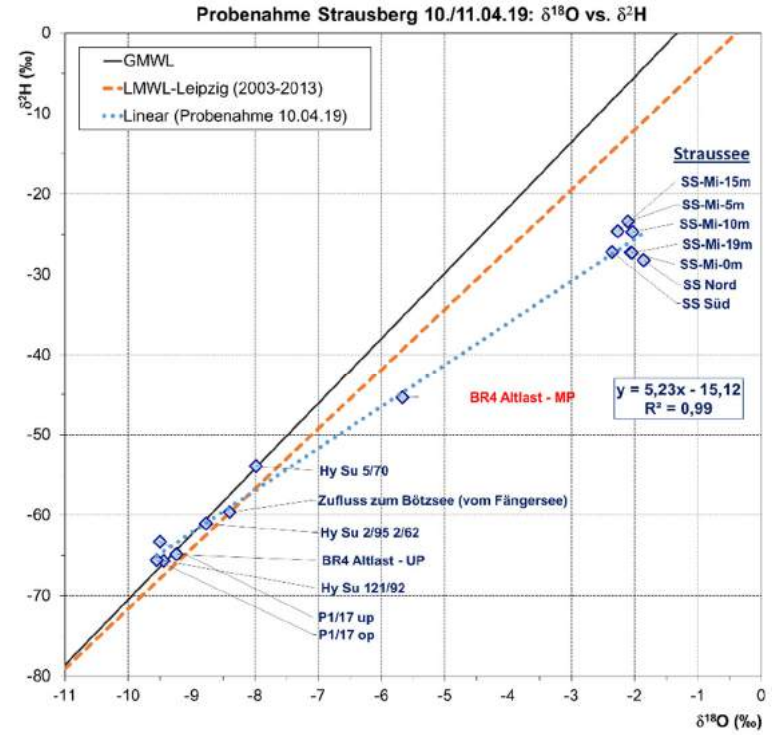


Abbildung 2-30: $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$-Stabilisotopenverhältnisse aller Proben der Probenahmekampagne 10./11.04.19

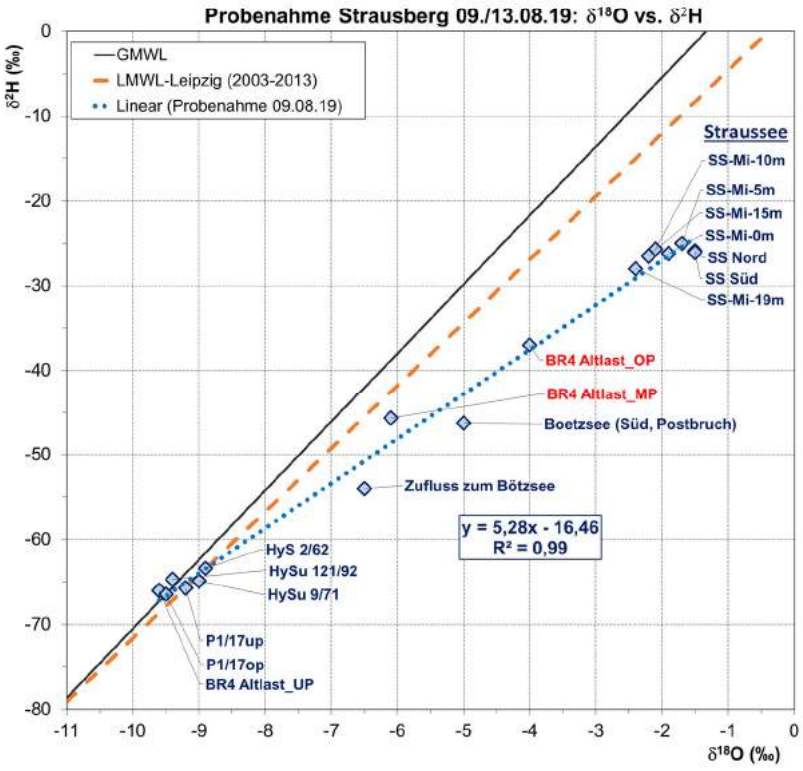


Abbildung 2-31: $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$-Stabilisotopenverhältnisse aller Proben der Probenahmekampagne 09./13.08.19

In den Abbildung 2-30 und Abbildung 2-31 ist jeweils die Lokale Meteorische Wasserlinie für die Niederschlagsstation Leipzig (LMWL) dargestellt (orange gestrichelte Linie). Bei beiden Probenahmezeitpunkten konnte ein deutlicher Unterschied zwischen Grundwasserproben und Wasserproben des Straussees festgestellt werden. Da letztere deutlich unterhalb von GMWL und LMWL plotten, ist dies als starkes Indiz für einen Verdunstungseinfluss anzusehen. Es kann eine typische ‚Evaporation Line' (Regressionsgerade über alle Analysedaten, δ^2H =5,3 $\delta^{18}O$-16,5) geplottet werden (blau gepunktete Linie).

Weiterhin auffällig sind die Isotopenverhältnisse der Wasserproben der Grundwassermessstelle BR4_Altlast. Die Messstelle verfügt über drei Messstellenrohre mit Filterbereichen in 17 m u GOK (_OP), 41 m u GOK (_MP) und 69 m uGOK (_UP). Bereits bei der Frühjahrsbeprobung (Abbildung 2-30 und Abbildung 2-31 links) unterschied sich das Standwasser von BR4_Altlast-MP deutlich von den Grundwasser-typischen Isotopensignaturen der Wasserproben. Der Verdacht eines anteiligen Zustromes von verdunstungsgeprägtem Oberflächenwasser bestätigte sich bei der Sommerbeprobung (Abbildung 2-30 und Abbildung 2-31 rechts), hier plotteten die Isotopenverhältnisse der Wasserproben BR4_Altlast-OP und BR4_Altlast-MP auf der ‚Evaporation Line' zwischen Strausee-Proben und Grundwasserproben. Lediglich die Wasserprobe von BR4_Altlast-UP zeigten keinen Einfluss von Oberflächenwasser und damit eine für Grundwasser typischen Isotopensignatur. An dieser Stelle sei angemerkt, dass ein Zustrom von (verdunstungsbeeinflusstem) Oberflächenwasser nicht nur vom Straussee kommen kann, sondern auch durch eine mangelhafte Tondichtung der Messstelle. Um diesen Verdacht auszuschließen, wäre eine Funktionsprüfung der Messstelle sinnvoll. Alternativ könnte zum Jahresende eine weitere Schöpfprobenahme der BR4-Altlast-Messstellen vorgenommen werden. Der Verdunstungseinfluss (Wasseranteile mit positiveren/ schwereren Isotopensignaturen) sollte im Winterhalbjahr deutlich geringer sein als im Sommerhalbjahr.

Die Tiefenprofile für δ^2H (Abbildung 2-32) indizieren für die Frühjahrsbeprobung eine Durchmischung der δ^2H-Signaturen, für die Sommerbeprobung in der Nähe des Seebodens leichtere (negativere) δ^2H-Verhältnisse und damit einen etwas geringeren Verdunstungseinfluss. Dies ist ebenfalls wieder ein Hinweis auf die Sommerstagnation im See. An der Oberfläche des Straussees wurden dabei im April etwas leichtere (negativere) δ^2H-Werte analysiert, was möglicherweise auf eine oberflächliche Einmischung des Seewasser-Zuflusses zurückgeführt werden kann. Da der Zufluss zum Straussee im Sommer trocken war, ist dieser Effekt kaum sichtbar.

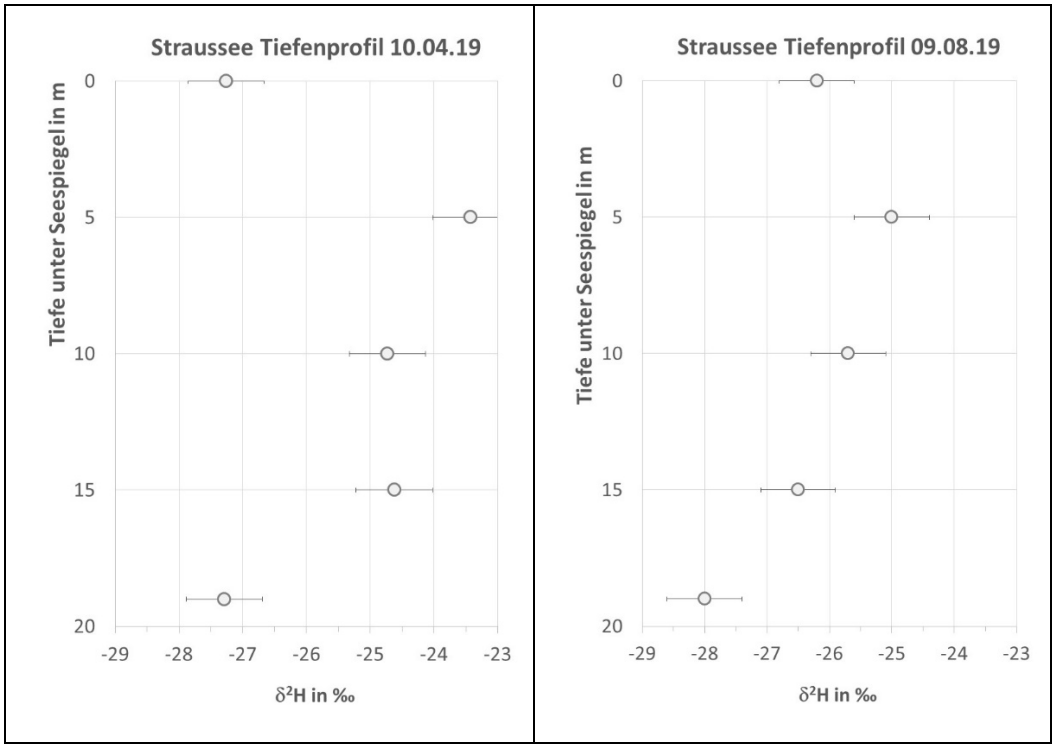


Abbildung 2-32: δ^2H- Tiefenprofil im Straussee am 10.04. und 09.08.2019

Abbildung 2-33 enthält einen Vergleich der zwischen April und Oktober 2019 analysierten δ^2H-Isotopenverhältnisse im Zuflusswasser des Bötzsees sowie des Wassers aus dem Straussee mit dem δ^2H-Jahresgang des lokalen Niederschlages (Station Leipzig, Datengrundlage Global Network of Isotopes in Precipitation GNIP, https://www.iaea.org/services/networks/gnip). Während die Isotopensignaturen der Wasserproben aus dem Zufluss des Bötzsees dem typischen (temperatur- bzw. saisonabhängigem) Jahresgang des Niederschlages folgen, ist dies im Straussee nicht zu erkennen. Die deutlich schwereren, konstanten Isotopensignaturen indizieren, dass es keinen Abfluss des Wassers gibt und die Verdunstung des bestehenden Wasserreservoirs schon über sehr lange Zeit fortgesetzt wird. Zudem erhält der Straussee in den Sommermonaten keinen Oberflächenwasserzustrom.

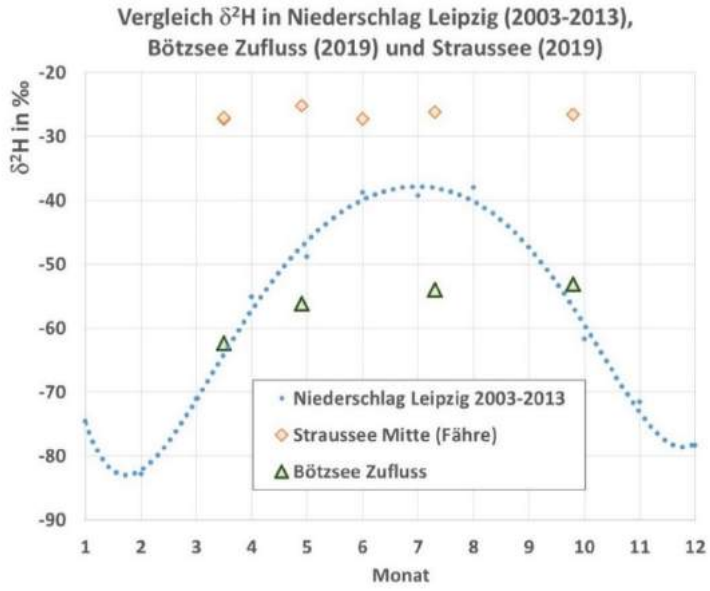


Abbildung 2-33: Vergleich der δ^2H-Isotopenverhältnisse von Straussee und Bötzsee (Zufluss) mit dem typischen saisonalen Gang des Niederschlages, Station Leipzig

Durch eine Analyse der Zustromwassers von Bötzsee und Straussee am 24.10.2019 (Abbildung 2-34) wird zudem offenbar, dass der Straussee bereits von stark durch Verdunstung geprägtem Wasser gespeist wird, welche dieses auf dem Weg durch zahlreiche vorgelagerte Seen erfährt. Dieser Effekt ist im Zustromwasser des Bötzsees weniger stark ausgeprägt. In letzterem dominiert offenbar eine Speisung durch Grundwasser mit isotopisch leichterer (negativerer) δ^2H-Signatur als im Zustromwasser.

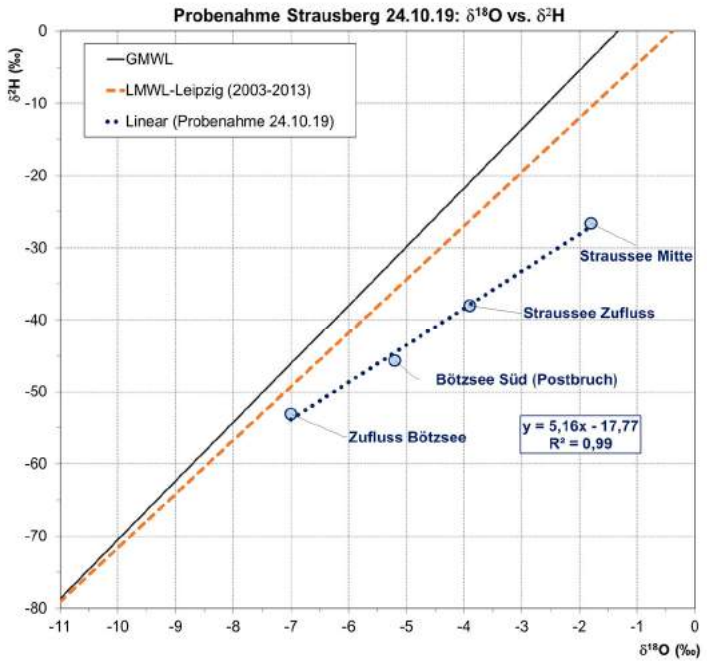


Abbildung 2-34: δ^2H-Isotopensignaturen von Seewasserund Zustromwasserproben von Bötzsee und Straussee, Probenahme 24.10.2019

Weitere Analysen

Von ausgewählten Wasserproben der Probenahmekampagne vom 09.08. wurden Kationen (Abbildung 2-35 oben) analysiert. Dabei fielen besonders die Unterschiede der Calcium-Konzentrationen zwischen den Wasserproben der Grundwassermesstellen (70 – 100 mg Ca/L) und denen des Straussees (50 – 70 mg/L) auf. Da sich die pH-Werte der analysierten Proben genau gegenläufig verhalten (Straussee-Proben pH > 8, Grundwasserproben pH < 7,5, Abbildung 2-35 unten), ist ein weiteres Indiz für einen langzeitig wirkenden Verdunstungsprozess im Straussee. Durch eine Entgasung von gelöster Kohlensäure während der Verdunstung erhöht sich der pH-Wert über den Gleichgewichts-pH-Wert von Calcit ($CaCO_3$, pH 7,5), so dass dieses aus dem Seewasser ausfällt und damit zu niedrigeren Calciumkonzentrationen führt. In der Probe BR4_Altlast-UP wurden stark reduzierende Milieubedingungen (O_2=0,19 mg/L, Eh=-39mV, C(SO_4)=7 mg/L) festgestellt. Infolge einer Sulfatreduktion werden Hydroxylionen freigesetzt. Damit ist der pH-Wert des Grundwassers über pH 7,5 gestiegen, was wiederum eine Ausfällung von $CaCO_3$ mit sich bringt.

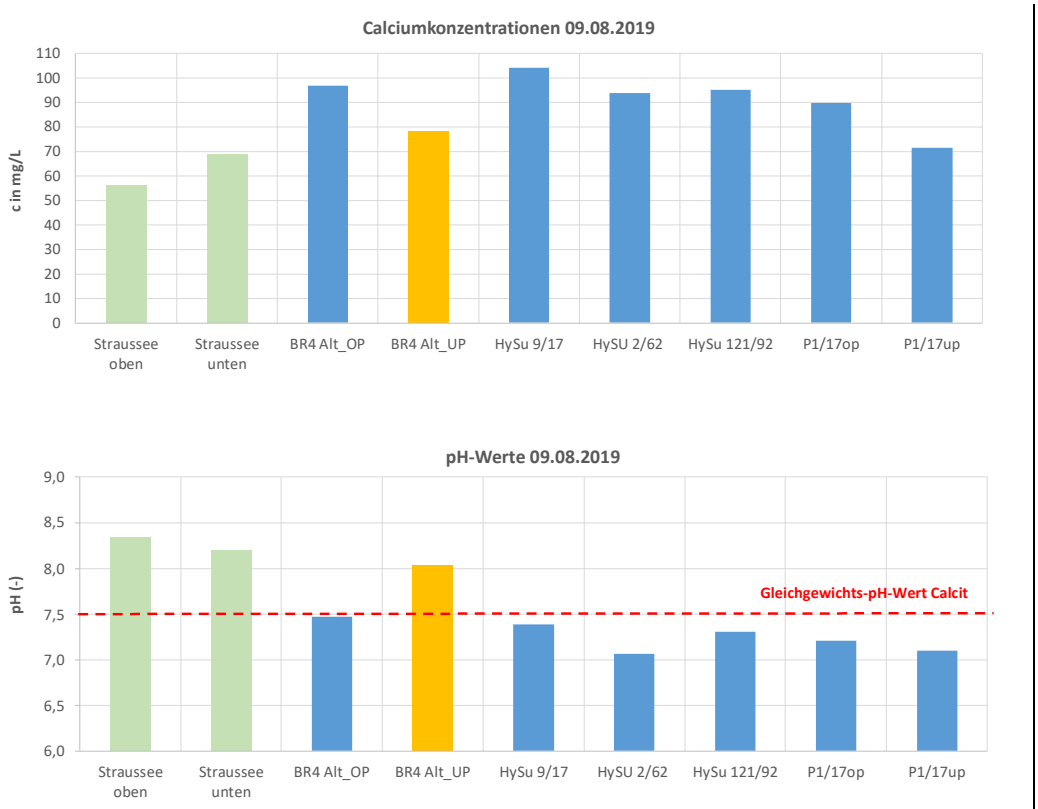


Abbildung 2-35: Vergleich von Calcium-Konzentrationen und pH-Werten ausgewählter Grundwasser- und Straussee-Wasserproben, Probenahme 09.08.19

Um eine Vorstellung zur hydraulischen Durchlässigkeit des Seebodens vom Straussee zu erlangen, wurden während der Probenahmekampagne am 09.08.19 Sedimentproben gewonnen. Diese wurden etwa von der Mitte des Straussees mit einem Sedimentstecher von einem Boot aus gewonnen. Die Abbildung 2-36 zeigt Fotos des erbohrten, stark organischen Materials. Von den beiden linken Proben wurde in einem Darcy-Versuch mit fallender Standrohrspiegelhöhe ein K-Wert von K10°C= $2{,}8*10^{-10}$ m/s ermittelt. Im Bereich der organischen Sedimentablagerungen ist der Seeboden des Straussees damit als undurchlässig zu betrachten.

Abbildung 2-36: Sedimentproben vom Seeboden aus der Mitte des Straussees, Probenahme 09.08.2019

3 Aufbau und Kalibrierung des Modells (Meilenstein 2)

3.1 Modellraum

Die Festlegung des Betrachtungsraums (ca. 340 km²) erfolgte auf Grundlage der Ergebnisse zur Einzugsgebietsermittlung und stellt das in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Rechteck dar. Die Anwendung des Strömungsmodells erfolgt dann für ein Teilgebiet dieses Betrachtungsraums, das sich an den geohydraulischen Gegebenheiten der Grundwasserströmung orientiert.

Abbildung 3-1: Lage des Betrachtungsraums (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

Die Oberkante des Hydrogeologischen Strukturmodells (HSM) und damit die Geländeoberkante entspricht der in Kap. 2.1.2 und 2.1.2 beschriebenen Topografie. Die Bathymetrie des Straussees wurde anhand der vorhandenen Lotungen in [26] in dieses DGM eingebettet.

Die eiszeitlichen Schmelzwasserrinnen lassen sich in der Topografie deutlich erkennen. Diese haben durch eine Abfolge von Seen und Fließgewässern kettenartige Gewässerstrukturen gebildet. Liegen die Rinnen tief genug, so entstehen kleinere Fließgewässer, die das Grundwasser drainieren können (Abbildung 3-12).

3.2 Geologisches Strukturmodell

3.2.1 Grundlagen des HGSM

Vorgehensweise

Die Modellbildung erfolgte in den folgenden Arbeitsschritten:

- Sichtung der vorliegenden hydrogeologischen Expertisen / Gutachten / Modelle
- Aufbau eines gesamt – Bohrkatasters der vorliegenden / bereitgestellten bzw. nachrecherchierten Aufschlussdaten im Bearbeitungsgebiet
- Festlegung eines geeigneten Modellraums auf Grundlage der Einzugsgebietsermittlung (Meilenstein 1)
- vertikale Strukturierung des hydrogeologischen Modells (hydrogeol. Einheiten / Normalprofil)
- Erarbeitung der Stützpunktdaten für die auszuhaltenden hydrogeol. Einheiten
- Ausmodellierung der hydrogeol. Einheiten

Geologie

Die geologischen Gegebenheiten und Schichtfolgen wurden im Kapitel 2.3 erläutert und tabellarisch dargestellt.

Bohrkataster / Aufschlussbestand

Der Aufschlussbestand aus den verschiedenen Untersuchungskampagnen seit 1970 wurde in einer GeODin-Datenbank zusammengeführt. Das Bohrkataster ist als heterogen zu bezeichnen. Das Umfeld der Seen / Wasserwerke ist vergleichsweise dicht erkundet, in den Außenbereichen des Modellraums sinkt die Bohrungsdichte (insbesondere tiefere Bohrungen betreffend) stark ab.

Insgesamt wurden knapp 570 Bohrungen verwendet, wobei ca. 280 Aufschlüsse nur den obersten Grundwasserleiter / Stauer – Komplex erschließen. Die tieferen hydrogeologischen Einheiten bis zur Modellbasis werden nur durch etwa 100 Bohrungen erreicht.

Der Lageplan auf der Folgeseite visualisiert den Bohrungsbestand in seiner Verteilung im Modellgebiet.

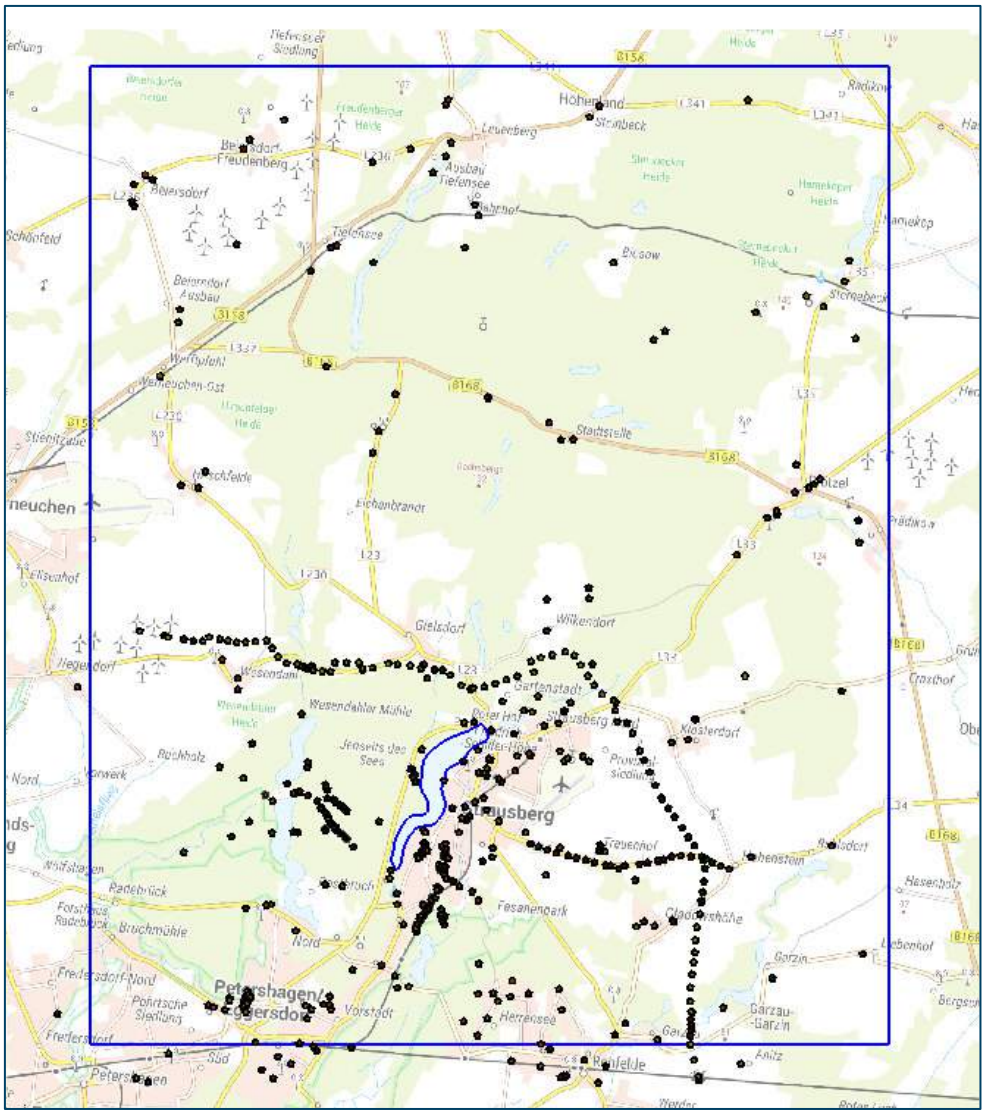


Abbildung 3-2: Aufschlussdaten – Lageplan der Bohransatzpunkte im Betrachtungsraum (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

3.2.2 Modellerstellung

Lagekoordinaten

Die Koordinaten der Bohrungen stammen aus den historischen Einmessungen, bei als Grundwassermessstellen ausgebauten Bohrungen aus deren Vermessung. Lagefehler sind auch durch die Kontextanalyse nicht komplett auszuschließen.

Schichtdatensätze

Die zum Teil stark differierende vertikale Auflösung in den Schichtenverzeichnissen verursacht prinzipiell Schwierigkeiten bei der Stratifizierung und der Schichtkorrelation. Je nach Bearbeiter, technischer Durchführung und Verwendungszweck der Bohrung liegen hier unterschiedlich fein petrografisch strukturierte Schichtbeschreibungen vor.

Die Schichtenverzeichnisse variieren zwischen detailliert beschriebenen, im cm-Bereich aufgelösten Schichten und über mehrere Meter zusammengefasste bzw. lediglich über die Korngrößenbezeichnung angesprochene Lithologie der Schichten (Spül-, Schappen- oder Kohlebohrungen). Eine einheitliche Stratifizierung auf das Normalprofil lag nicht vor. Daher wurden die Hauptbestandteile für die weitere Bearbeitung verwendet, wobei besonderer Wert auf die Identifizierung des Geschiebemergels gelegt wurde.

Ableitung der Schichtflächen hydrogeologischer Einheiten

Wie oben beschrieben, wurden die Ausgangsdaten für die Erstellung des hydrostratigraphischen Bohrkatasters in einer GeODin-Datenbank von insgesamt ca. 570 Bohrungen angelegt.

GeODin ist ein weit verbreitetes Verwaltungsprogramm für Bohrdaten, das unter anderem die Erstellung von Bohrlageplänen, DIN-gerechten georeferenzierten Profilschnitten und Schichtenverzeichnissen ermöglicht sowie eine Reihe von Analysefunktionen beinhaltet.

Die Modellierung der Basislagen der einzelnen hydrostratigraphischen Horizonte erfolgte zunächst in GMS (Groundwater Modeling System). Hierbei werden sog. Dreiecksnetze (Tins) angelegt, die anhand der relevanten Schichtwechsel in den einzelnen Bohrstäbchen gebildet werden. Hierbei werden zunächst die Bohrungen vernetzt, deren Stratifizierung in Bezug zu den zu bildenden hydrogeologischen Einheiten auf Grundlage der bisherigen Bearbeitungen (siehe Quellenverzeichnis) als abgesichert gelten können.

Eine eigenständige Verbreitungskartierung erfolgte aufgrund der örtlichen hydrogeologischen Situation nicht. Die eiszeitlichen Störungs- und Stauchungszonen lassen sich wegen der geringen Aufschlussdichte im nördlichen Modellraum nicht abgesichert aushalten. Somit werden hydraulische Kopplungen durch Ausfall der Stauhorizonte zwischen GWLK 1 und 2 auf der Ebene des Strömungsmodells durch die Parameterwahl für die hydraulischen Durchlässigkeiten angepasst.

Die Schichtflächendaten stehen als Isolinien und xyz-Datensatz für jede hydrogeologische Einheit zur Verfügung.

Mächtigkeitsdarstellungen wurden über die Verschneidung von genetisch aufeinander folgenden Schichtflächenunterkanten gegeneinander generiert.

Dieser Verschneidungsprozess führt zu Verbreitungsgrenzen auf Grundlage einer Beschneidung, nicht aber auf hydrogeologisch interpretierter Grundlage der Aufschlussdaten.

Die Verschneidung des oberen GWL mit der Geländeoberkante ergibt ebenfalls ein differenziertes Verbreitungsbild.

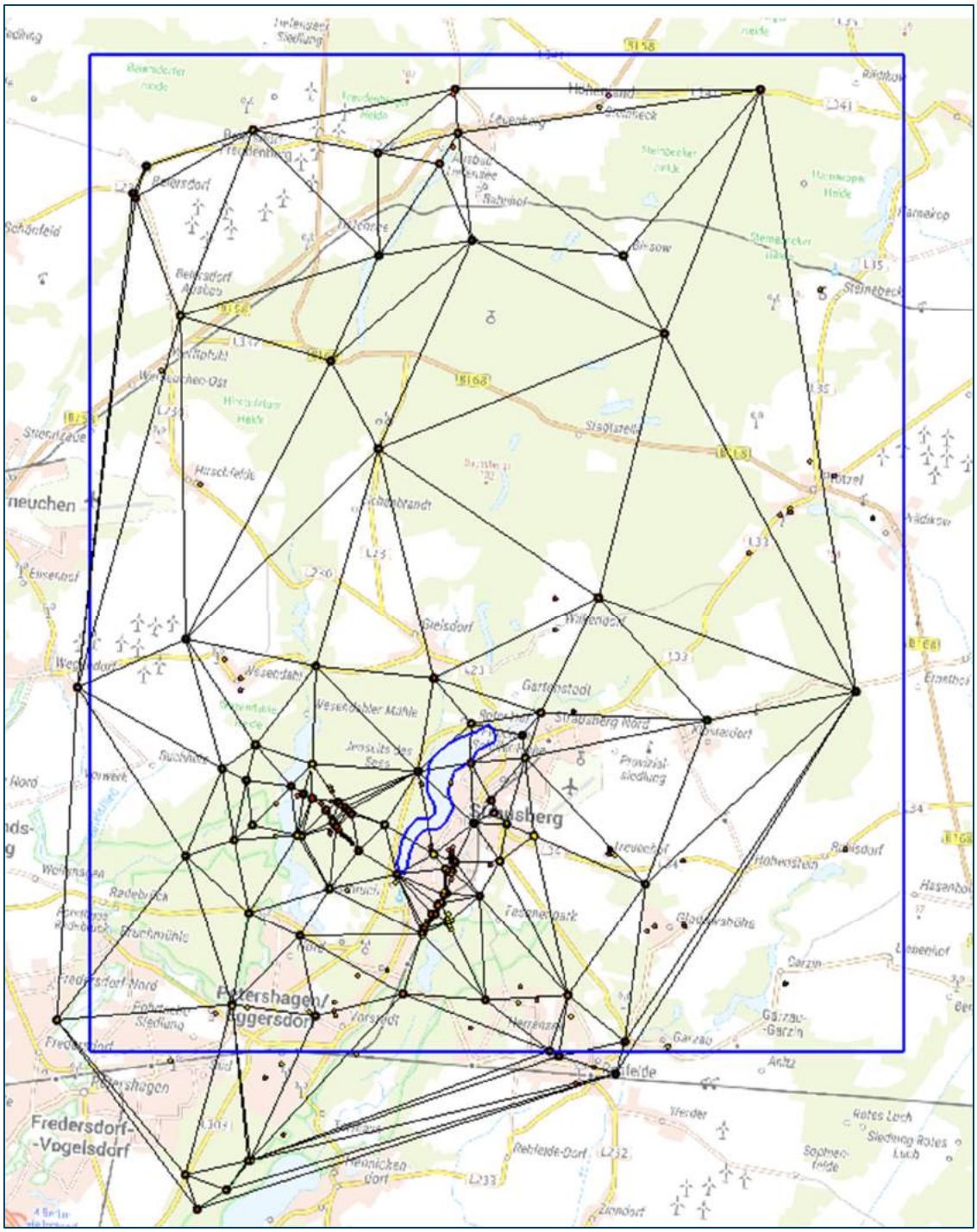


Abbildung 3-3: Dreiecksnetz der Schichtbildung UK GWLK 2 im Kontext der Nachweispunkte (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

Als Stützpunktdaten lagen für die einzelnen hydrogeologischen Einheiten folgende Aufschlussanzahlen vor:

- GWLK 1: 355
- Stauerkomplex 1: 191
- GWLK 2: 91

Hydrogeologische Einheiten / raumerfülltes Modell

Zur weiteren Unterteilung der hydrogeologischen Schichten in lithologische Zonen, wurde die Software Leapfrog Works 3.0® (Seequent Limited, ehemals ARANZ Geo) verwendet. Leapfrog Works ist ein geologisches Modellierungs- und Visualisierungssystem, welches die 3D-Modellierung von geologischen Schichten anhand verschiedener geologischer und hydrogeologischer Datensätze ermöglicht. Besonderes Merkmal von Leapfrog Works ist die Schnittstelle zu FEFLOW und MODFLOW und damit die direkte Überführbarkeit der geologischen Daten in das Grundwassermodell sowie die schnelle Verarbeitung und Visualisierung großer Datenmengen. Leapfrog Works verwendet die „Radial Basis Function“ (RBF) zur Interpolation der eingegangenen Daten.

Die drei hydrogeologischen Einheiten, GWLK 1, Geschiebemergel und GWLK 2 wurden jeweils in die Bodengruppeneinheiten GI, SE, SE(fS), SU, TL und UL, anlehnend an DIN 18196, untergliedert. Für die Untergliederung wurden die lithologischen Ansprachen der Schichtenverzeichnisse herangezogen und den jeweiligen Bodengruppen zugewiesen. Zusätzlich wurden vorhandene geologische Schnitte mit in das Modell integriert (Abbildung 3-4). Daraus resultieren für die hydrogeologischen Einheiten auf Bohrdaten und Querprofilen basierende Parameterbereiche (Abbildung 3-5), die in das Grundwassermodell überführt wurden.

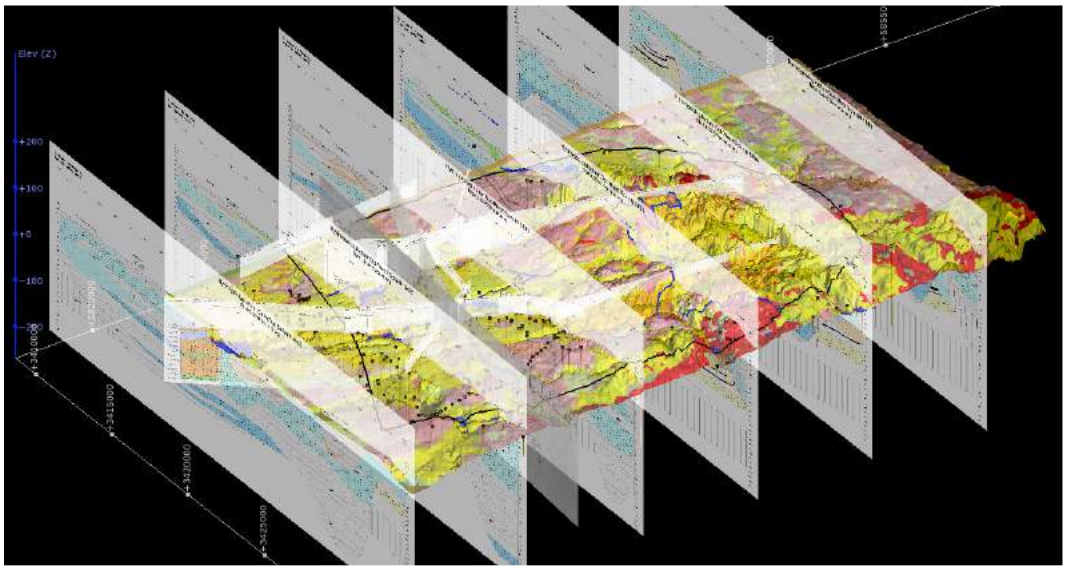


Abbildung 3-4: Verwendete geologische Profile (LBGR, HGN 1999, Hydro1992 und HY 1970)

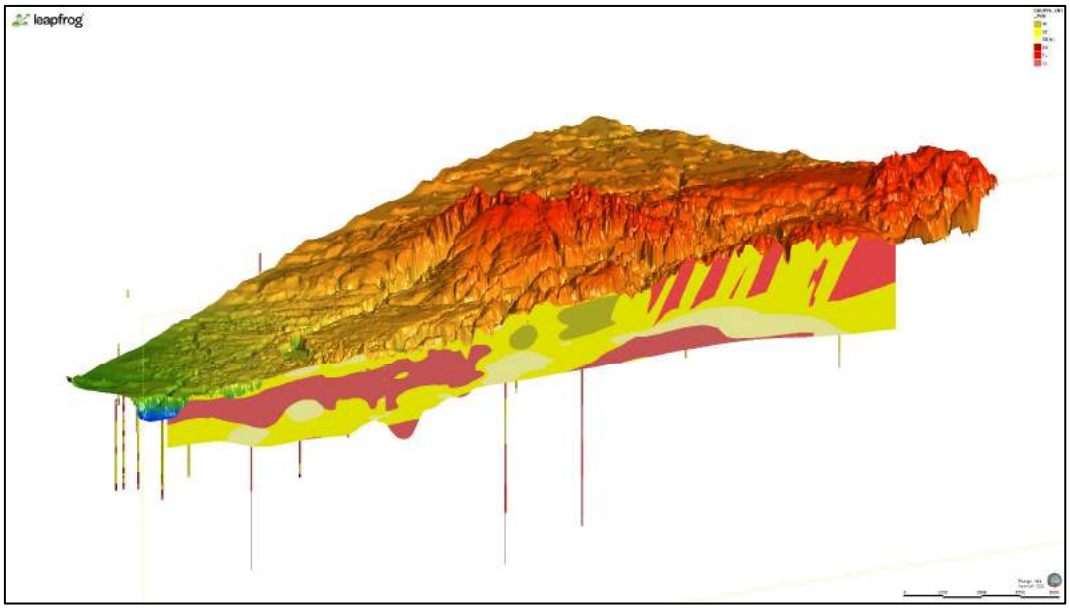


Abbildung 3-5: Längsschnitt von Süd nach Nord durch den Straussee mit Bodengruppenbereichen

Zur Anschauung sind die folgenden drei Profilschnitte durch den geologischen Modellraum abgebildet. Diese zeigen den generellen Aufbau des Modellgebiets aus einem oberen Grundwasserleiterkomplex (GWLK 1) der durch den geringleitenden Geschiebemergel vom unteren Grundwasserleiterkomplex (GWLK 2) getrennt ist. Zu sehen ist außerdem, dass beispielsweise der GWLK 2 aus unterschiedlichen Bodengruppenbereichen aufgebaut ist, u. a. kiesige, sandige oder feinsandige Bereiche. Darüber hinaus wird der Grundwasserspiegel von 2011 in den Schnitten dargestellt.

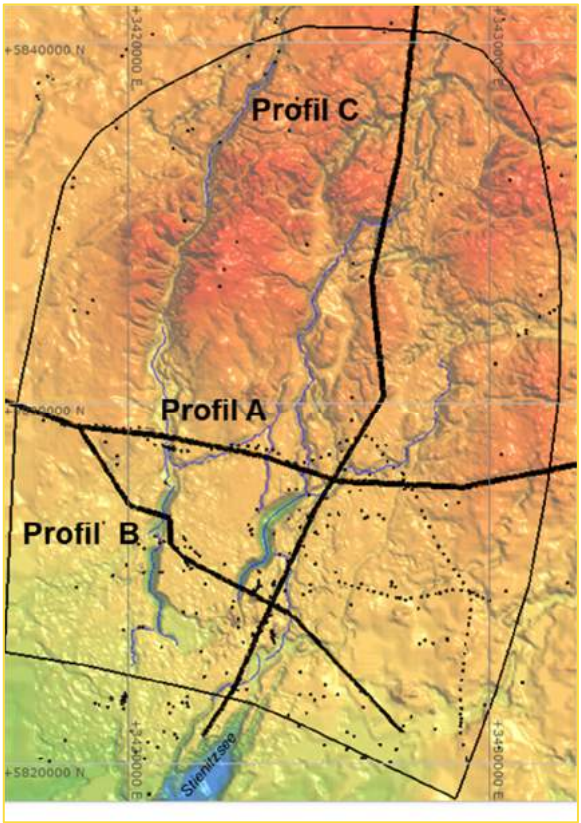


Abbildung 3-6: Lage der geologischen Profilschnitte im Modellgebiet

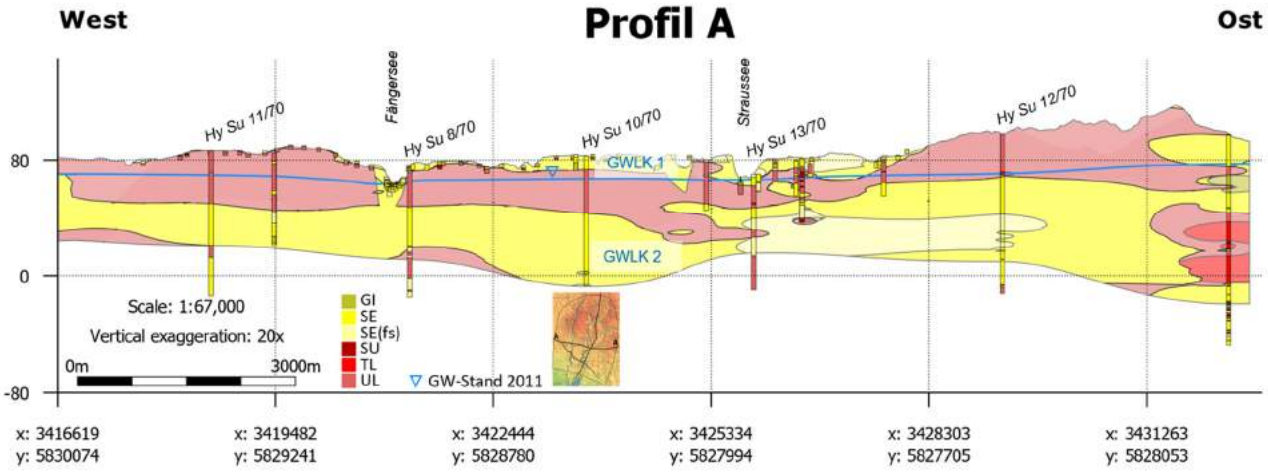


Abbildung 3-7: Geologisches Querprofil von West nach Ost durch den Fängersee und Straussee

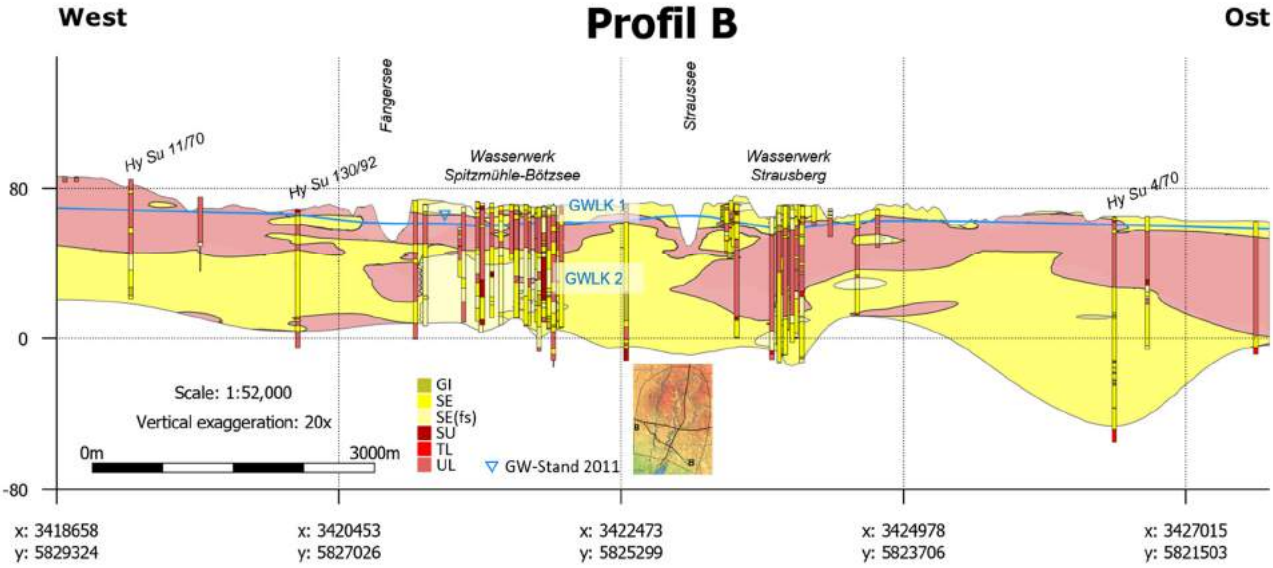


Abbildung 3-8: Geologisches Querprofil von West nach Ost durch den Fängersee, Straussee sowie die Wasserwerke

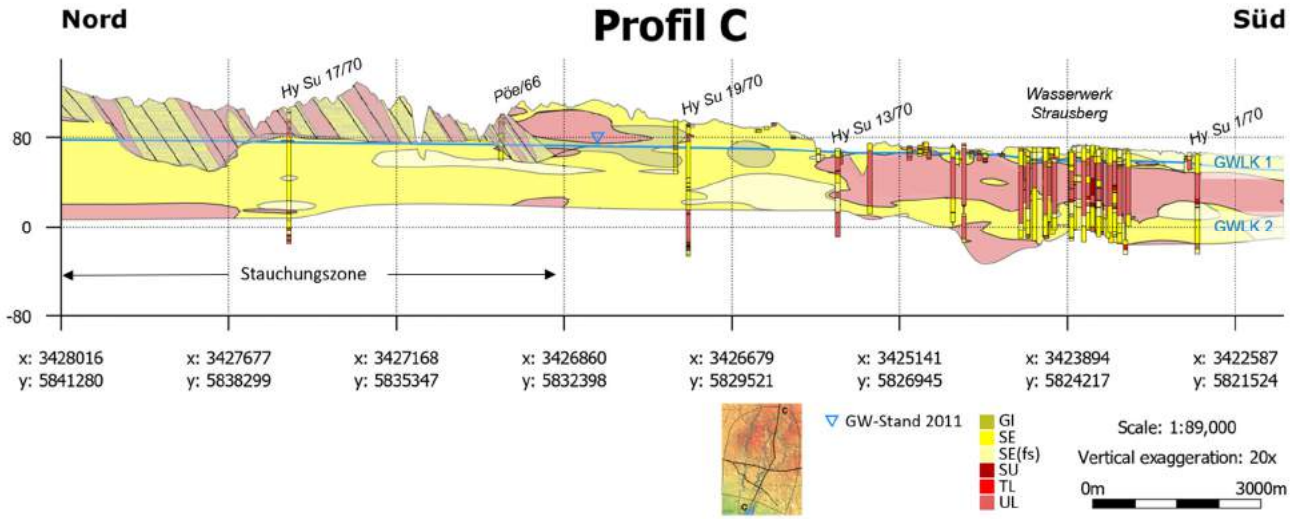


Abbildung 3-9: Geologisches Längsprofil von Nord nach Süd durch den Bereich der Stauchungszone und des Wasserwerks Strausberg

3.3 Aufbau des Strömungsmodells

Für den Modellaufbau und die Kalibrierung wurde das Modellsystem MIKE SHE von DHI WASY verwendet. MIKE SHE ist ein rasterbasiertes Wasserhaushaltsmodell, das alle Kompartimente des Wasserkreislaufs physikalisch berechnen kann. Dabei ist eine Stärke des Modells die hohe zeitliche und räumliche Auflösung.

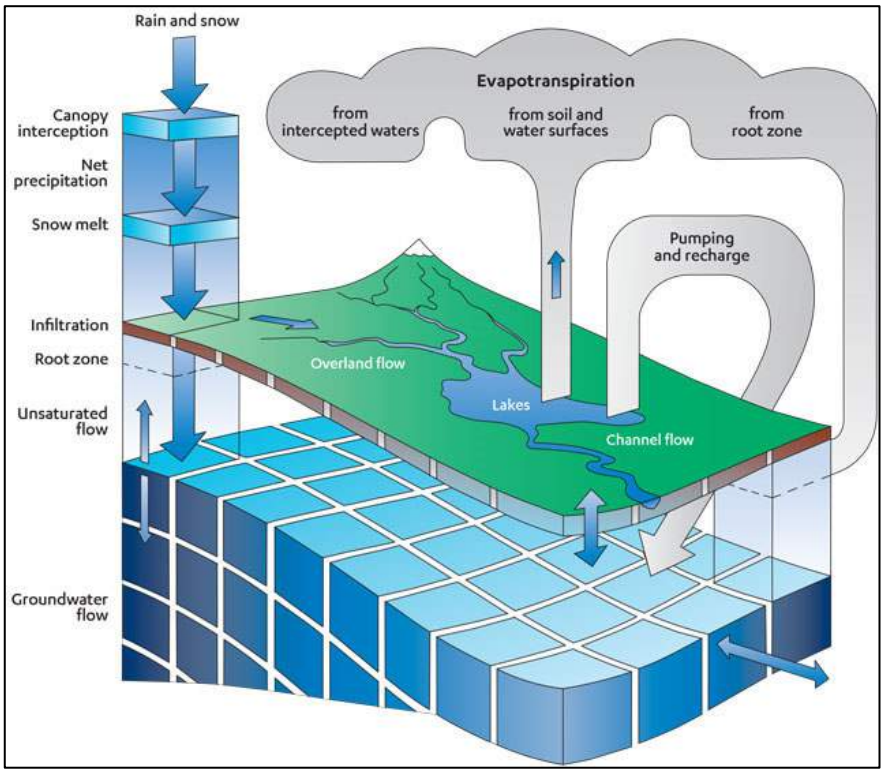


Abbildung 3-10: Modellsystem MIKE SHE mit Beschreibung der berechenbaren Wasserhaushaltskomponenten

Ein weiterer großer Vorteil des integrierten Modellsystems besteht darin, dass das Grundwasser hier als Teil des Wasserhaushalts verstanden wird und somit eine direkte Verbindung zwischen dem Grundwasser und den hydrologischen Komponenten erfolgt. Dies bedeutet, dass bei der Verwendung von MIKE SHE keine zusätzliche Kopplung (Übergabe von Austauschgrößen) zweier separater Modelle erfolgt. Im Folgenden wird kurz auf den Berechnungsansatz eingegangen:

Tabelle 3-1: Berechnungsansätze in MIKE SHE

Prozess	Numerischer Ansatz
Niederschlag	1-dimensional (Zeitreihen) oder räumlich zeitlich (z. B. Niederschlagsradar)
Schneeschmelze	Tag-Grad-Verfahren
Oberflächenabfluss	2-dimensional mit der Flachwassergleichung als Diffusive Welle 1-dimensional Saint-Venant-Gleichungen
Infiltration und ungesättigte Bodenzone	1-dimensional Richards-Gleichung
Aktuelle Transpiration und Evaporation	Kristensen & Jensen
Landnutzung, Bewässerung	2- dimensional unter Berücksichtigung des zeitabhängigen Blattflächenindex und der Wurzeltiefe
Gesättigte Zone	3-dimensionale Darcy Gleichung (vgl. MODFLOW); Particle Tracking (Vor- und Rückwärts)
Stofftransport	Advektion-Dispersion für alle Module

MIKE SHE gehört zu den sogenannten „White Box“ Modellen. Dies bedeutet, dass das Programm im Gegensatz zu konzeptionellen Niederschlag-Abfluss-Modellen nahezu physikalisch, d. h. auf realen Prozessen basierend, rechnet. MIKE SHE ist ein anerkanntes Modellsystem, das seit 50 Jahren existiert und kontinuierlich weiterentwickelt wird. Entsprechend häufig wurde es in zahlreichen Projekten erfolgreich genutzt. Das Programm ist auch in der Lage, Oberflächenabflüsse räumlich verteilt mit einem Diffuse-Wellen-Ansatz der Flachwassergleichung zu berechnen. Dadurch kann für die hydrologischen Berechnungen eine zusätzliche Kopplung (Übergabe von Austauschgrößen) zweier separater Modelle vermieden werden.

3.3.1 Modellraum

Modellumgriff

Die Abgrenzung des Modellgebietes erfolgte auf Grundlage des unterirdischen Einzugsgebiets, dass das oberirdische Einzugsgebiet weitgehend abdeckt. An den westlichen und südlichen Rand, sowie im Abstrombereich wurde es vergrößert, um den Einfluss der Wasserwerke ausreichend abbilden zu können. Außerdem ist es modelltechnisch notwendig, die Randbedingungen so weit entfernt anzusetzen, dass diese den Vorhersagebereich nicht beeinflussen. Für die Abgrenzung des Modellgebietes wurden die Grundwassergleichenpläne der Stichtagsmessungen von 1993 (ungefähr mittlere Verhältnisse) und 2011 (etwas höhere Grundwasserstände) herangezogen. Die Grundwasserscheide im Bereich Höhenland bildet die nördliche Abgrenzung des Grundwassermodellgebietes. Im Osten und Westen wurden die Modellgebietsgrenzen senkrecht der Potentiallinien als Trennstromlinien konstruiert, sodass ein ausreichend großer Abstand zum

Straussee und den Wasserwerken gewährleistet ist. Die Westgrenze liegt im Bereich Werneuchen und die Ostgrenze verläuft durch Prenzel und Treuenhof. Die südliche Modellgrenze verläuft parallel der Grundwassergleichen von ca. 53 – 54 m NN (Stichtagsmessung Februar 1993) und bildet den Abstrom aus dem Modellgebiet. Das Modellgebiet ist der Abbildung 3-11 zu entnehmen. Es umfasst eine Fläche von 255 km².

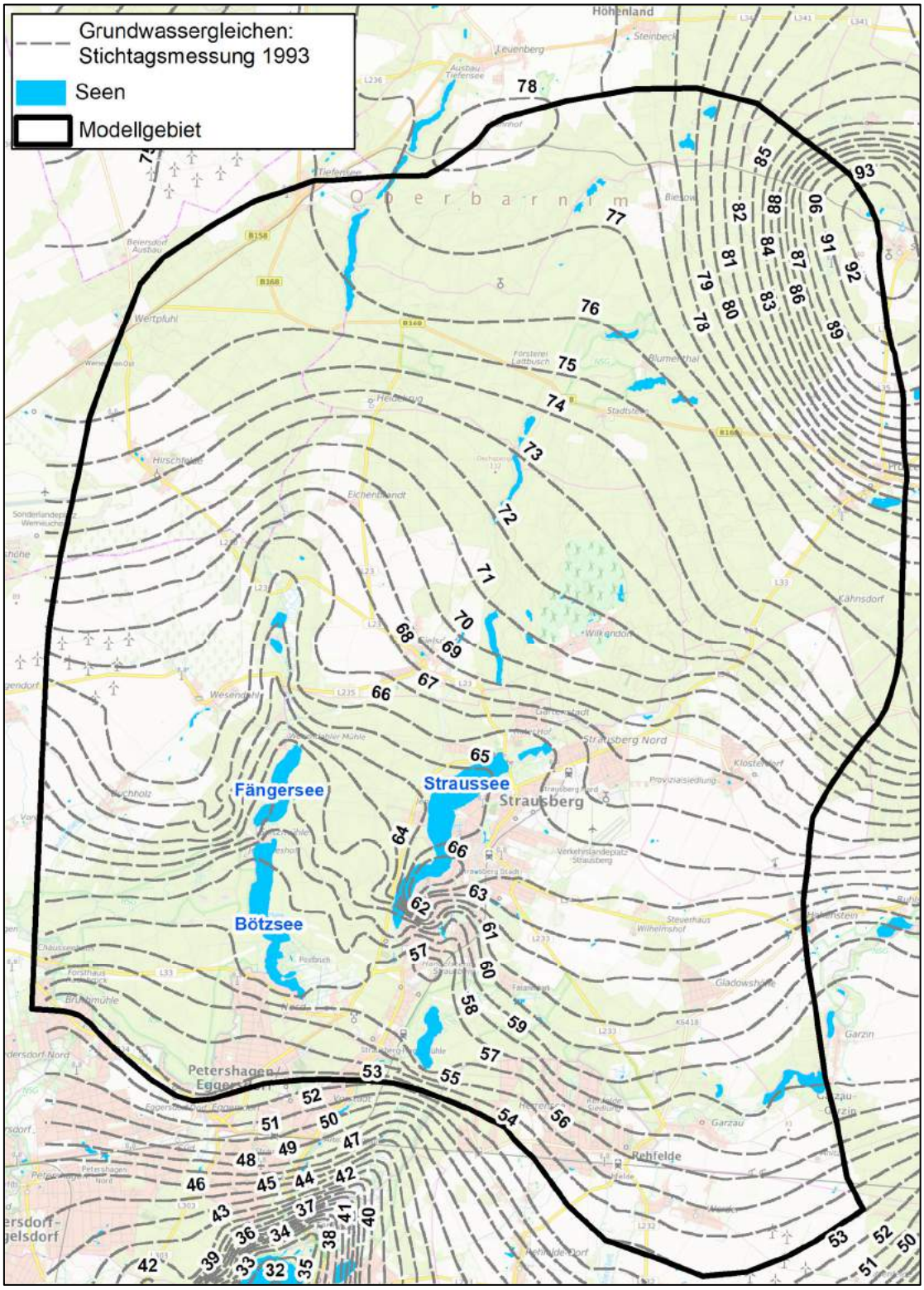


Abbildung 3-11: Abgrenzung des Grundwassermodellgebiets auf Grundlage der Grundwassergleichen von 1993 (Quelle: LfU Brandenburg)

Topografie

Für die hydrologischen Berechnungen wurde das DGM10 (10x10 m Auflösung) mit einem DGM25 (25x25 m Auflösung) kombiniert (Abbildung 3-12).

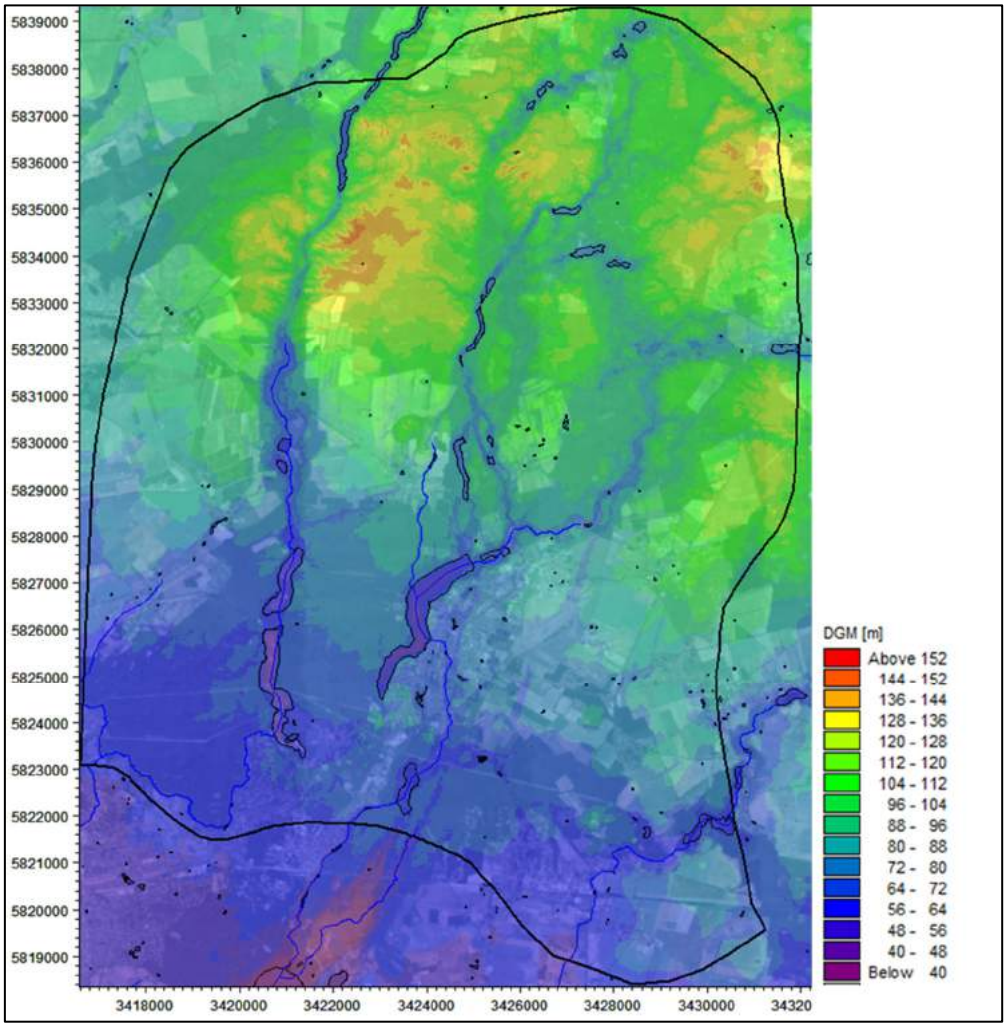


Abbildung 3-12: Geländeoberkante auf Basis des digitalen Geländemodells mit Darstellung des Modellumgriffs

Modelldiskretisierung

Die horizontale Modelldiskretisierung erfolgt mit Rasterdaten, die alle mit einer Auflösung vom 10 m Rasterelementgröße im Modell hinterlegt sind. Die hier durchgeführten Berechnungen erfolgen mit einer aggregierten 100 m Rasterelementgröße. Der Vorteil der hochausgelösten Eingangsdaten besteht darin, dass das Modell zu einem späteren Zeitpunkt mit höher aufgelösten Daten rechnen kann, um beispielsweise Detailfragestellungen zu beantworten.

Die vertikale Modelldiskretisierung der Grundwasserkomponenten erfolgte auf Grundlage des hydrogeologischen Strukturmodells (siehe Kapitel 3.2).

Die vertikale Modelldiskretisierung der ungesättigten Zone erfolgt tiefenabhängig gestaffelt in folgenden Intervallen:

Tabelle 3-2: Vertikale Modelldiskretisierung in der ungesättigten Zone

Anzahl Berechnungsschichten	Schichtdicke [m]	Tiefe [m]
4	0,25	1,0
2	0,50	2,0
3	1,00	5,0
2	5,00	15,0
5	10,00	65,0

Berechnungszeitraum

Grundsätzlich sind die gesamten Zeitreihen bis Ende 2018 im Modell hinterlegt, so dass das Modell auch für andere Simulationszeiträume genutzt werden kann. Für die hier vorliegende Fragestellung ist der Simulationszeitraum vom 01.09.2009 bis 31.08.2018 gewählt.

3.3.2 Klimatische Eingangsgrößen

Die einzige positive Eingangsgröße für das hydrologische Modell stellt der Niederschlag der Station Strausberg dar, deren Lücken mit den Messwerten der Station Müncheberg gefüllt wurden (vgl. Kap 2.2.3). Die potenzielle Evapotranspiration wird von der DWD Klimastation Manschnow verwendet. Die Seewasserverdunstung wird mithilfe der Dalton Gleichung auf Grundlage der Einzel-Messdaten der Station Manschow berechnet (vgl. Kap 2.2.4 und 2.2.5).

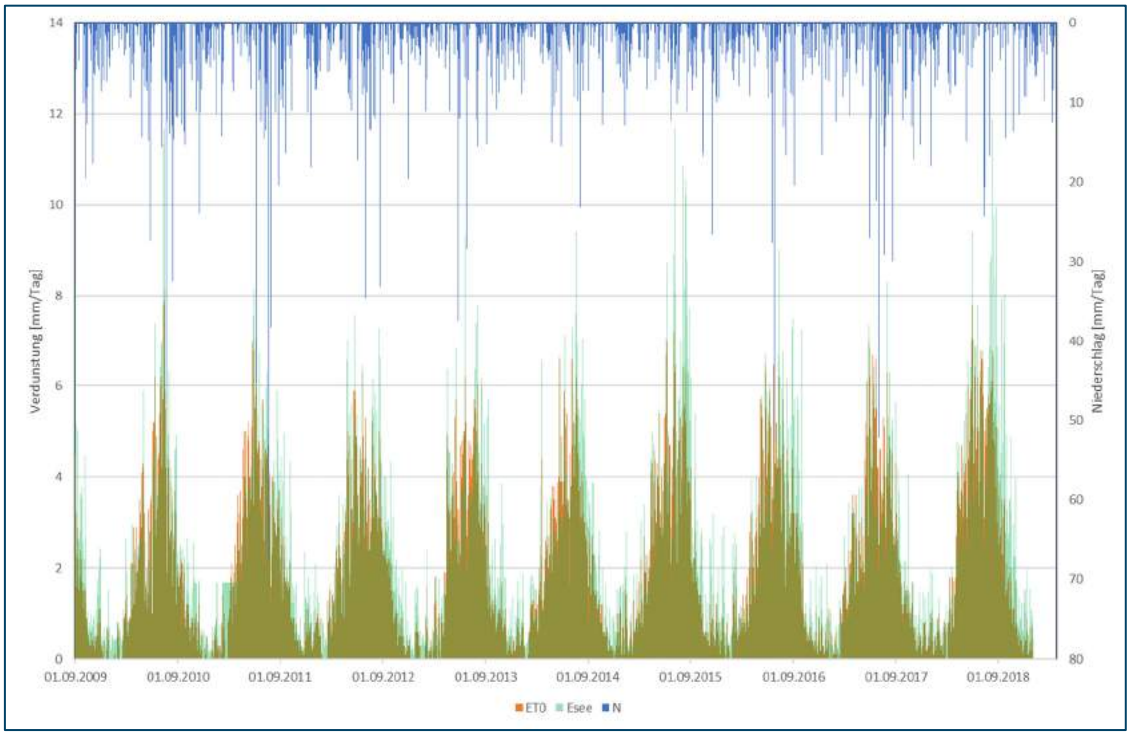


Abbildung 3-13: Klimadaten für den Betrachtungszeitraum

3.3.3 Landnutzung

Anhand der Flächennutzung können vegetationsspezifische Parameter, die für die Berechnung der Interzeption (= Retention von Niederschlag durch Vegetation) notwendig sind, und Versiegelungsgrade abgeleitet werden. Für die vegetationsspezifischen Eingangsdaten (LAI und Wurzeltiefe) werden die auf Monatswerten basierenden WASIM-Zeitreihen verwendet [29].

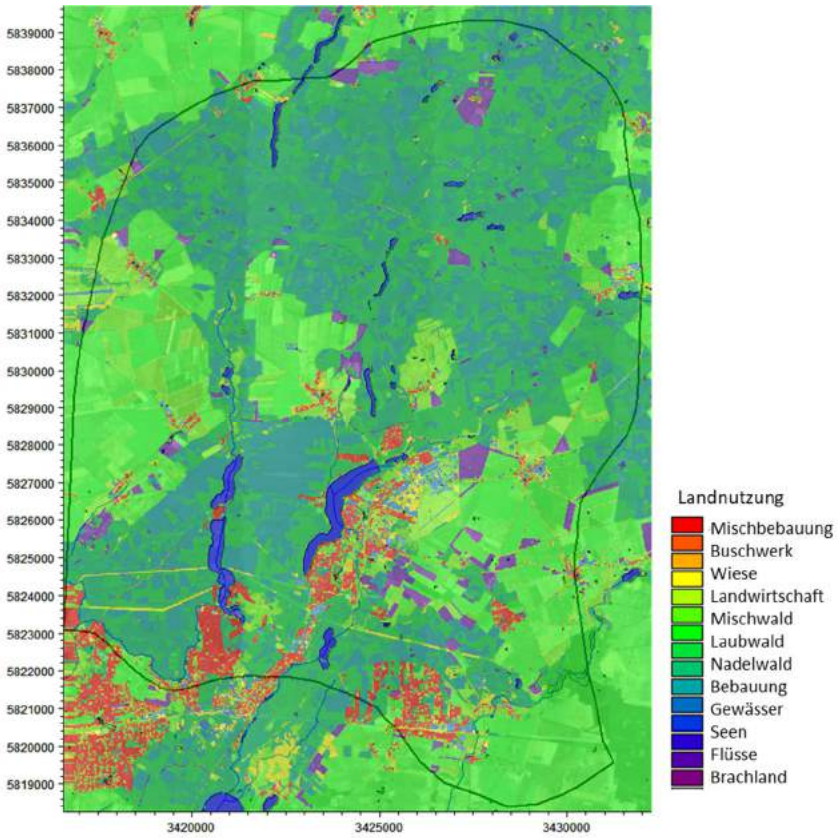


Abbildung 3-14: Im Modell verwendete Landnutzungsklassen

3.3.4 Oberflächenabfluss und Abfluss in Gewässern

Flächiger Abfluss

Wasser, welches beispielsweise durch starke Niederschläge oder Überflutung als Oberflächenwasser in den Berechnungszellen des Modells auftritt, wird mit dem Oberflächenwassermodul berechnet. Der flächige Oberflächenwasserabfluss ist daher für Fragestellungen zur Überflutungsberechnung durch Starkregen oder Siedlungsentwässerung relevant. Da der Fokus hier auf der großräumigen hydrologischen Modellierung liegt, wird der flächige Oberflächenabfluss vereinfacht parametrisiert. Hierzu werden folgende Parameter als konstant angenommen:

- Hydraulischer Widerstand und Rauigkeiten (nach Manning-Strickler) = 3 $m^{1/3}/s$
- Muldenrückhalt = 100 mm

Die Flächenversiegelung wird über einen Leckage an der Geländeoberfläche räumlich parametrisiert, durch den die Infiltration gehemmt (gepflasterte Flächen) oder gänzlich verhindert (asphaltierte Flächen) wird.

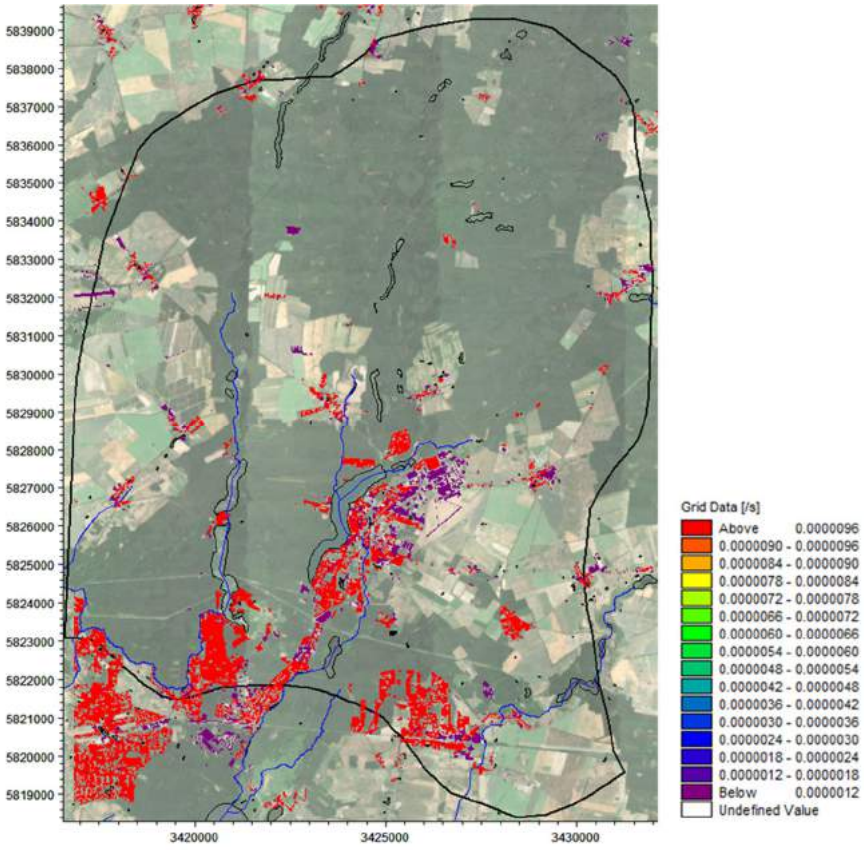


Abbildung 3-15: Leckage-Werte der versiegelten Flächen (Hintergrundkarte Google Earth)

Gewässernetz und Querprofile

Die Hydraulik des Gewässersystems und der Seen werden 1-dimensional berechnet. Die Geometiren werden über Querschnitte definiert, die aus dem DGM abgeleitet wurden. Für kleine Gewässer wurden vereinfachte Dreiecksprofile mit Rauigkeiten von $30 m^{1/3}/s$ angenommen. Aus modelltechnischen Gründen wurden die Gewässerläufe deutlich länger angelegt um das periodische Einsickern von Grundwasser (Hangquellen) besser bewerten zu können.

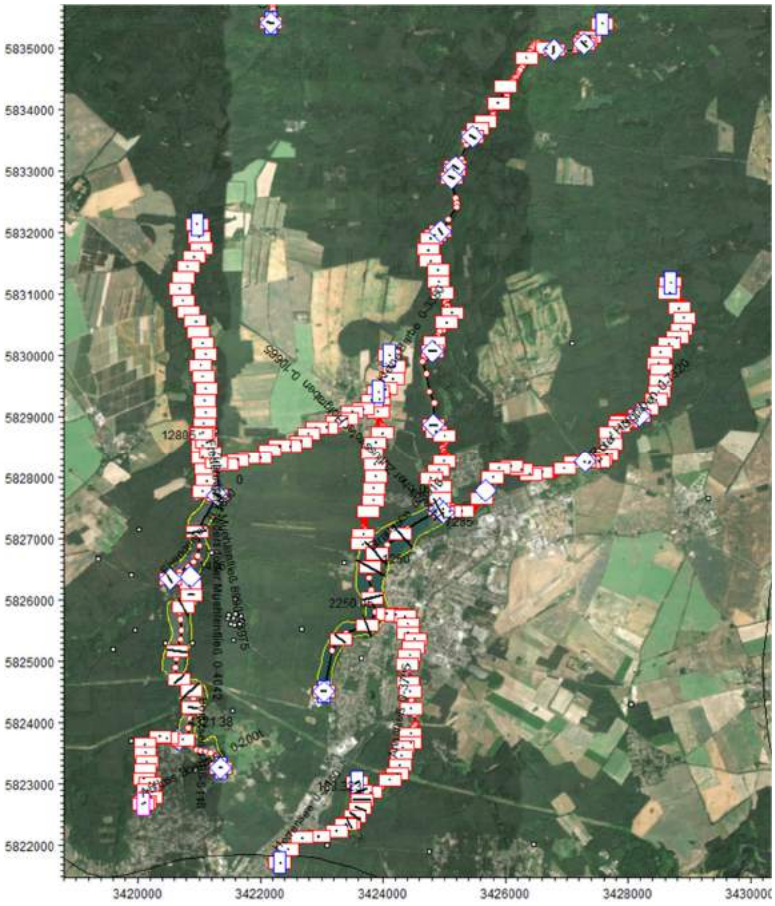


Abbildung 3-16: Lage des Gewässernetzte mit den zugeordneten Gewässerquerschnitten (Hintergrundkarte Google Earth)

Folgende Gewässerläufe wurden im hydraulischen Modell berücksichtigt:

Gewässer	Länge [km]	Anzahl Querprofile
Annafließ	3.7	25
Nördlicher Zufluss Roter Hofgraben	10.7	37
Abfluss Bötzsee	2.0	13
Kleine Babe	3.4	16
Straussee	3.9	8
Zubringer Fredersdorfer Mühlenfließ	4.0	22
Garmensee	4.8	6
Roter Hofgraben	7.3	39
Fängersee	1.7	3
Bötzsee	3.6	8
Fredersdorfer Mühlenfließ	5.0	34
Herrensee	2.2	12

3.3.5 Ungesättigter Bodenwasserhaushalt

Anhand der Bodentypen (siehe Kap. 2.1.4) wurden die von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) frei verfügbaren Boden-Leitprofile verwendet, um die hydraulischen Leitfähigkeiten abzuleiten.

Die Übertragung nach MIKE SHE erfolgt anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung [10] und den Van Genuchten Parameter, die mit Hilfe der Rosetta-Datenbank [32] parametrisiert wurden. Hiermit wurde die Infiltration physikalisch 1-dimensional mittels der Richards-Gleichung im Modell berechnet.

Tabelle 3-3: Exemplarische Parametrisierung des Leitprofils 11 (Acker)

Schicht	Ss	Sr	alpha	n	Ks
P 1-1: 0 – 30 cm	0.3772	0.0376	0.0147	1.8287	1.6e-05
P 1-2: 30- 50 cm	0.3772	0.0376	0.0147	1.8287	1.6e-05
P 1-3: 50 – 65 cm	0.3831	0.0409	0.0297	1.6249	9.89e-06
P 1-4: 65 – 105 cm	0.3445	0.0512	0.0276	1.2660	8.69e-07
P 1-5: 105 – 200 cm	0.3348	0.0422	0.0341	1.3022	1.42e-06

3.3.6 Gesättigte 3-D Grundwasserströmung

Hydrostratigrafischer Aufbau und vertikale Abgrenzung der Schichten

Die 3 Schichten, welche im geologischen Strukturmodell ausgehalten wurden, wurden auch in das Grundwasserströmungsmodell übernommen. Somit stellt die obere Schicht den GWLK 1 dar, die 2. den Geschiebemergel und die 3. den Hauptgrundwasserleiter GWLK2. Die unteren Schichtgrenzen sowie die Mächtigkeiten sind den nachfolgenden Abbildungen zu übernehmen. Die Schichten wurden über das gesamte Modellgebiet implementiert. Innerhalb der Schichten erfolgte die Parameterverteilung dann anhand von unterschiedlichen Zonen in Abhängigkeit des angetroffenen Materials.

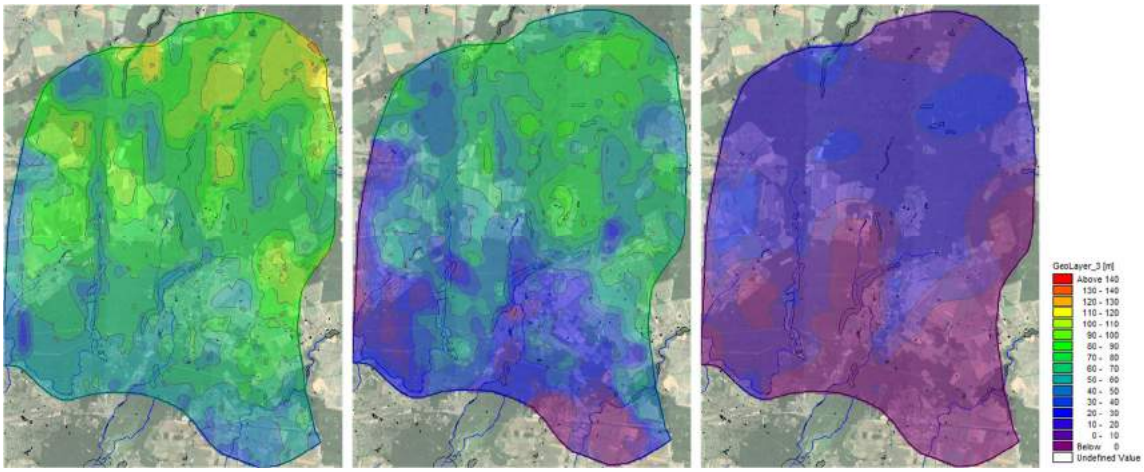


Abbildung 3-17: Schichtgrenzen (Unterkanten) des GWLK1 (links); Mergelschicht (Mitte) und des GWLK2 (rechts) in mNN (Hintergrundkarte Google Earth)

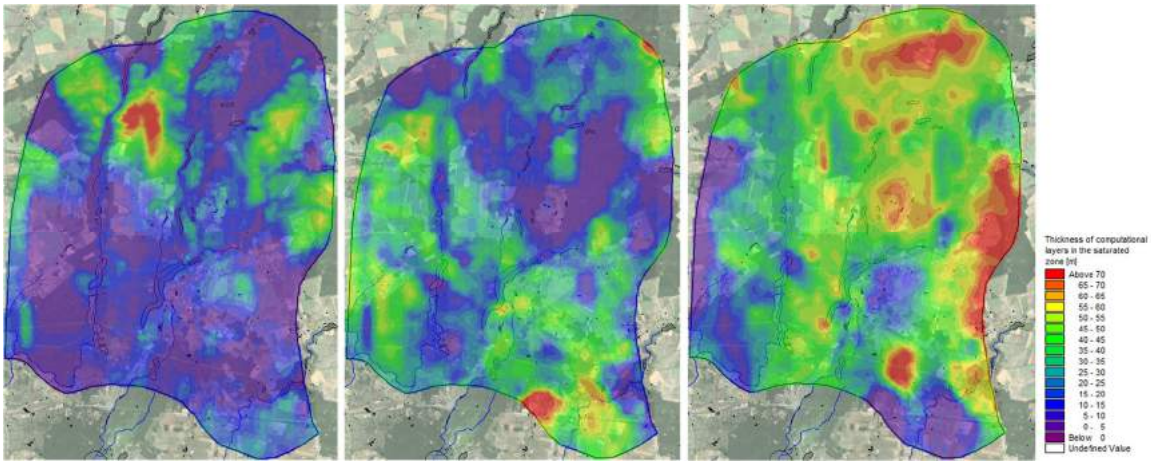


Abbildung 3-18: Mächtigkeiten des GWLK1 (links), der Mergelschicht (Mitte) und des GWLK2 (rechts) (Hintergrundkarte Google Earth)

Parametrisierung der Grundwasserleitereigenschaften

Die Startparameterverteilung der k_f-Werte im Modell orientierte sich an den, in bisherigen Alt-Gutachten im Rahmen der Erkundungskampagnen ermittelten k_f-Werten. Zum Teil liegen mehrere kf-Werte, ermittelt nach verschiedenen Bestimmungsmethoden, vor. Es wurde sich jeweils für die plausiblere Bestimmungsmethode entschieden. Beispielsweise erhielt der durch einen Pumpversuch ermittelte k_f-Wert den Vorzug gegenüber einem k_f-Wert, welcher mithilfe der Methode nach BEYER (Sieblinienauswertung) ermittelt wurde. Die k_f-Werte des Hauptgrundwasserleiters schwanken im Bereich von 0,9 – 18,5 $\cdot 10^{-4}$ m/s. In der nachfolgenden Tabelle sind die k_f-Werte an den Bohrungen zusammengestellt.

Bohrungsname	kf-Wert [10^{-4} m/s]	Gutachten
Hy Su 1/70	2,8	[36]
Hy Su 2/71	0,9	[36]
Hy Su 3/70	4,4	[36]
Hy Su 5/70	4,4	[36]
Hy Su 6/71o	3,4	[36]
Hy Su 6/71u	4,9	[36]
Hy Su 7/71	2,0	[36]
Hy Su 8/70	6,9	[36]
Hy Su 9/71o	5,9	[36]
Hy Su 9/71u	3,6	[36]
Hy Su 10/70	7,2	[36]
Hy Su11/70o	2,9	[36]
Hy Su11/70u	2,4	[36]
Hy Su12/70o	6,9	[36]
Hy Su12/70u	2,9	[36]
Hy Su 13/70	1,2	[36]
Hy Su 119/92	3,2	[16]
Hy Su 120/92	2,2	[16]
Hy Su 121/92	12,3	[16]
Hy Su 122/92	4,3	[16]
Hy Su 123/92	2,7	[16]
Hy Su 124/92	9,3	[16]
Hy Su 126/92	7,9	[16]
Hy Su 127/92	14,5	[16]
Hy Su 128/92	17,6	[16]
Eg Su 1/76	7,0	[37]
Eg Su 4/76	10,85	[37]

Bohrungsname	kf-Wert [10^{-4} m/s]	Gutachten
Eg Su 5o/76	4,3	[37]
Eg Su 5u/76	6,3	[37]
Eg Su 6/76	18,48	[37]
Eg Su 7o/76	2,71	[37]
Eg Su 7u/76	5,1	[37]
Eg Su 7E/76	2,6	[37]
Eg Su 10/76	3,99	[37]
Eg Su 11/76	2,9	[37]
Eg Su 12/76	2,70	[37]
Eg Su 13o/76	3,45	[37]
Eg Su 13u/76	2,62	[37]
Eg Su 14/76	1,5	[37]

Randliche Zu- und Abflüsse des Grundwassersystems

Die Modellränder im Westen, Norden und Osten werden durch eine Randstromlinie (no-flow-Randbedingung) repräsentiert. Diese leitet sich aus den vorliegenden Grundwassergleichenplänen von 1993 und 2011 ab (siehe auch Absatz zur Modellgebietsabgrenzung). Es findet also kein Zu- oder Abfluss über diesen Rand statt. Somit wird das Modellgebiet ausschließlich von der Grundwasserneubildung gespeist.

Der südliche Rand stellt den Abstrom aus dem Modellgebiet dar und wird durch ein konstantes Grundwassergefälle (Gradienten-Randbedingung) definiert. Der Gradient beträgt -0,0027 und wurde anhand der vorliegenden Hydroisohypsenpläne ermittelt.

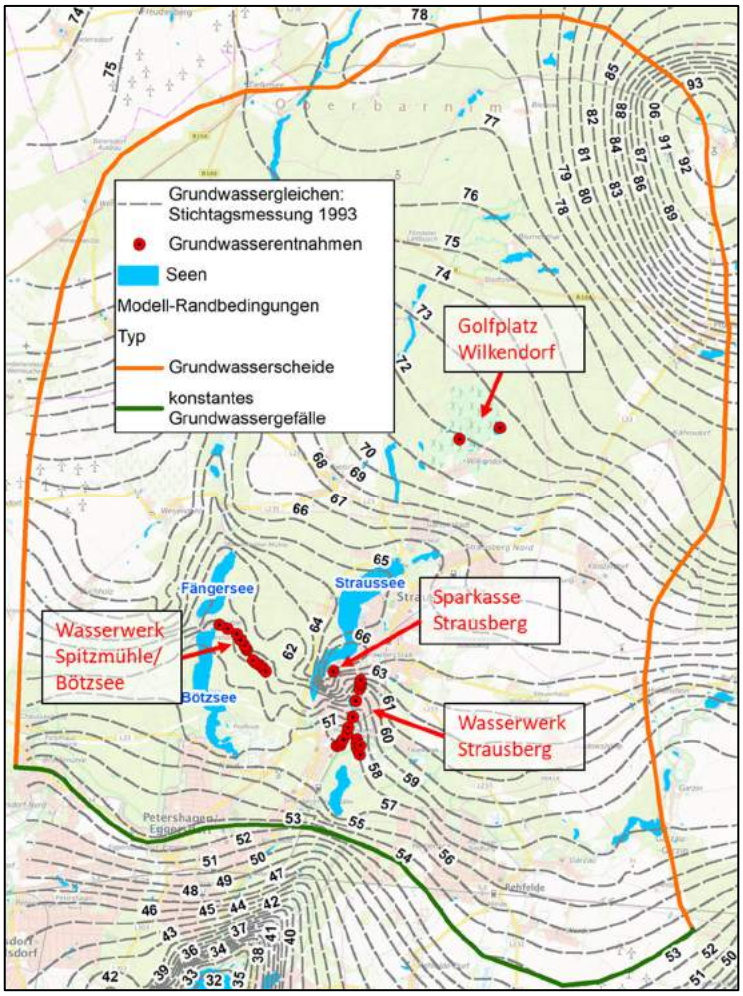


Abbildung 3-19: Übersicht zu den festgesetzten Randbedingungen (blau: Wasserhebungen)

Wasserhebungen/Grundwasserentnahmen

Im Modellgebiet liegen mehrere wasserrechtliche Erlaubnisse vor (Vergleich Kapitel 2.4.2). Im Modell wurden nur die Brunnen mit hohen Fördermengen implementiert, da kleinere Mengen auf die Wasserbilanz keinen relevanten Einfluss besitzen. Die Brunnen, welche in das Strömungsmodell integriert wurden, werden im Folgenden kurz beschrieben.

Brunnen Wasserwerk Strausberg

Für das WW Strausberg waren im Modellzeitraum insgesamt 6 Brunnen in Betrieb. Bis einschließlich Dezember 2009 war zudem auch der Brunnen 11 aktiv. Da die Fördermengen nur als Monatswerte für das gesamte WW vorlagen, wurden die Gesamtmengen gleichmäßig auf die Brunnen, welche in Betrieb waren, verteilt.

Brunnen Wasserwerk Spitzmühle/Bötzsee

Für das WW Spitzmühle waren im Modellzeitraum insgesamt 12 Brunnen in Betrieb. Auch hier lagen nur monatliche Gesamthebungsmengen vor, so dass diese gleichmäßig auf die 12 Brunnen verteilt wurden.

Brunnen Sparkasse Strausberg

Für den Brunnen der Sparkasse Strausberg wurden dem Gutachter nur Jahresmengen übermittelt. Da das geförderte Grundwasser zur Funktion der Klimaanlage verwendet wird, wurden die

Jahresmengen auf die Monate Mai bis September aufgeteilt, wobei den Monaten Mai und September nur die halbe monatliche Fördermenge zugeordnet wurde im Vergleich zu den Monaten Juni-August.

Brunnen Golfplatz

Für die 2 Golfplatzbrunnen liegen gleichfalls Jahresmengen für die Jahre 2013-2018 vor. Für die Jahre 2009 – 2012 wurde ein Mittelwert der vorliegenden Mengen ermittelt. Da das geförderte Wasser der Rasenbewässerung dient, wurden die Jahresfördermengen auf die Monate Mai – September aufgeteilt.

3.4 Modellkalibrierung des Referenzzustands

Die Kalibrierung des Modells hat den Zweck mittels der hinterlegten Randbedingungen und Parameterverteilungen ein Planungswerkzeug aufzubauen, dass die Reaktionen des Einzugsgebiets möglichst realitätsnah abbildet.

Da auf Grund von fehlenden flächendeckenden und gleichzeitig langjährigen Messungen der Grundwasserstände vor allem im direkten Anstrombereich des Straussees und fehlenden Wasserständen/Abflüssen im umliegenden Gewässersystem viele Unbekannte vorhanden sind, wurde in der Kalibrierung angestrebt, plausible Ergebnisse auch dort zu berechnen, wo keine Messungen vorhanden waren. Charakteristische Grundwasserganglinien wurden von anderen Messstellen durch vertikalen Versatz an Standorte übertragen, um auch dort die langjährige charakteristische Grundwasserentwicklung abzubilden.

Die maßgebenden Prozesse innerhalb des Untersuchungsgebietes waren für die Fragestellung des Straussee-Einzugsgebiets zu Beginn des Projektes nicht im Detail gegeben. Daher lag der Schwerpunkt der instationären Kalibrierung des Strömungsmodells, zunächst auf einer strategischen Variation der einzelnen Parameter um den Einfluss der jeweiligen Bilanzglieder, wie Grundwasserstand, Gewässerabfluss, Niederschlag, Verdunstung und daraus resultierender Grundwasserneubildung zu identifizieren. Nachdem über die grundsätzlichen Zusammenhänge Klarheit bestand, wurde das Gesamtsystem so kalibriert, dass die Austauschvorgänge plausibel abgebildet werden konnten.

Dies war vor allem im Anstromgebiet des Straussees wichtig, um den maßgeblichen Einfluss der Grundwasserstände auf den Abfluss des Roten Hofgrabens plausibel abzubilden, ohne diesen direkt anhand von Abflussmessungen verifizieren zu können.

3.4.1 Stationäre Kalibrierung

Im ersten Schritt wurde eine stationäre Kalibrierung durchgeführt, um die Wertebereiche der hydraulischen Durchlässigkeiten, der Speicherkoeffizienten und der Durchlässigkeit der Gewässersohlen zu ermitteln zu können.

Betrachteter Zeitraum und verfügbare Messdaten

Für die stationäre Kalibrierung lagen nur von zwei Zeitpunkten großräumige Stichtagsmessungen vor, welche zur Kalibrierung geeignet waren. Die Stichtagsmessung im April 2011 zeigte im Durchschnitt 0,5 – 0,8 m zu hohe Wasserstände im Vergleich zum mittleren Zustand. Die Stichtagsmessung von Februar 1993 wies mit einer Abweichung von 0,1 – 0,3 m leicht zu niedrige Wasserstände auf, wie aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich. Da sich die Stichtagsmessung von Februar 1993 dem mittleren Zustand mehr annäherte, wurde diese für die stationäre Kalibrierung verwendet.

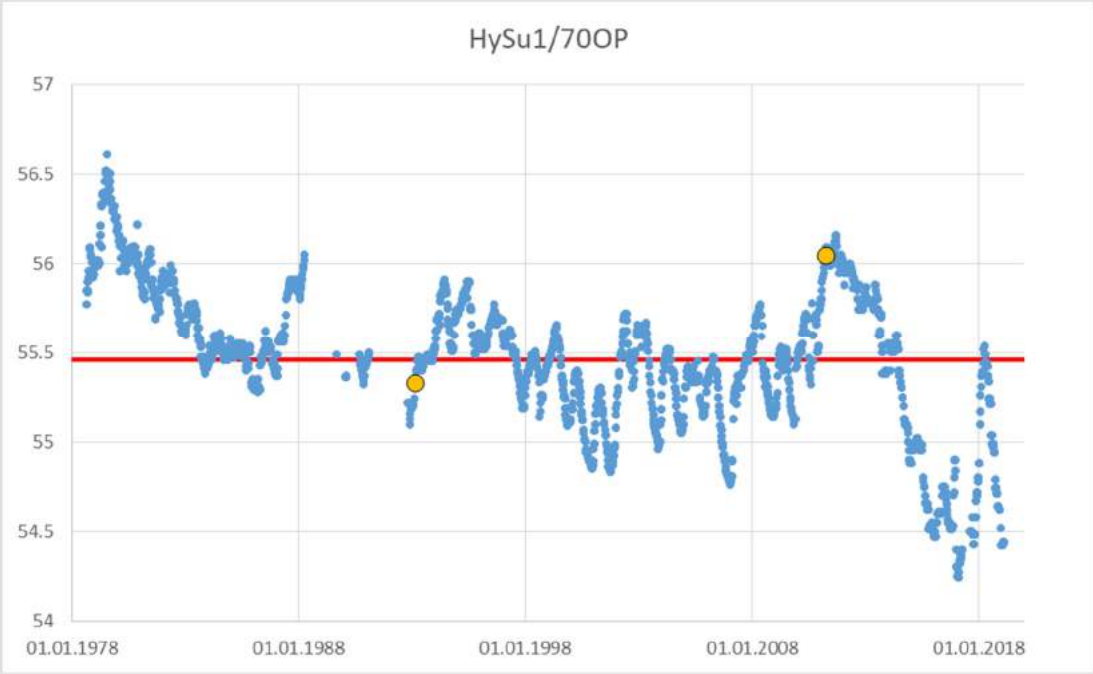


Abbildung 3-20: Wasserstandsverlauf an GWMS HySu1/70OP (Gielsdorf) mit roter Linie = Mittelwert, orange sind jeweils die Messwerte der Stichtagsmessungen 1993 und 2011

Schrittweise Modellanpassungen

Während der stationären Kalibrierung wurden verschiedene Anpassungen und Parametervariationen untersucht. Ein Auszug der Arbeitsschritte ist im Folgenden stichpunktartig gegeben:

- großräumige Variation der hydraulischen Leitfähigkeit im 1. und 2. GWLK
- Anpassung der Gewässersohlenlage bei diversen Gewässerabschnitten
- Verminderung der Verdunstungsprozesse
- Anpassung der südlichen Abflussrandbedingung

Ergebnis und Gesamtbewertung der stationären Kalibrierung

Durch die komplexe Interaktion von Grundwasserneubildung, Gewässersystem und den beiden bereichsweise hydraulisch getrennten Grundwasserleitern, wurde ab einem gewissen Stand der Erkenntnisse entschieden, die stationäre Kalibrierung abzuschließen und in die instationäre Kalibrierung überzugehen. Die damit ermittelten Parameter sind in Tabelle 3-4 aufgelistet:

Tabelle 3-4: Verteilung der geohydraulischen Parameter im Ergebnis der stationären Kalibrierung

Geologische Einheit	kf-Wert [m/s]		S_y [-]	S_s [1/m]
	horizontal	vertikal		
Kies	0,001	0,001	0,25	0,0001
Sand	0,0001	0,0001	0,15	0,001
Feinsand	0,0001	0,0001	0,15	0,005
Sand-Schluff	$1*10^{-7}$	$1*10^{-7}$	0,25	0,0001
Schluff	$1*10^{-8}$	$1*10^{-8}$	0,2	0,0001
Ton	$1*10^{-9}$	$1*10^{-9}$	0,15	0,0003

Die Gegenüberstellung der finalen Ergebnisse der stationären Kalibrierung mit den Messwerten der Stichtagsmessung 1993 ist in Tabelle 3-5 aufgelistet. Von der Endbewertung ausgenommen wurden die zwei nördlichsten Messstellen 33481557-RHyEgSu14/76 (Abweichung = -12,37 m) und HySu15A2/71 (Abweichung = -5,99 m) sowie die 4 mit dem Kürzel „-OP“ versehenen Grundwassermessstellen, welche den oberen Grundwasserleiter GWLK1 repräsentieren (Abweichung zwischen -10,25 m und 2,03 m). Da der obere Grundwasserleiter nur durch sehr wenige GWMS aufgeschlossen ist und in vielen Bereichen nur temporär Grundwasser führt, in Abhängigkeit von Niederschlagsereignissen, wurde er bei der Kalibrierung nicht berücksichtigt.

Tabelle 3-5: Gegenüberstellung gemessener und berechneter Grundwasserstände

Grundwassermessstelle	Modell	Messwert	Fehler	Absoluter Fehler
33495005-RHySu 18/70	77,67	77,98	-0,31	0,31
HyBith23/75	76,10	75,34	0,76	0,76
HYSU019/1970OP	72,69	72,08	0,61	0,61
HYSU019/1970MP	72,69	72,10	0,59	0,59
HySu11/70	67,25	67,62	-0,37	0,37
33491521-RHySu10/70 UP	67,63	66,88	0,75	0,75
HySu130/92	65,03	65,15	-0,12	0,12
HySu127/92	65,55	64,85	0,70	0,70
GWBR 2	61,02	61,05	-0,03	0,03
HySu129/92	60,32	59,13	1,19	1,19
HySu122/92	59,64	59,39	0,25	0,25
HyEgSu13/76UP	59,91	58,94	0,97	0,97
HySu120/92	59,31	58,58	0,73	0,73
HySu7/71	57,20	57,40	-0,20	0,20
Hy Su 09/71	64,61	63,96	0,65	0,65
HySu121/92	63,16	61,52	1,64	1,64
HySu5/70	62,43	60,30	2,13	2,13
Hy Su 14/70 Hohenstein	64,57	64,58	-0,01	0,01
34491543-RHySu 4/70 UP	61,61	60,27	1,34	1,34
HySu3/70	56,76	56,52	0,24	0,24
34491545-RHySu 1/70 UP Herrensee	54,04	54,83	-0,79	0,79

	Niedrigster Messwert	**54,83**	Kleinster Fehler	**-0,79**
	Höchster Messwert	**77,98**	Größter Fehler	**2,13**
	GW-Gefälle	**23,15**	Mittlerer Fehler	**0,51**
			Mittlerer absoluter Fehler (MAE)	**0,68**
			Relativer Fehler	**3%**

Entsprechend dem DVGW Arbeitsblattes W 107 [7] ist der mittlere relative Fehler ein mögliches Qualitätskriterium für die Genauigkeit eines stationären Grundwassermodells. Der mittlere relative Fehler entspricht dem Quotienten aus dem mittleren absoluten Fehler zwischen berechneten und gemessenen Werten und der Differenz der maximalen und minimalen Grundwasserstände im Gesamtmodell. Bei einem mittleren relativen Fehler von unter 5 % ist von einer guten, unter 1 % von einer sehr guten stationären Modellanpassung gesprochen.

Der mittlere absolute Fehler für den Endzustand wurde an den im Rahmen der stationären Kalibrierung berücksichtigten 21 Grundwassermessstellen zu 0,68 m ermittelt.

Die maximale Differenz der im Modellraum gemessenen Grundwasserstände beträgt 23,15 m (33495005-RHySu 18/70: 77,98 m NN; 34491545-RHySu 1/70 UP Herrensee: 54,83 m NN).

Im ermittelten Endzustand der stationären Kalibrierung beträgt der mittlere relative Fehler 3 %, die vorliegende stationäre Kalibrierung wird gemäß dieser Bewertung als gut eingestuft.

3.4.2 Instationäre Kalibrierung

Das Ziel der instationären Kalibrierung besteht darin, die charakteristische Grundwasserdynamik im betrachteten Zeitraum hinreichend genau abzubilden. Dabei sollte der Kalibrierungszeitraum idealerweise sowohl steigende als auch fallende Grundwasserstände beinhalten, um die Reaktionen des Grundwasserleiters zu verschiedenen hydrologischen Zuständen anzupassen.

Die Bewertung der instationären Kalibrierung erfolgt abschließend anhand möglichst aussagekräftiger Ganglinien.

Betrachteter Zeitraum und verfügbare Messdaten

Insgesamt standen 55 GWMS und 2 OWMS mit Wasserständen zur Verfügung, welche zur Kalibrierung verwendet werden konnten. Nicht an allen GWMS lagen langjährige Wasserstandsganglinien vor, für manche GWMS gab es lediglich vereinzelte Werte.

Im betrachteten Zeitraum sind die Grundwasserstände im unteren Hauptgrundwasserleiter durch folgende Dynamik geprägt:

- Annähernd stabile mittlere Verhältnisse zu Beginn des Simulationszeitraums im Wasserwirtschaftsjahr (WWJ) 2008.
- Anstieg der Grundwasserstände über drei Jahre von November 2009 bis November 2012 infolge überdurchschnittlicher Jahressummen an Niederschlag um ca. 1 m bis 1,5 m.
- Relativ konstante Grundhochwasserstände im WWJ 2013.
- Abfall der Grundwasserstände über vier Jahre von November 2013 bis November 2017 infolge unterdurchschnittlicher Jahressummen an Niederschlag um ca. 1 m bis 1,5 m, wobei

in der südlichen Hälfte des Einzugsgebiets ein etwas stärkeres Abfallen als in der nördlichen Hälfte zu beobachten war.

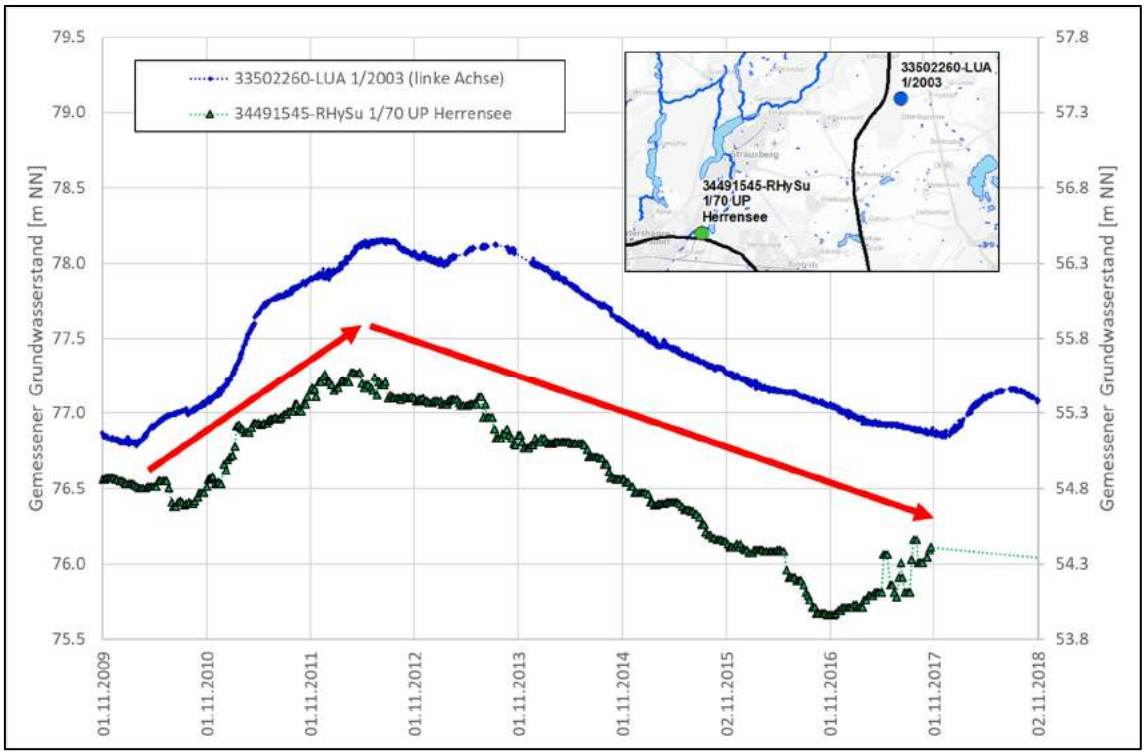


Abbildung 3-21: Großräumige Grundwasserdynamik im Zeitraum WWJ 2009 bis 2018

Schrittweise Modellanpassungen

Während der instationären Kalibrierung wurden verschiedene Anpassungen und Parametervariationen untersucht. Ein Auszug der Arbeitsschritte ist im Folgenden stichpunktartig gegeben:

- Differenzierung der Homogenbereiche der hydraulischen Leitfähigkeiten im 2. GWLK
- Variation der Speicherkoeffizienten im 1. und 2. GWLK
- Variation der Durchlässigkeit/Anbindung der Gewässersohle (Leckagekoeffizienten)
  - Straussee:
    - Nördlicher Bereich des Sees $1*10^{-7}$ 1/s
    - Südlicher Bereich des Sees $3*10^{-8}$ 1/s
  - Roter Hofgraben
    - Nördlicher Abschnitt $1*10^{-10}$ 1/s
    - Die 1000 m oberstromig des Straussee gelegenen Abschnitts $1*10^{-8}$ 1/s
  - Bötzsee $1*10^{-8}$ 1/s
- Modifikation der Gewässerprofile
  - Annafließ: Anpassung des Gewässerquerschnitts im Bereich des Einlaufbauwerks, um den Straussee-Abfluss plausibel abzubilden
  - Roter Hofgraben
  - Kleine Babe
- Gewichtung der Neubildungsprozesse
  - Anpassung der ursprünglich angesetzten Kristensen und Jensen Parameter zur Gewichtung der Verdunstungsprozesse, um eine höhere Grundwasserneubildung zu erreichen.
- Differenzierung der Verdunstung nach Bodenkörper und freier Wasserfläche

Ergebnis und Gesamtbewertung der instationären Kalibrierung

Die finale ermittelte Parameterverteilung ist in Tabelle 3-6 aufgelistet:

Tabelle 3-6: Verteilung der geohydraulischen Parameter am Ende der instationären Kalibrierung

Geologische Einheit	kf-Wert [m/s]		S_y [-]	S_S
	horizontal	vertikal		
Ton	$1*10^{-9}$	$1*10^{-9}$	0.05	0.0003
Schluff	$3*10^{-7}$	$3*10^{-7}$	0.2	0.0001
Sand-Schluff	$1*10^{-7}$	$1*10^{-7}$	0.25	0.0001
Mergel der Stauchungszone im Norden	$5*10^{-6}$	$5*10^{-6}$	0.2	0.0001
Sand im Bereich der Gewässerrinnen	0.0001	0.0001	0.2	0.0001
Sand großräumig	0.0007	0.0002	0.3	0.0005
Sand der Stauchungszone im Norden	0.0004	0.0001	0.23	0.0002
Sand im westlichen Modellbereich	0.0001	$5*10^{-5}$	0.23	0.0002
Sand im südöstlichen Modellbereich	0.0002	0.0001	0.23	0.0002
Feinsand großräumig	0.0003	0.0003	0.2	0.0002
Kies großräumig	0.001	0.001	0.25	0.0005

In Abbildung 3-22 ist die finale räumliche Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit für alle 3 Schichten dargestellt:

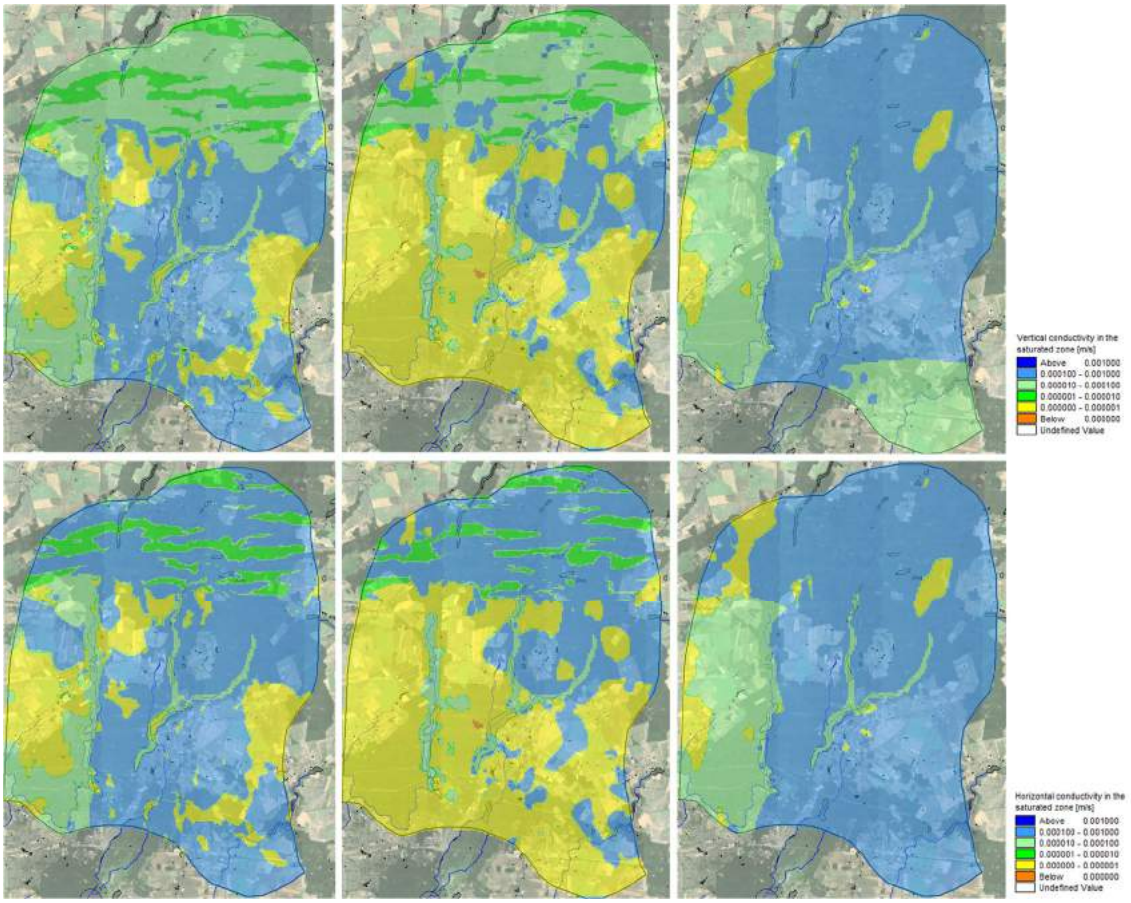


Abbildung 3-22: Vertikale (oben) und horizontale (unten) Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeiten für GWLK1 (links), der Mergelschicht (Mitte) und des GWLK2 (rechts)

Gegenüberstellung berechneter und gemessener Grundwasserstandsganglinien

Mit den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der instationären Kalibrierung an ausgewählten Messstellen über der Betrachtungszeitraum dargestellt.

Nördlicher Modellbereich

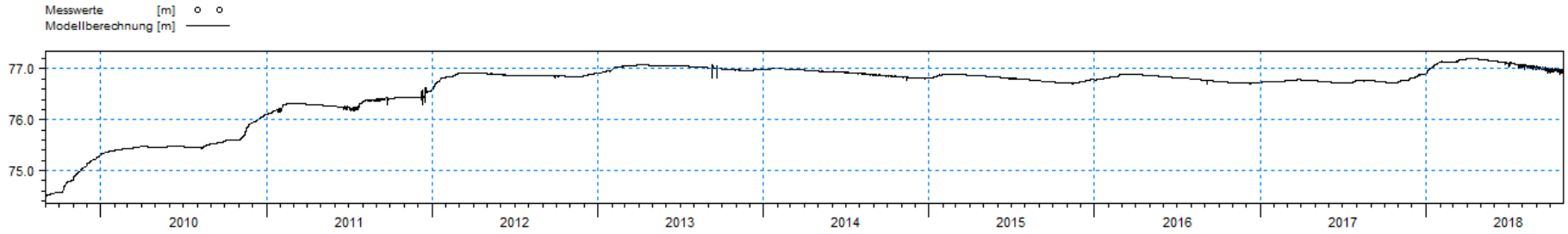


Abbildung 3-23: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HyBith23/75

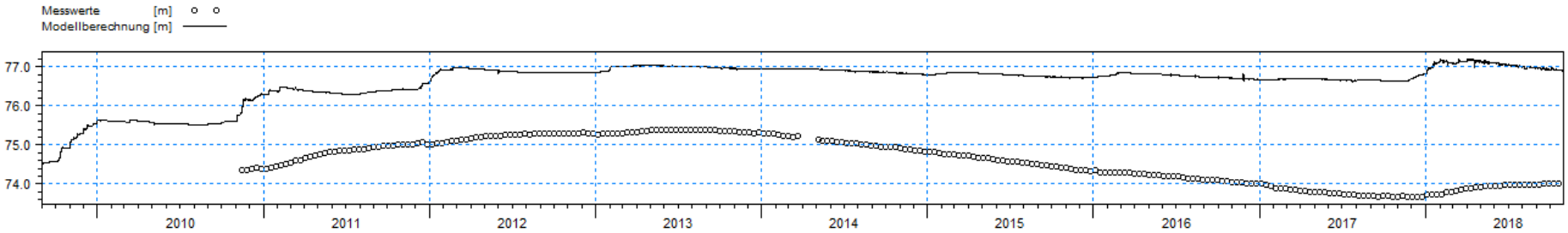


Abbildung 3-24: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 33485041-RHyLUA101/02

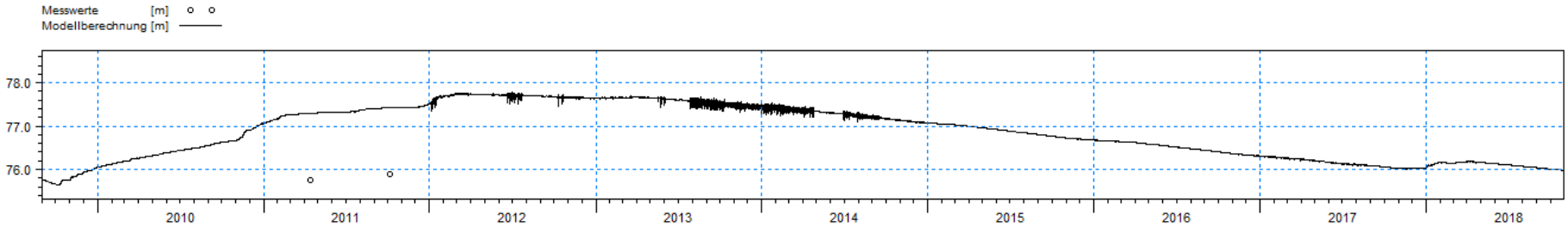


Abbildung 3-25: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 33495005-RHySu 18/70

Westlicher Modellbereich um den Bötzsee

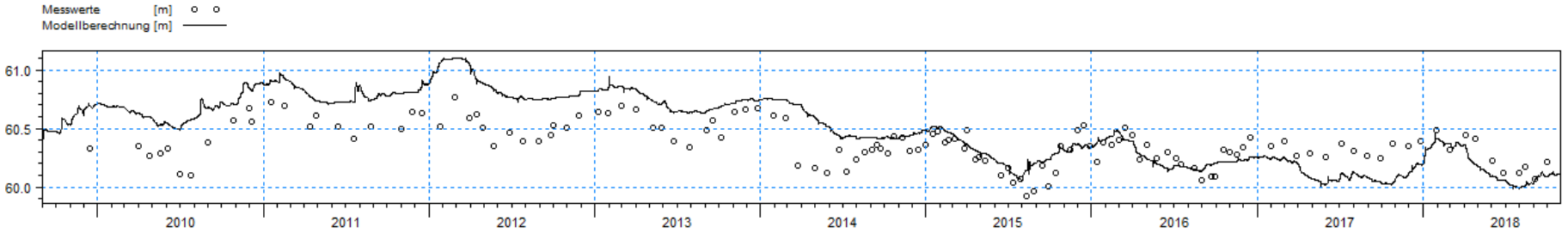


Abbildung 3-26: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu124/92 UP

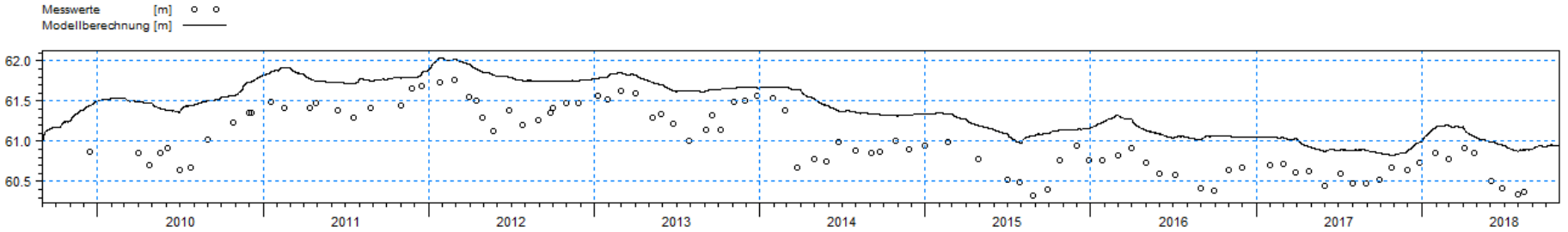


Abbildung 3-27: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu125/92

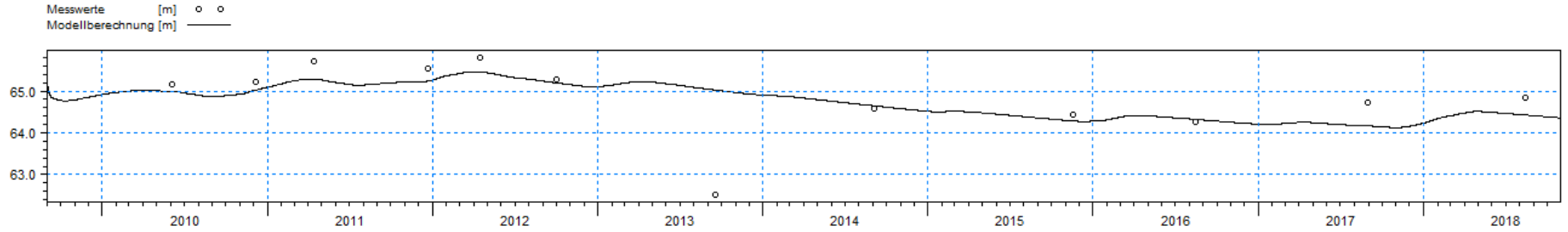


Abbildung 3-28: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu127/92

Im Bereich des Wasserwerks Spitzmühle

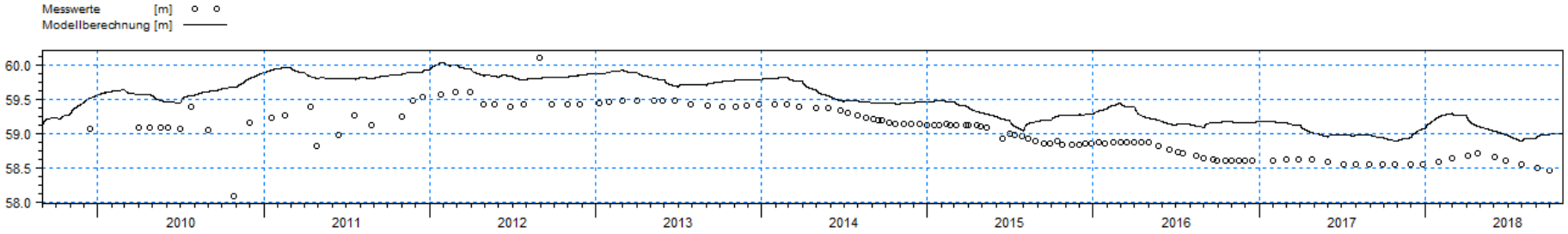


Abbildung 3-29: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HY Su 6/1971

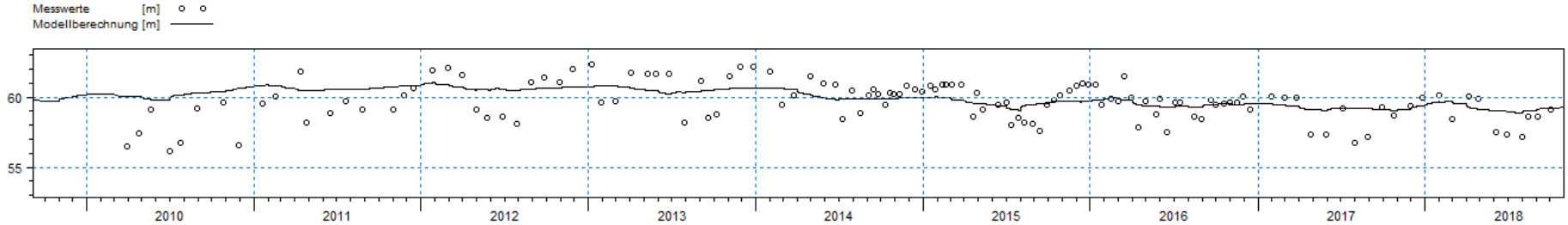


Abbildung 3-30: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle Brunnen 6

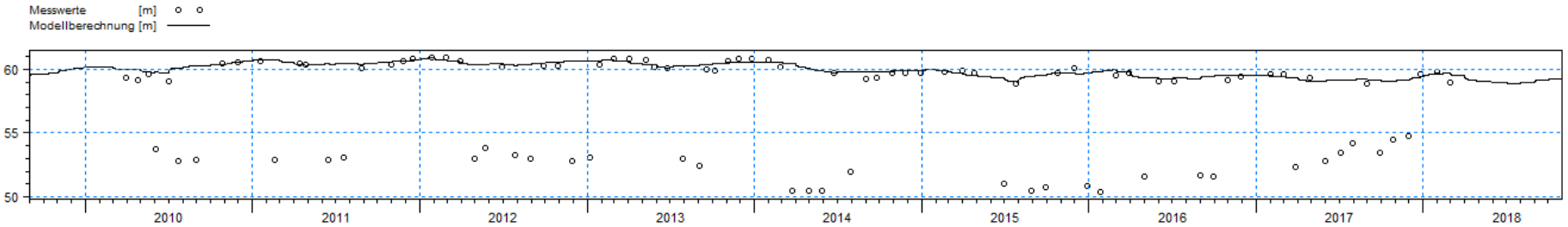


Abbildung 3-31: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle Brunnen 9

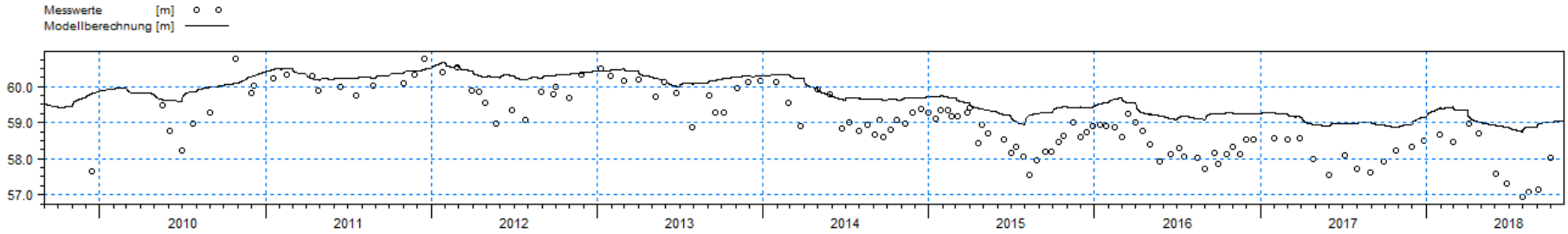


Abbildung 3-32: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle GWBR1

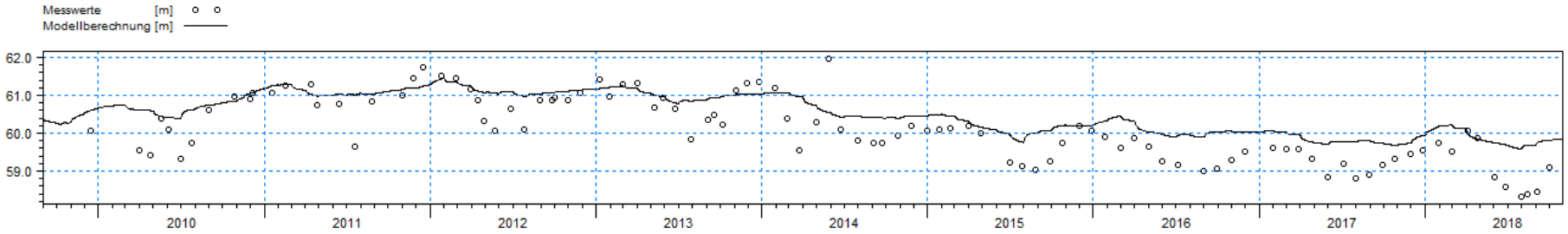


Abbildung 3-33: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle GWBR2

Östlicher Modellbereich

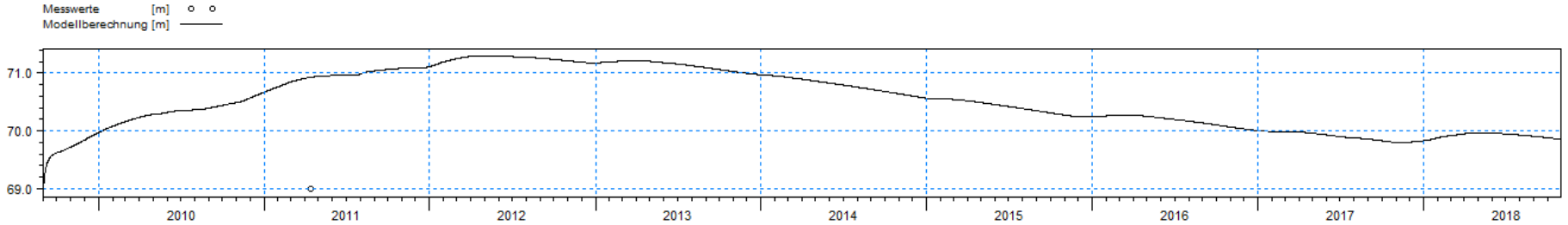


Abbildung 3-34: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySU12/70

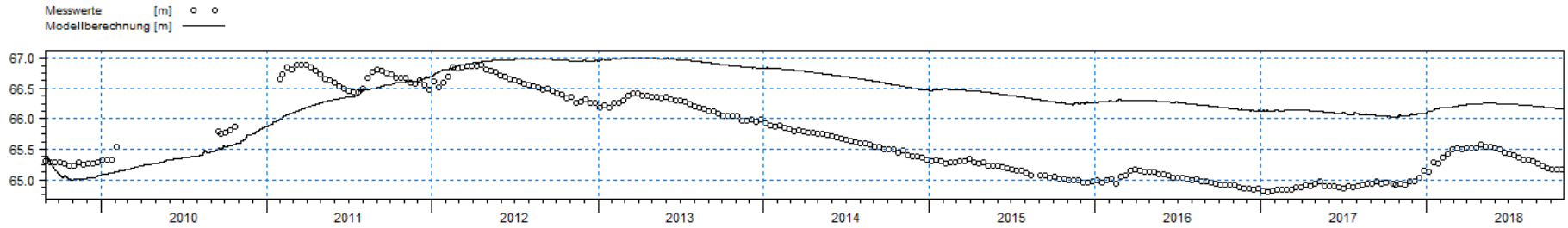


Abbildung 3-35: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 34495032-RHyLUA79/01 Treuenhof

Südlicher Modellbereich

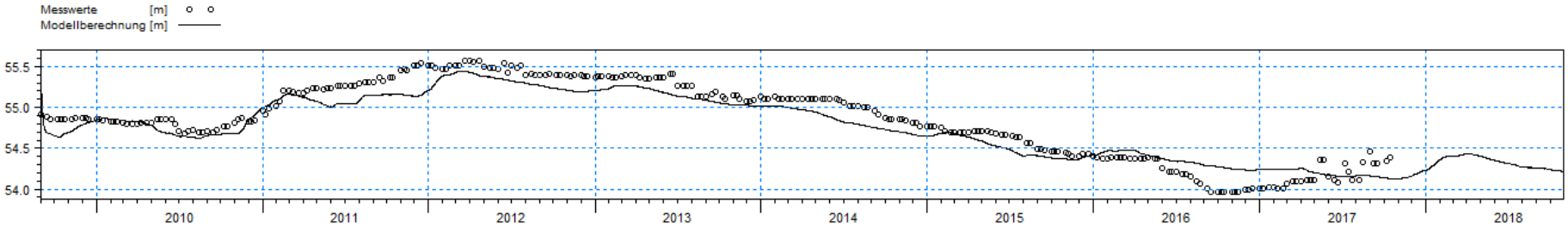


Abbildung 3-36: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 34491545-RHySu 1/70 UP Herrensee

Gegenüberstellung berechneter und gemessener Seewasserstandsganglinien

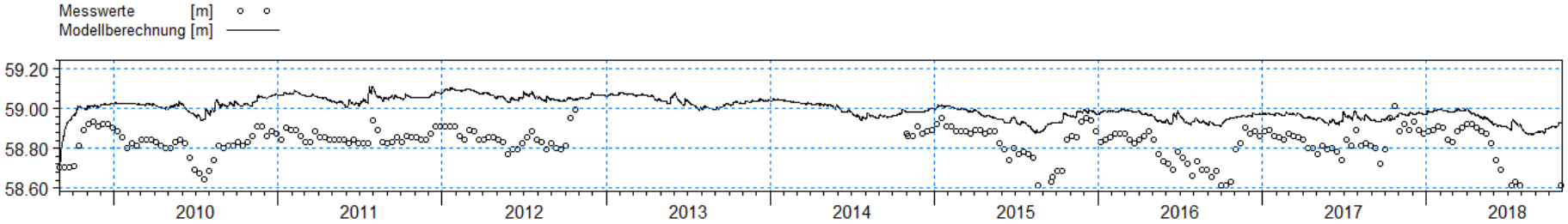


Abbildung 3-37: Wasserstand im Bötzsee

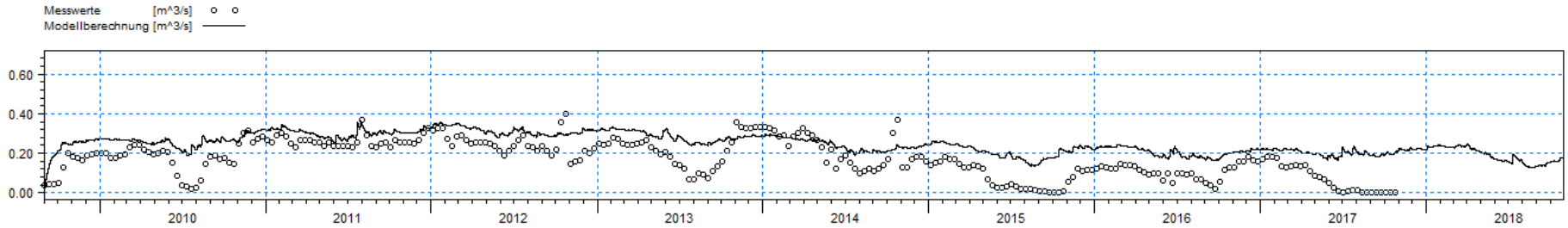


Abbildung 3-38: Abfluss im Bötzsee

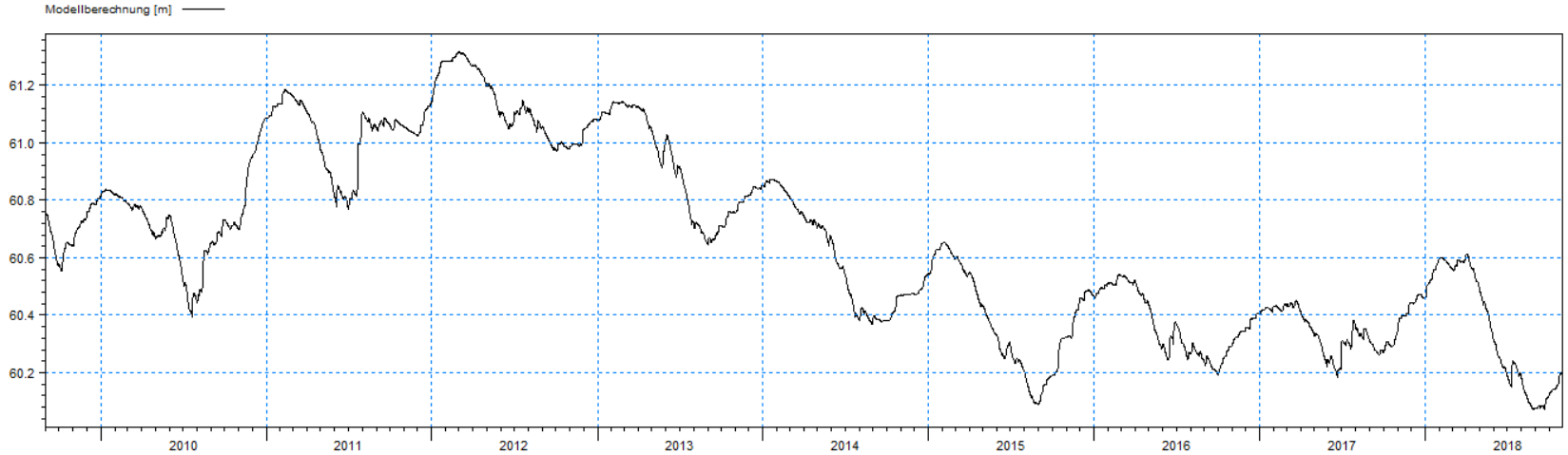


Abbildung 3-39: Wasserstand im Fängersee

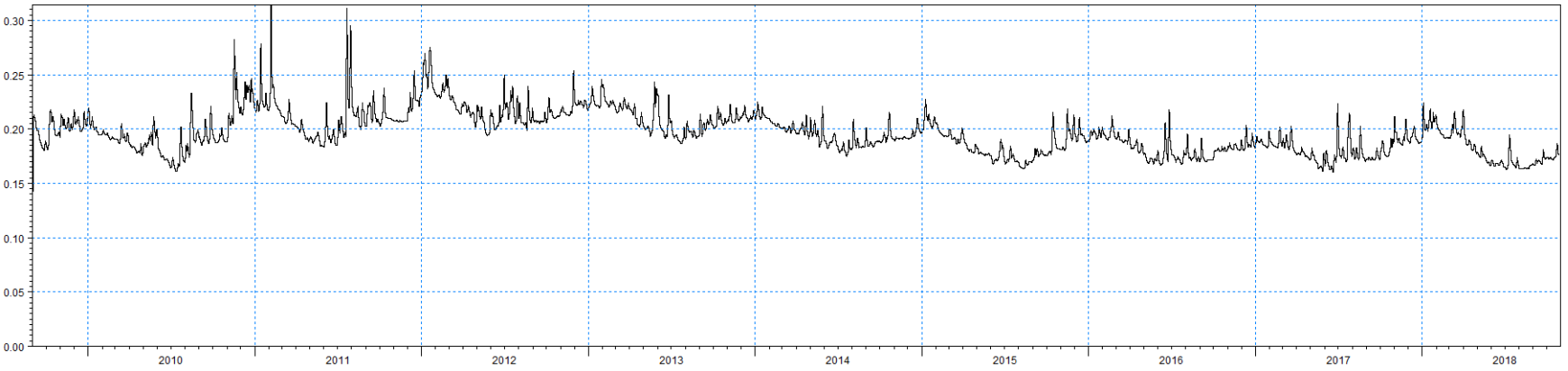


Abbildung 3-40: Zufluss zum Fängersee

Grundwasserneubildung für den Zeitraum WWJ 2009/2018

Für den betrachteten Zeitraum von 2009 bis 2018 wurde im Modell eine mittlere Grundwasserneubildung von 117 mm/a ermittelt.

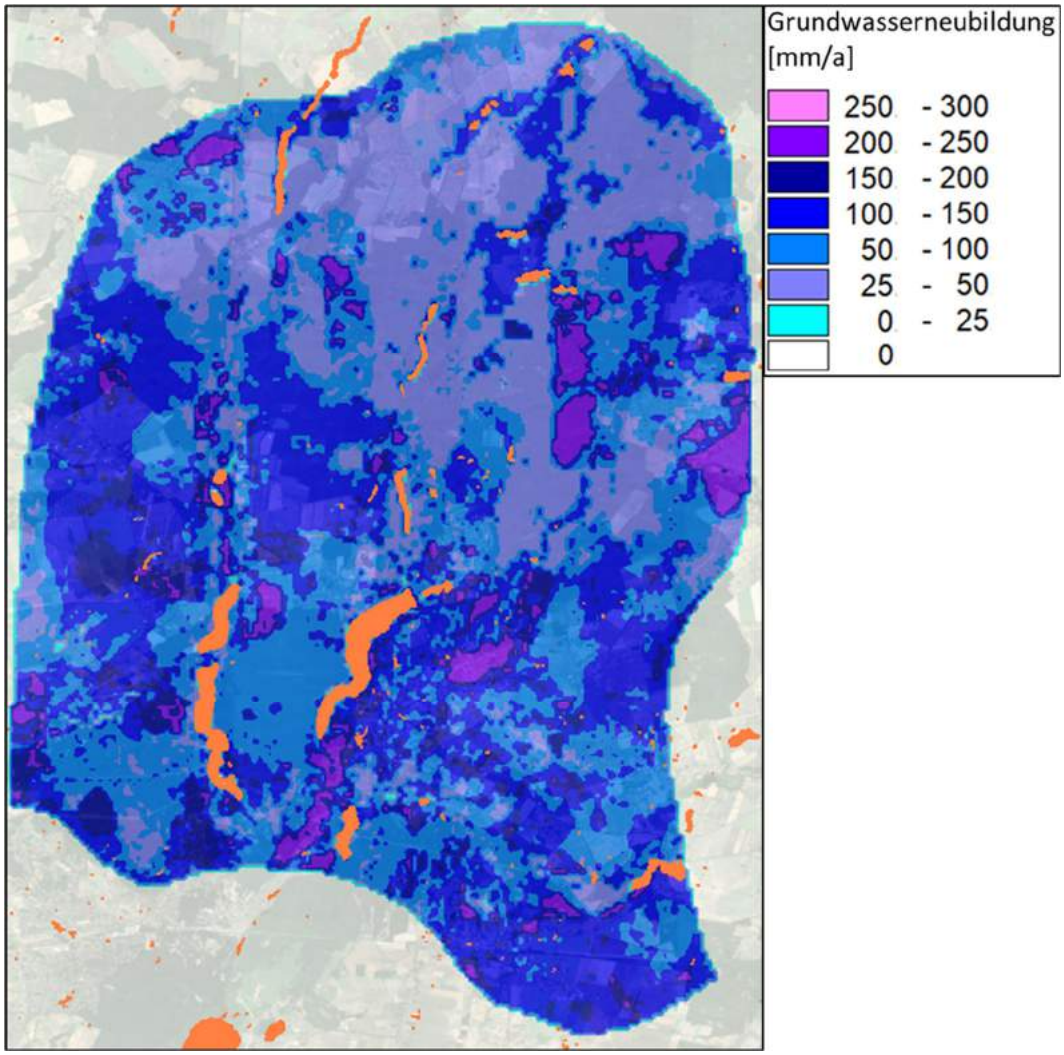


Abbildung 3-41: Räumlich differenzierte mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum WWJ 2009/2018

Finale Wasserbilanz des Modellgebiets

Eine schematische Darstellung der einzelnen Wasserbilanzkomponenten ist in Abbildung 3-42 enthalten. Die einzelnen Flüsse sind dabei in Millimeter pro Jahr gemittelt. Die Bilanzierung beschränkt sich dabei lediglich auf den oberen Grundwasserleiter, da nur dieser mit den hydrologischen Prozessen an der Oberfläche interagiert:

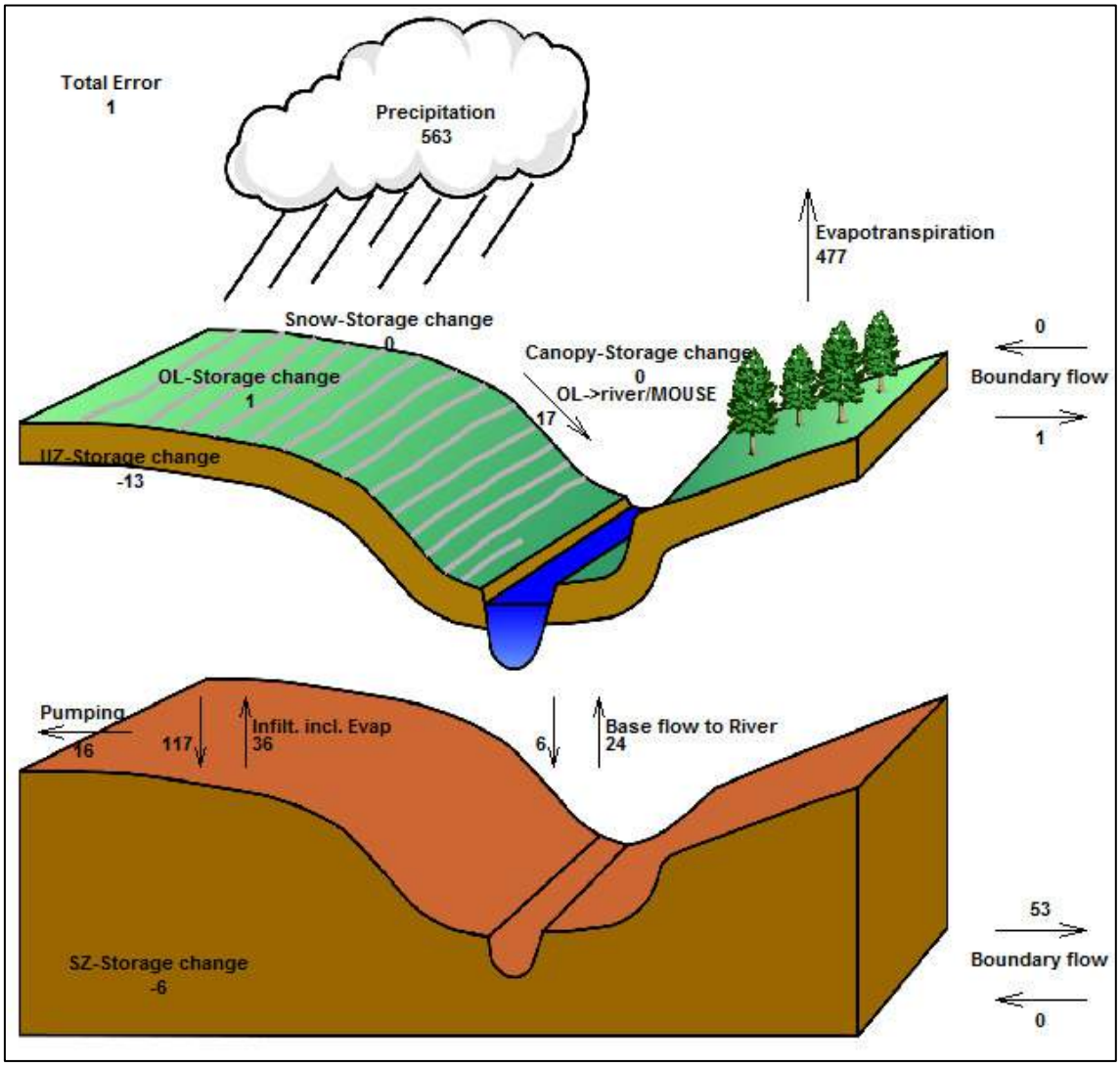


Abbildung 3-42: Grafische Darstellung der gemittelten Jahreswerte der Wasserbilanzgrößen in [mm/a]

Gesamtbewertung der Kalibrierung

Die großräumige charakteristische Grundwasserdynamik wird im Modell meist gut wiedergegeben. Eine sonst übliche Bewertung der Ergebnisse in Form von mittlerem absolutem Fehler sowie Standardabweichung ist auf Grund der geringen Anzahl von kontinuierlichen Messwerten und der sehr heterogenen Datenlage nicht möglich. Der berechnete Wasserhaushalt deckt sich mit den Werten für die Grundwasserneubildung, welche von öffentlicher Seite aus angegeben werden (siehe Kap. 2.2.6). Im nördlichen Modellbereich ist eine Abweichung der absoluten Grundwasserstände zu erkennen, welche auf die mangelnden Kenntnisse der hydrogeologischen Gegebenheiten im Bereich der Stauchungszone zurückzuführen ist. Für die Bewertung der instationären Kalibrierung ist das absolute Niveau generell aber von untergeordneter Bedeutung.

3.4.1 Anpassung im Bereich Straussee

Im Folgenden wird gesondert auf die Anpassung der Grundwasserdynamik im Bereich des Straussees und die berechneten Abflussverhältnisse der umliegenden Gewässer eingegangen. In Kapitel 4 folgt dann die Diskussion der Wasserbilanz des Straussees auf Jahresbasis.

Anpassung im Bereich des nordwestlichen Grundwasseranstroms zum Straussee

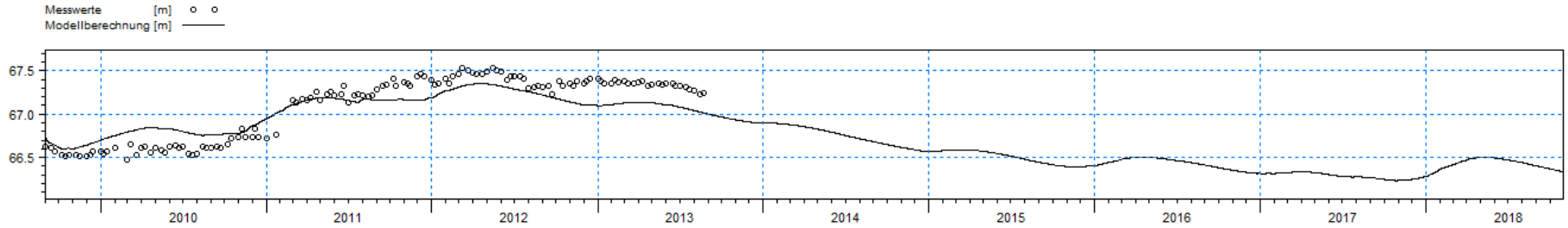


Abbildung 3-43: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 33491521-RHySu10/70 UP

Anpassung im Bereich des nordöstlichen Grundwasseranstroms zum Straussee

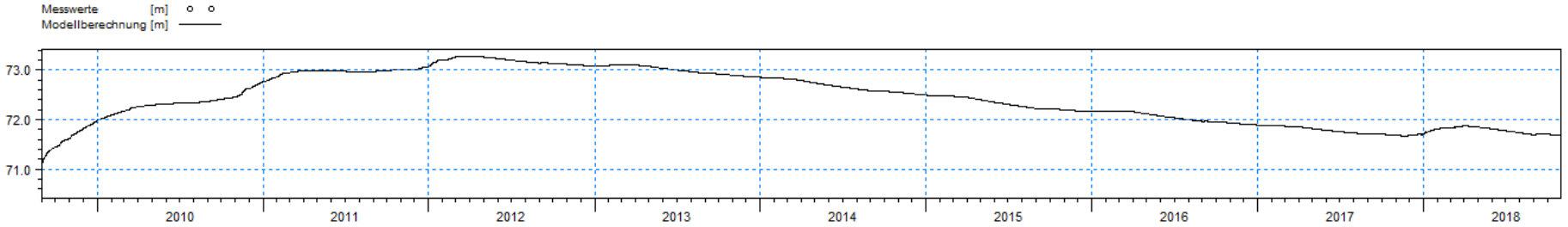


Abbildung 3-44: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu019/1970 MP

Grundwasserstand am nordwestlichen Ufer des Straussees

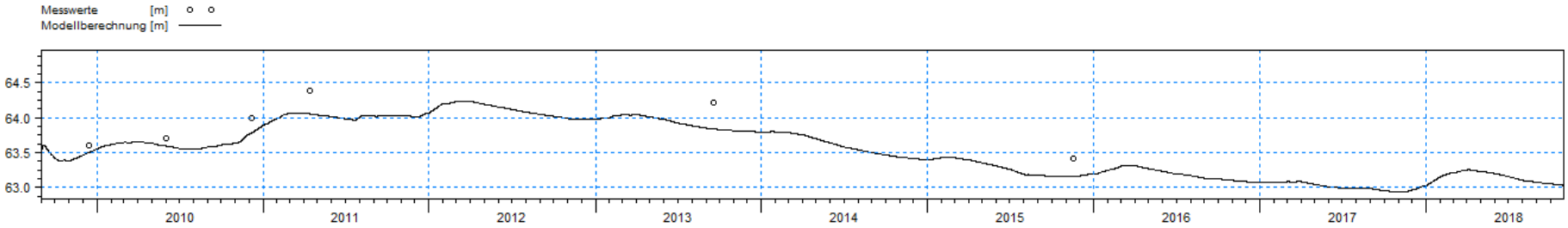


Abbildung 3-45: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu09/71

Grundwasserstand am südwestlichen Ufer des Straussees

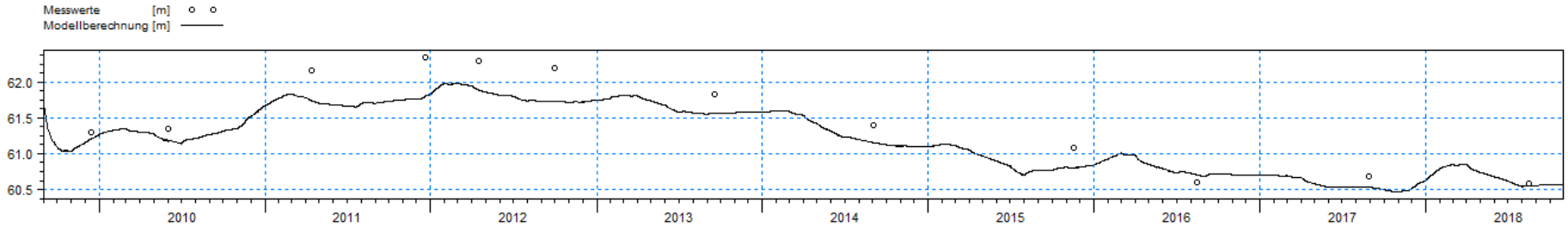


Abbildung 3-46: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu121/92

Grundwasserstand am südlichen Ufer des Straussees

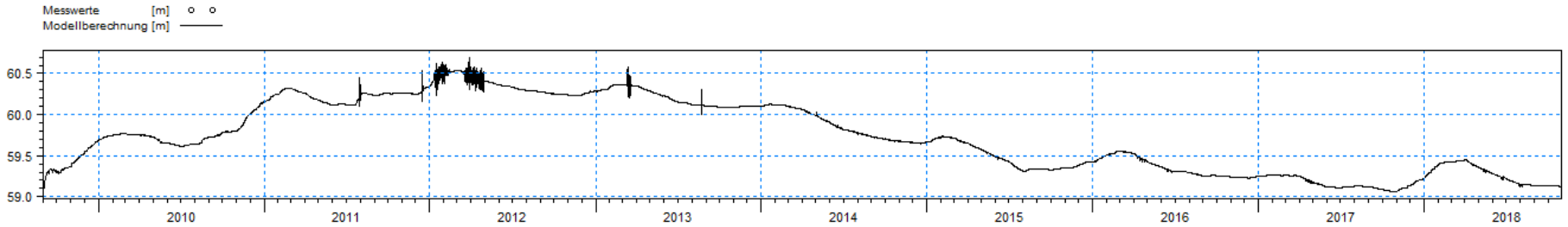


Abbildung 3-47: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle HySu5/70

Grundwasserstand süd-westlich des Straussees

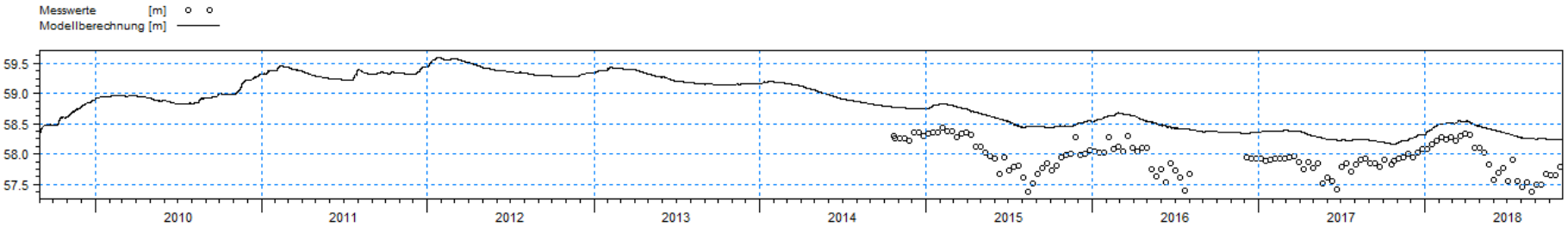


Abbildung 3-48: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle 34495033-RHyLUGV215/13

Grundwasserstand süd-östlich des Straussees

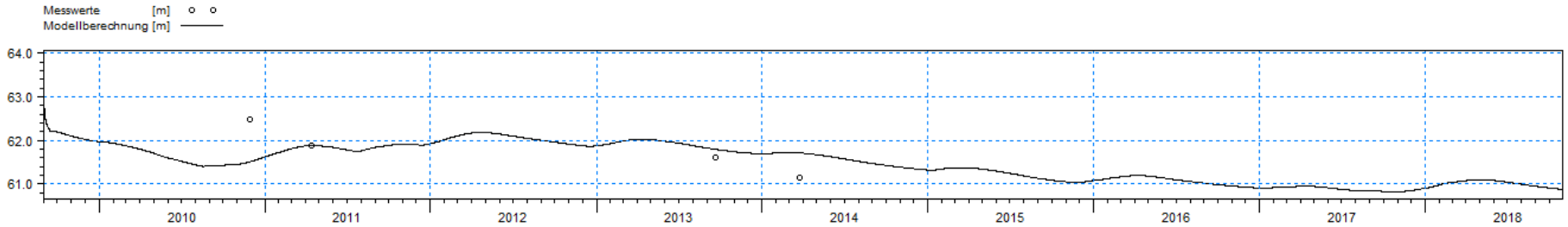


Abbildung 3-49: Grundwasserstandsganglinie an Messstelle BR 1 Altlast A (Reinigung) MP

Berechnete Zu- und Abflüsse über das angrenzende Gewässersystem des Straussees

Abbildung 3-50: Berechneter Abfluss in m³/s aus dem Straussee über das Ausleitbauwerk für den Betrachtungszeitraum 2010 – 2018.

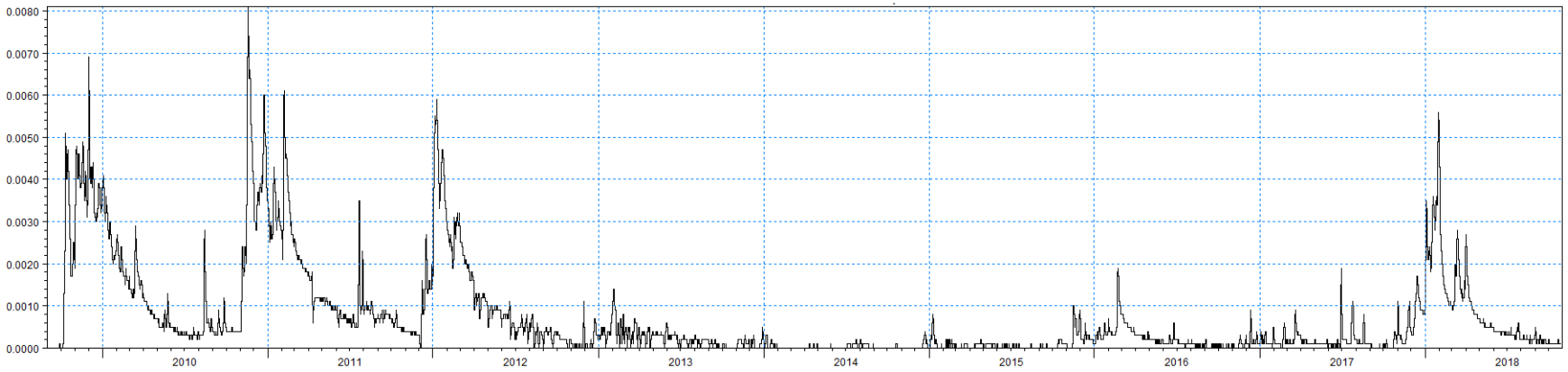


Abbildung 3-51: Berechneter Zufluss aus der kleinen Babe in m³/s in den Straussee für den Betrachtungszeitraum 2009 – 2018.

Abbildung 3-52: Berechneter Zufluss aus dem Roten Hofgraben in m³/s in den Straussee für den Betrachtungszeitraum 2009 – 2018.

Berechneter Wasserstand im Straussee

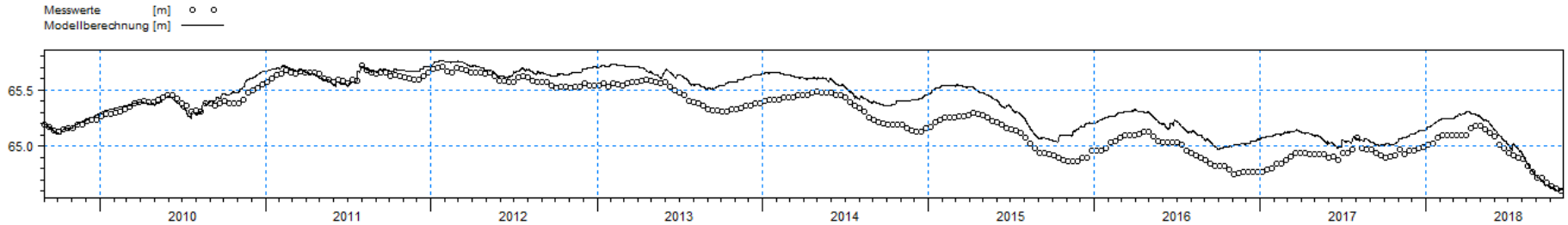


Abbildung 3-53: Wasserstand im Straussee

In Abbildung 3-53 wird der Anstieg des Straussee-Wasserstands in den Jahren 2010 bis 2012 sehr gut wiedergegeben. Im Bereich des abfallenden Astes wird der Straussee Wasserstand etwas überschätzt. Auch durch zahlreiche Parametervariationen (hydraulische Leitfähigkeit, Speicherkoeffizient) konnte diese Abweichung zu den Messwerten nicht verringert werden, ohne die Anpassung der Wasserstandsganglinie am Ende in den Jahren 2017/2018 oder die großräumige Abbildung der Grundwasserstandsdynamik deutlich zu verschlechtern. Da die charakteristische Grundwasserdynamik vor allem im zentralen Betrachtungsgebiet durch das Modell plausibel widergegeben wird, können nun Auswertungen im Nahbereich des Straussees durchgeführt und fundierte Aussagen über den Wasserhaushalt des Straussees getätigt werden.

4 Bewertung der Wasserbilanz des Straussees (Meilenstein 3)

4.1 Auswertung des Wasserhaushalt Straussee

Mit dem vorliegenden kalibrierten Modell wird im Folgenden der Wasserhaushalt des Stausees analysiert. Hierzu werden die Prozesse der Bilanzgrößen Grundwasser, Oberflächenwasser, direkter Klimaeinfluss (Niederschlag und Verdunstung auf Seefläche) untersucht. Das System kann gemäß Abbildung 4-1 beschrieben werden.

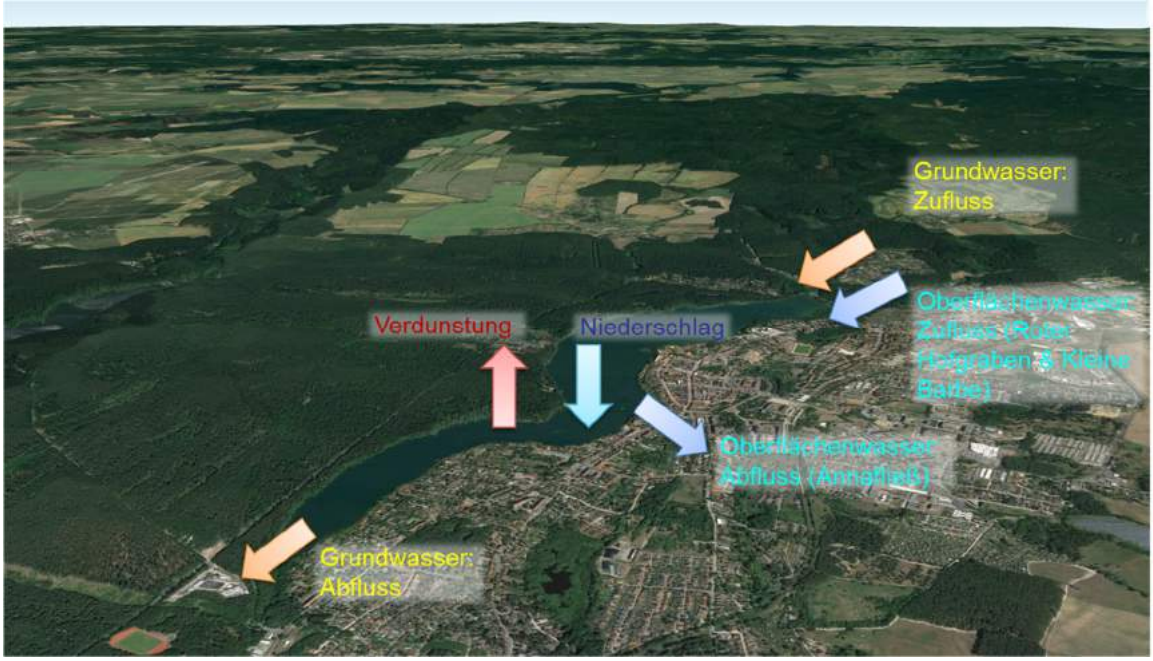


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung der Wasserhaushaltsprozesse des Stausees (Hintergrundkarte Google Earth)

4.1.1 Direkter klimatischer Einfluss

Der Niederschlag der direkt über dem See fällt, wirkt direkt auf den Seewasserspiegel. Dies bedeutet, dass der mittlere Niederschlag von ca. 580 mm/a (vgl. Kap. 2.2.3) zu einem theoretischen Wasserspiegelanstieg von 58 cm führen würde. Da dem jedoch die Seewasserverdunstung von ca. 800 mm/a (vgl. Kap. 2.2.5) entgegenwirkt, kommt es über das Jahr gesehen im Mittel zu einem theoretischen Wasserspiegelabfall von 22 cm. Das Modell berücksichtigt diese Prozesse über den gesamten Zeitraum, denn die Seewasserverdunstung findet verstärkt in den warmen Sommermonaten statt. Die Niederschläge fallen jedoch verstärkt in den kühlen Wintermonaten. Der direkte Klimaeffekt zeigt sich im Seewasserspiegel durch fallende Seewasserspiegel im Sommer und steigende Seewasserspiegel im Winter.

4.1.2 Grundwasseran- und -abstrom

Der Straussee ist ein Durchlaufsee in dem Grundwasser ein- und ausströmen kann. Im Folgenden werden die An- und Abstrom Bereiche mit dem Modell über das Verfahren „Particle Tracking“ dargestellt. Hierbei wird die Bewegung von fiktiven Partikeln im Modell über einen langen Zeitraum (30 Jahre) beobachtet. Das Ergebnis sind Pfadlinien aus denen sich die Grundwasserbewegung sowohl horizontal als auch vertikal durch die Schichten ergeben (Abbildung 4-2).

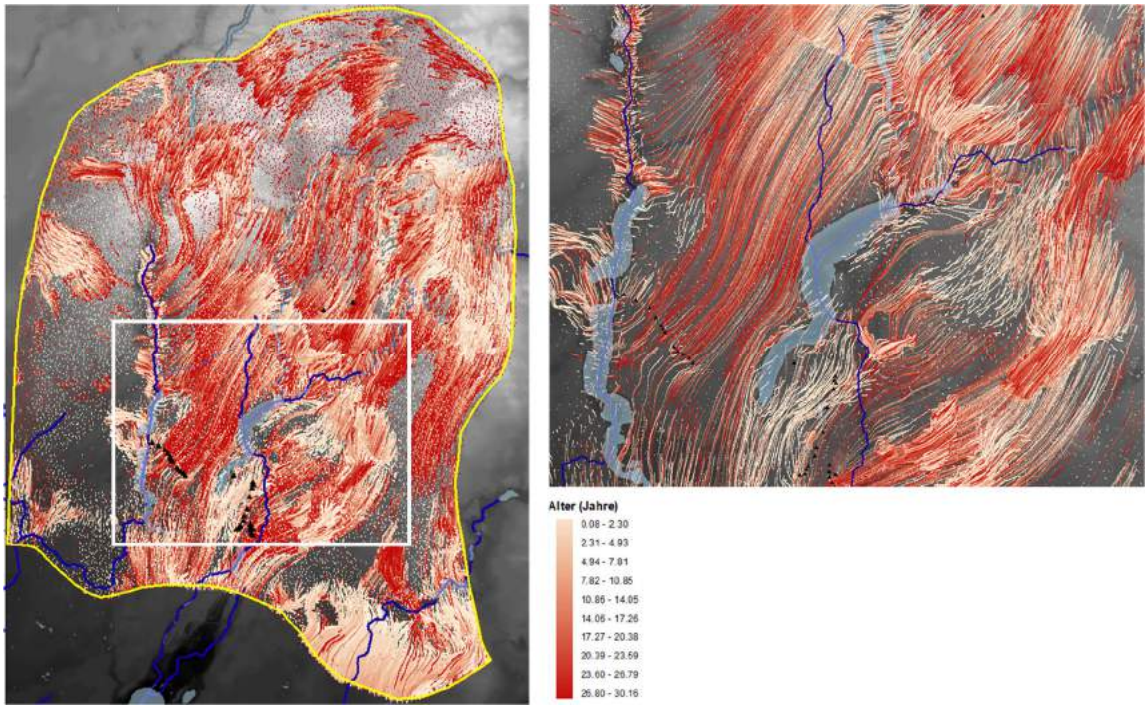


Abbildung 4-2: „Particle Tracking“ (30 Jahre) für das gesamte Modellgebiet mit Partikeleintrag in GWLK1.

Es ist deutlich zu erkennen, dass es Bereiche gibt, in denen eine ausgeprägte Grundwasserbewegung vorhanden ist. Zu diesen gehört auch der Straussee. In den Regionen, in denen keine Fließpfade zu erkennen sind, wird der Wasserhaushalt durch die Evapotranspiration dominiert.

Bei alleiniger Betrachtung der Pfadlinien, die mit dem Straussee Kontakt haben, kann das direkte Grundwassereinzugsgebiet sichtbar gemacht werden. (Abbildung 4-3). Es zeigt sich, dass es drei Anstrombereiche im Norden gibt, aus denen Grundwasser direkt zuströmt:

- 1 Nordufer: Direkter Zustrom aus dem Bereich Schloßsee
- 2 Ostufer: Direkter Zustrom aus dem Bereich Wilkendorf
- 3 Südufer: Direkter Zustrom dem oberflächigen Nahbereich

Der direkte Grundwasserabstrom findet im südlichen Straussee statt. Der Abstrombereich beginnt etwa auf Höhe des Annafließ. Die Pfadlinien des ablaufenden Grundwassers sind stark gebündelt und verlassen das Modellgebiet zwischen Bötzsee und Herrensee.

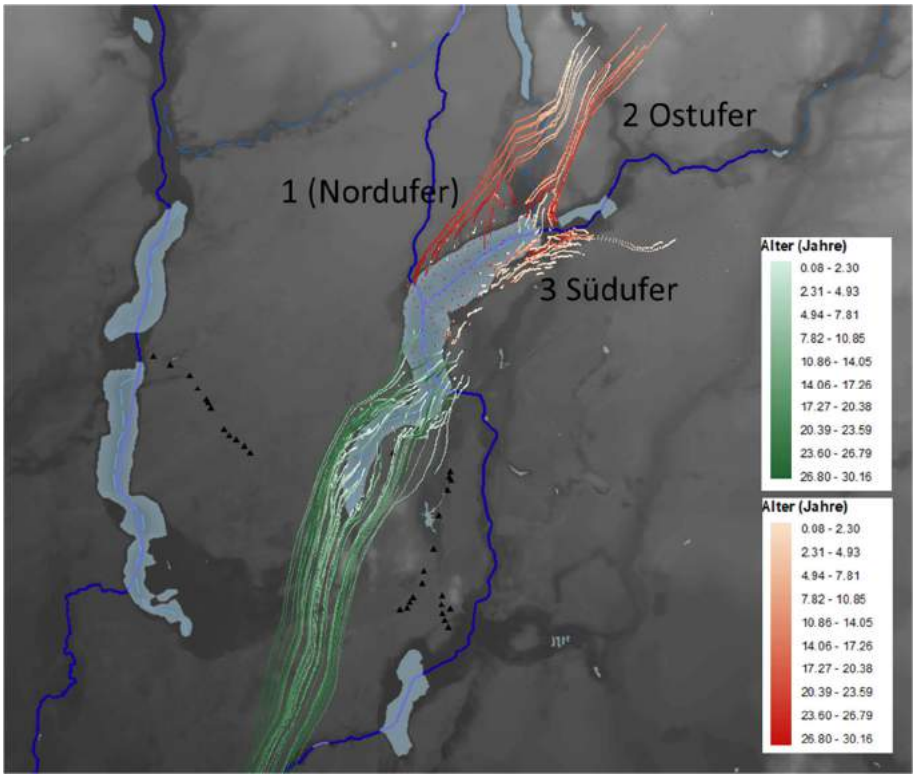


Abbildung 4-3: Darstellung der mit dem Straussee interagierenden Fließpfade für den Zufluss (rot) und den Abfluss (grün) mit Partikeleintrag in GWLK1

Zudem kommt es im GWLK2 zu einem starken Grundwasserstrom, der unter dem Straussee hindurchfließt. Dieser wurde der Übersicht halber nicht dargestellt, da er keine Auswirkungen auf die Wasserbilanz hat.

4.1.3 Zu- und Abfluss aus den Oberflächengewässern

Der Strausseeabfluss (Annafließ) wird über das Ausleitbauwerk (Wehrschwelle) kontrolliert (vgl. Kap. 2.2.2). Aus den Modellergebnissen kann der Ausfluss über das Ausleitbauwerk wie folgt entnommen werden (Abbildung 4-4).

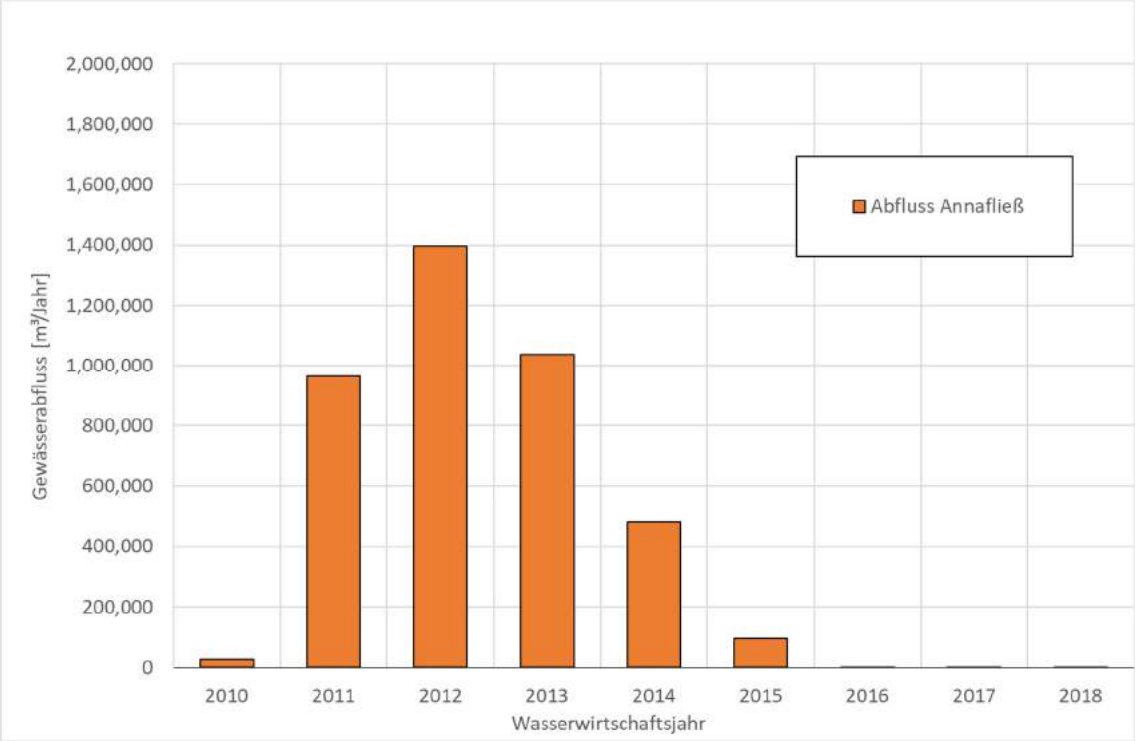


Abbildung 4-4: Jährlicher Abfluss aus dem Straussee über das Annafließ

Es zeigt sich der klimatische Jahresgang, bei dem in den Sommermonaten aufgrund der geringen Seewasserspiegel geringere Abflüsse gegenüber den Wintermonaten herrschen. Ab 2015 fällt der Seewasserspiegel unterhalb der Wehschwelle des Ausleitbauwerks, weshalb es keinen Abfluss aus dem See gibt (Abbildung 3-50).

Die Zuflüsse in den Straussee sind die Kleine Babe (Abbildung 4-5) und der Rote Hofgraben (Abbildung 4-6). Die Kleine Babe liefert aufgrund des kleinen Einzugsgebiets nur temporär geringe Zuflüsse (< 6 l/s) (Abbildung 3-51). Der Rote Hofgraben hat mit einem durchschnittlichen Zufluss von 20 – 80 l/s deutlich höheren Zufluss im Verglich zur Kleinen Babe (Abbildung 3-52).

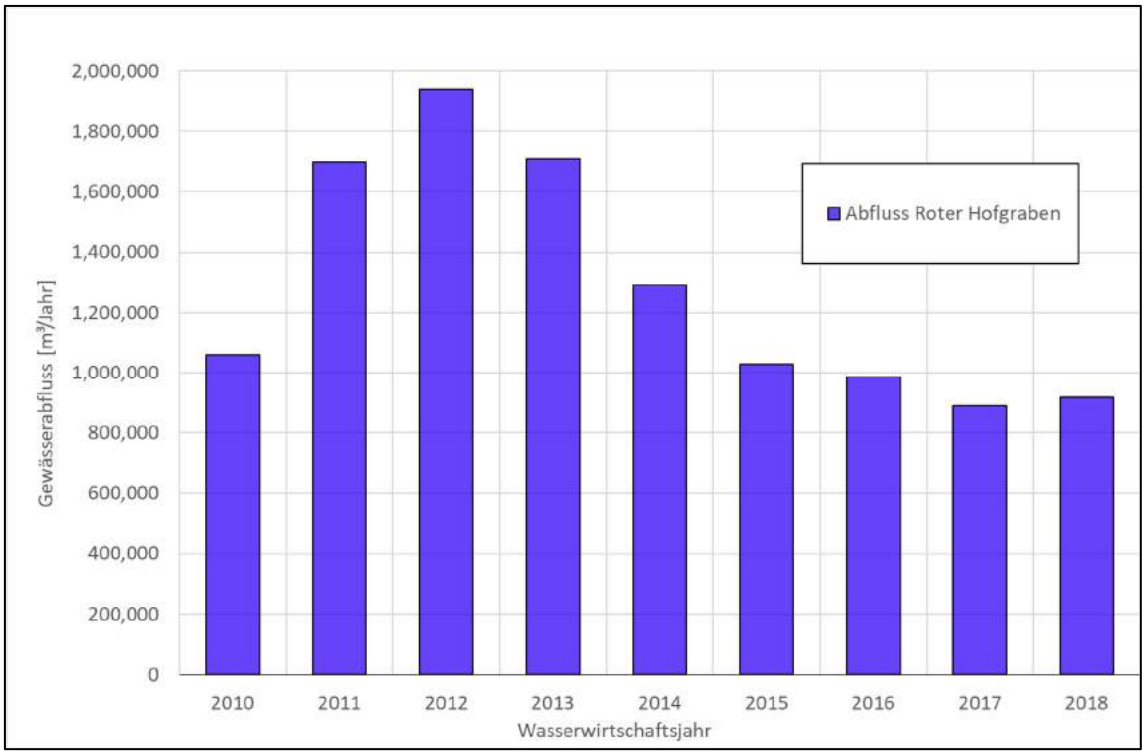


Abbildung 4-5: Jährlicher Zufluss in den Straussee über den Roten Hofgraben

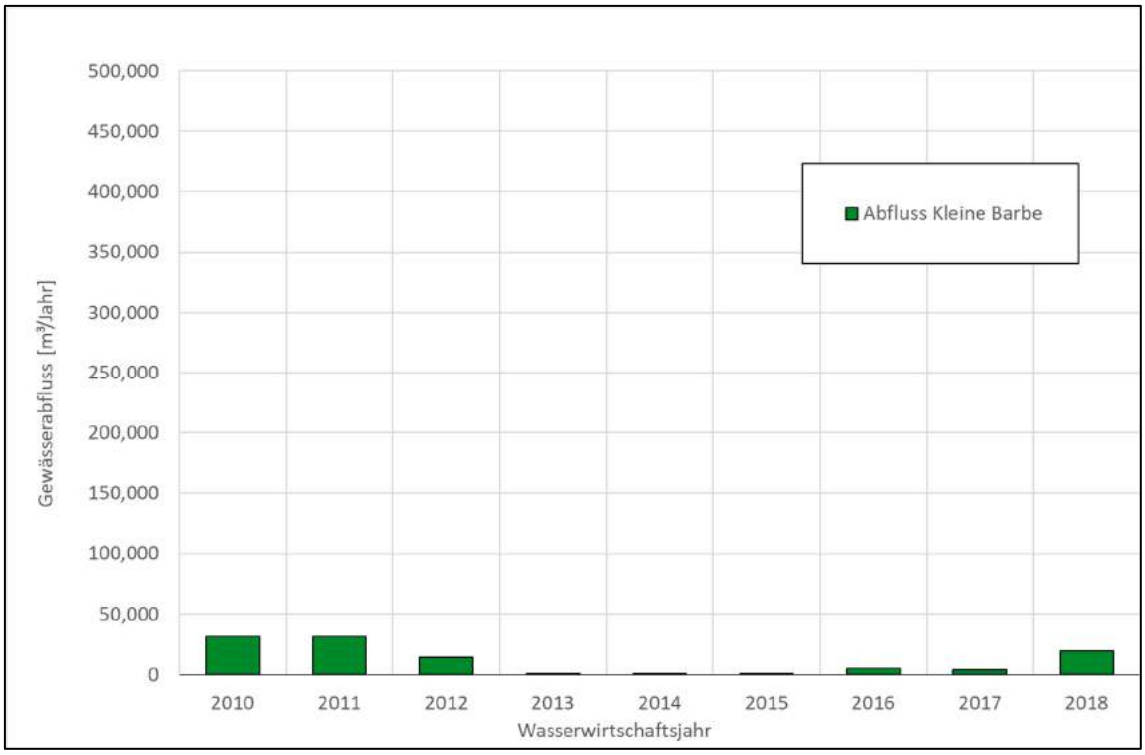


Abbildung 4-6: Jährlicher Zufluss in den Straussee über die kleine Barbe

Der Jahresgang des Roten Hofgraben zeichnet sich durch erhöhte Abflüsse in den Wintermonaten aus. Der Basisabfluss des Gewässers wird aus dem Grundwasserzustrom im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens gebildet. In den Berechnungsergebnissen ist zu erkennen, dass der Basisabfluss ab 2013 bei gleichbleibender Amplitude des Jahresgangs zurückgeht. Dies ist ein Indikator dafür, dass im Einzugsgebiet seit 2013 die Grundwasserstände gefallen sind. Aufgrund

dieser wichtigen Erkenntnis wird im Folgenden auf den Grundwasserzustrom des Roten Hofgraben eingegangen.

Auf Basis des „Particle Tracking“ kann das unterirdische Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens sichtbar gemacht werden (Abbildung 4-7). Hier zeigt sich, dass das Grundwasser über den Schützensee, Klostersee und den Torfstichsee aufgenommen wird und anschließend über den Roten Hofgraben als Zwischenabfluss dem Straussee zufließt.

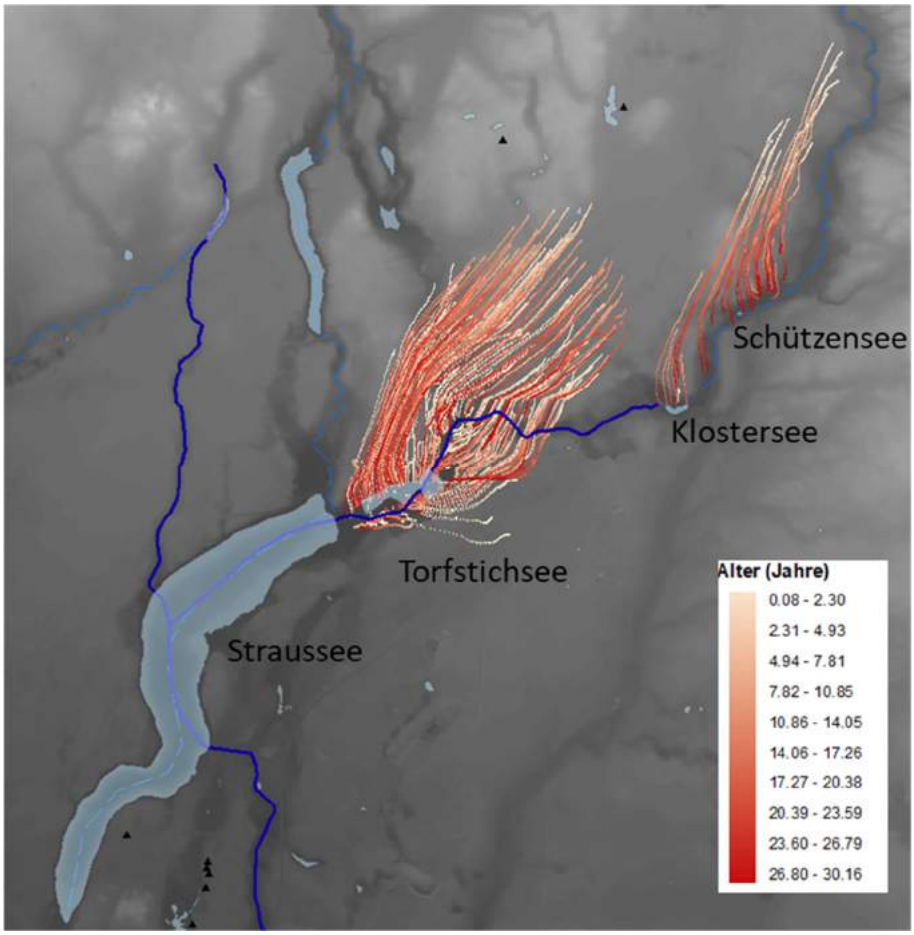


Abbildung 4-7: Darstellung der Pfade über 30 Jahre mit Grundwasserzustrom (Partikeleintrag über GWLK1) in den Roten Hofgraben

Für das Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens werden die Grundwasserneubildungsraten räumlich-zeitlich ausgewertet. In der räumlichen Auswertung zeigt sich eine geringe Variation über die Jahre, da die Landnutzung über die Jahre nahezu konstant geblieben ist. Für das Gebiet werden die gemittelten Neubildungsraten über den Betrachtungszeitraum dargestellt (Abbildung 5-8). Der Abfall des Basiszuflusses ist auf die geringere Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens zurück zu führen.

4.2 Wasserbilanz

Im Folgenden wird die Wasserbilanz für den Straussee auf Jahresbasis erstellt. Hierzu werden die Prozesse der Bilanzgrößen Grundwasser, Oberflächenwasser, direkter Klimaeinfluss (Niederschlag und Verdunstung auf Seefläche) einzeln gegenübergestellt und anschließend zusammengefasst.

4.2.1 Direkter klimatischer Einfluss

In feuchten Jahren kommen durch den Niederschlag bis zu 1 Mio. m³ Wasser in den See. In Trockenen Jahren dagegen nur ca. 0,6 Mio. m³. Durch die direkte Seewasserverdunstung können in warmen Jahren 1,4 Mio. m³ und in nassen Jahren 0,9 Mio. m³ Wasser verdunsten. Die Bilanzsumme dieser beider Größen zeigt, dass der direkte klimatische Einfluss eine negative Bilanzgröße darstellt. Es wird folglich mehr Wasser aus dem Straussee entnommen, als zugeführt wird (Abbildung 4-9).

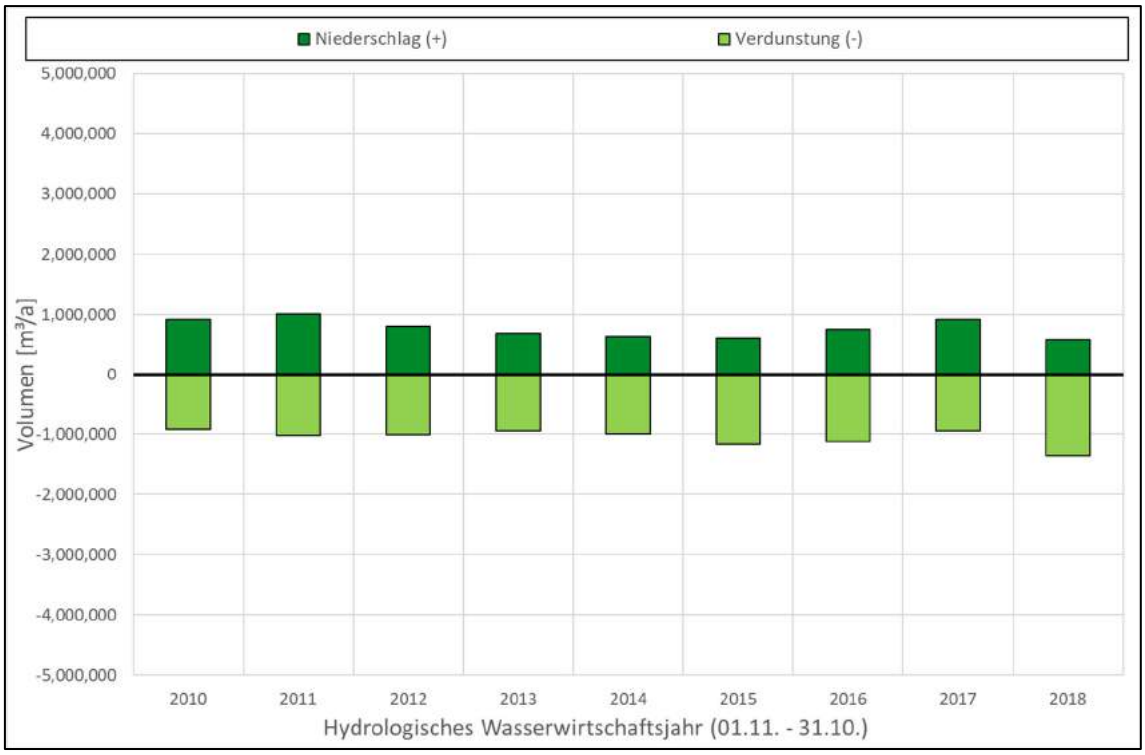


Abbildung 4-8: Wasserbilanz des direkten Klimatischen Einflusses auf den Straussee

Anhand der Jahresbilanzen zeigen sich die kompensierenden Wirkungen. Beispielsweise war 2011 ein warmes nasses Jahr weshalb die hohe Seewasserverdunstung durch die hohen Niederschläge gut kompensiert wurde. Dem gegenüber stehen die Jahre 2015 und 2018 in denen es zu sehr hoher Seewasserverdunstung kam und zudem die Niederschläge gering ausfielen. Die Bilanzsumme ist in diesen Jahren deutlich negativ.

4.2.2 Grundwasseran- und -abstrom

Die Bilanzierung der direkten Zu- und Abströme aus dem Grundwasser zeigen ein über die Jahre gleichbleibendes Verhalten. Im Durchschnitt fließen aus dem Grundwasserkörper 0,8 Mio. m³ dem Straussee zu. Dem gegenüber steht ein Grundwasserabstrom von ca. 1,6 Mio. m³. Dies führt in der Bilanzsumme zu einem deutlichen Defizit von ca. - 0,8 Mio. m³ (Abbildung 4-9)

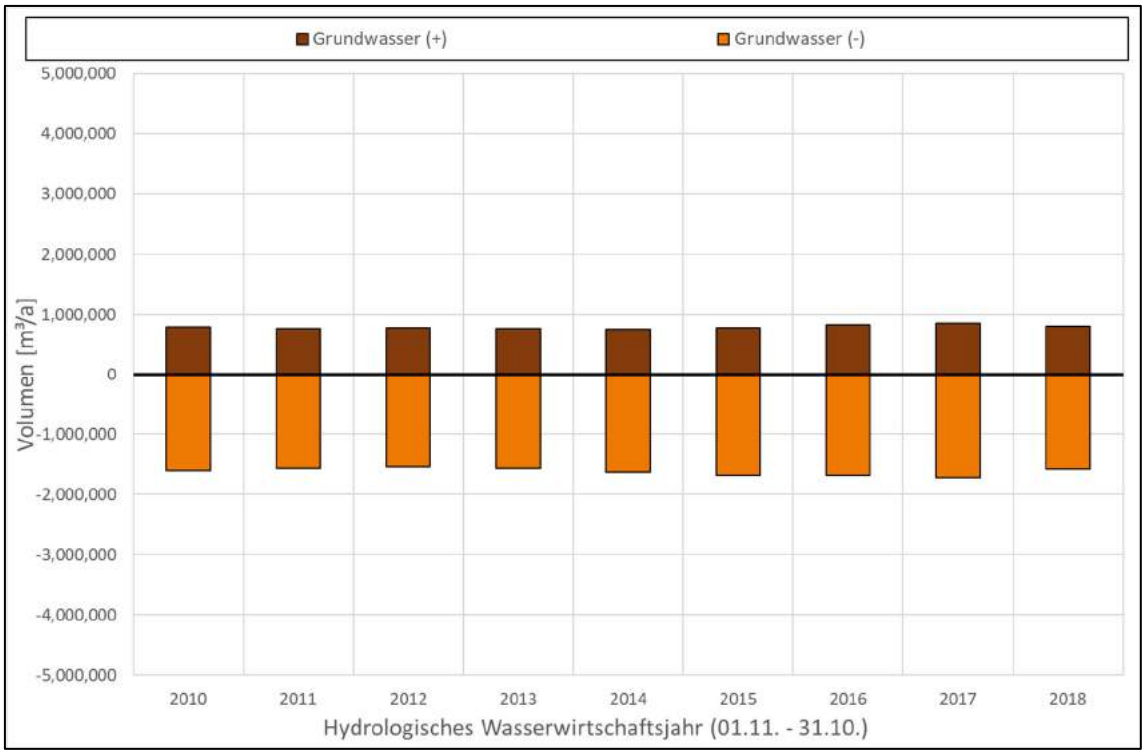


Abbildung 4-9: Wasserbilanz des direkten Grundwasserzu- und -abstroms

Der Straussee gibt mehr Wasser ans Grundwasser ab als er dadurch bezieht. Folglich muss das Defizit durch andere Wasserbilanzgrößen kompensiert werden, um den Wasserstand des Straussee stabil zu halten.

4.2.3 Zu- und Abfluss aus den Oberflächengewässern

Die Auswertung des Wasserhaushalts hat bereits gezeigt, dass in den Bilanzgrößen der Oberflächengewässer die Hydrologie der Einzugsgebiete mit einfließt. Über den maßgeblichen Zufluss Roter Hofgraben und der in der Bedeutung untergeordneten Kleine Babe werden jährlich zwischen 0,9 Mio. m³ - 2,0 Mio m³ Wasser dem Straussee zugeführt. Dem gegenüber steht der Ausfluss (0,0 Mio. m³ - 1,3 Mio m³) ins Annafließ, der durch das Auslaufbauwerk nur bei Strausseewasserständen > Normalstau: 65,49 m NN aktiv wird (vgl. Kap. 2.2.2). Die Bilanzgröße des Abflusses ist daher eine Funktion des Seewasserspiegels und weniger ein natürlicher Prozess (Abbildung 4-11).

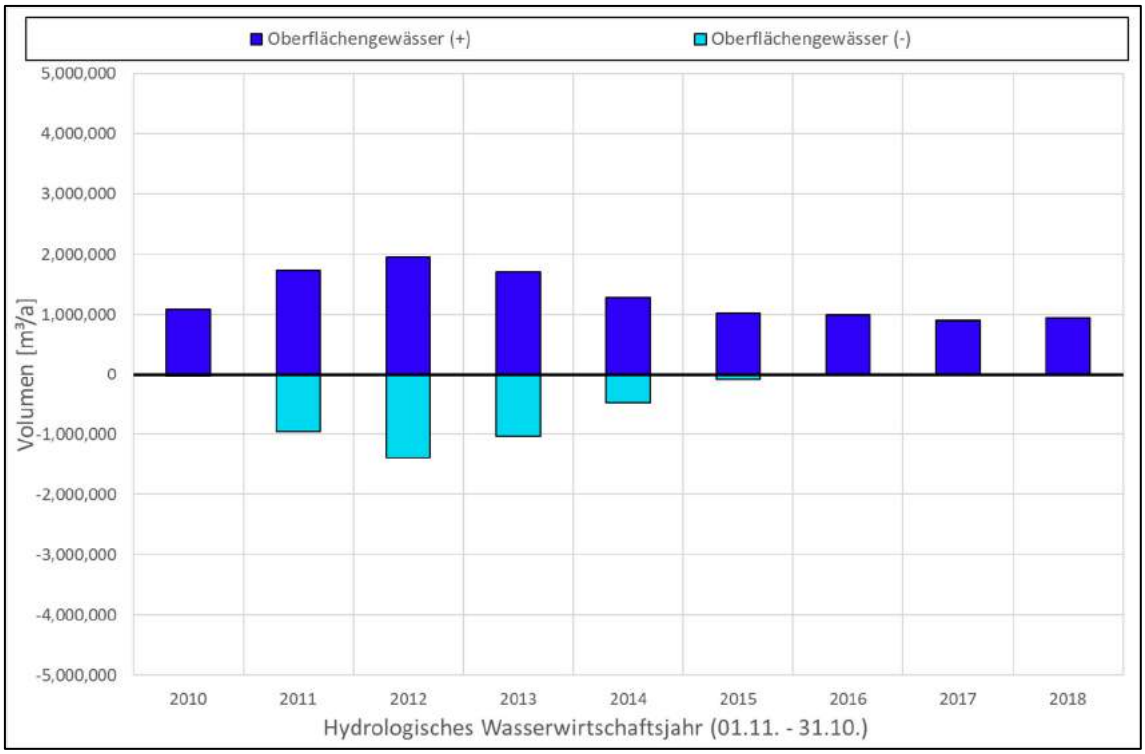


Abbildung 4-10: Wasserbilanz der Zu- und Abflüsse

Über die Oberflächengewässer und deren zugehörigen Einzugsgebiete wird der Straussee maßgeblich mit Wasser versorgt.

4.2.4 Bildung der Gesamtbilanz

Zusammenfassend werden alle positiv und negativ gerichteten Bilanzgrößen addiert. In Summe fließen dem Straussee 2,5 Mio. m³ - 3,5 Mio. m³ Wasser zu. Dem gegenüber steht ein Abfluss von 2,5 Mio. m³– 4,0 Mio. m³. Der Wasserhaushalt des Straussees weist von 2010 – 2018 eine negative Bilanz auf, weshalb der Seewasserstand gesunken ist (Abbildung 4-11).

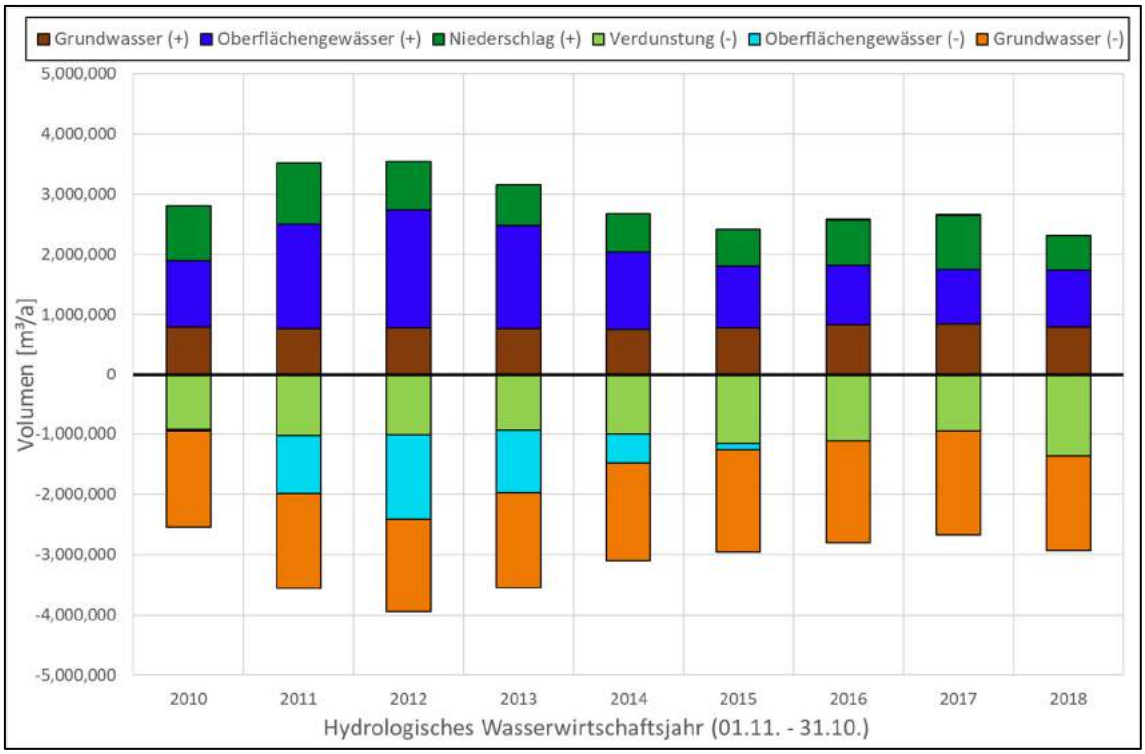


Abbildung 4-11: Summierte Wasserbilanz der positiv und negative gerichteten Bilanzgrößen

Die Bilanzierung zeigt deutlich, dass die direkten klimatischen Einflüsse auf den Seewasserhaushalt und der Grundwasserabstrom durch die Zuflüsse aus dem Roten Hofgraben kompensiert werden müssen, um ein stabiles System zu schaffen (Abbildung 4-12).

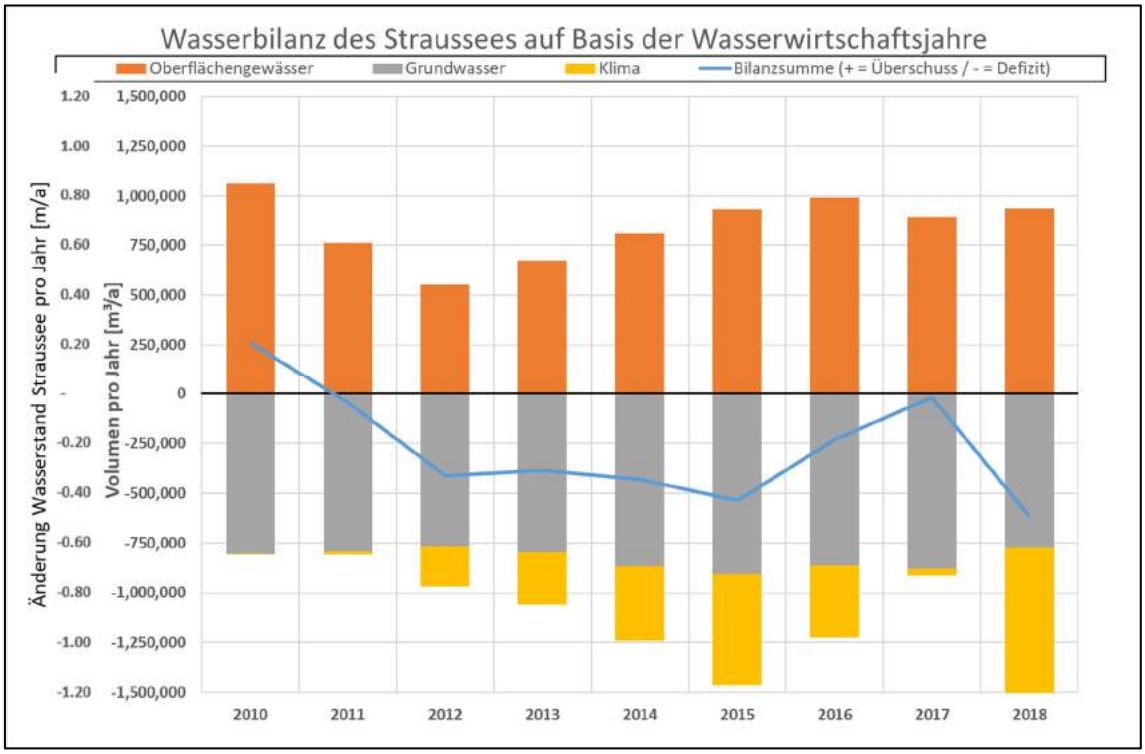


Abbildung 4-12: Differenzen der Bilanzgrößen Klima, Grundwasser und Oberflächengewässer mit Darstellung des Wasserdefizits und den Auswirkungen auf den Strausseewasserstand.

Obwohl in den Jahren 2011 – 2014 der Rote Hofgraben erhöhte Zuflüsse lieferte, ist im Jahr 2012 ein Wasserspiegelabfall von 0,35 m zu beobachten. Es zeigt sich, dass in diesem Jahr zu viel Wasser in das Annafließ abgegeben wurde. Ab 2012 nimmt das Defizit aus dem Klimaeffekt zu, was durch die Zuflüsse aus dem Roten Hofgraben nicht mehr kompensiert werden kann. Mit dem Trockenfallen des Auslaufbauwerks verringert sich das Defizit in den Jahren 2016 – 2017 deutlich. Im Jahr 2017 Ist der Wasserstand des Straussees annähernd stabil. Obwohl im Jahr 2018 kein Ausfluss in das Annafließ möglich war, zeigt sich ein sehr hohes Wasserdefizit von 0,5 m Wasserspiegellagenänderung. Dieser Effekt ist nicht alleinig auf die geringen Zuflüsse aus dem Roten Hofgraben zurückzuführen. Es kommt zu einer Überlagerung der klimatischen Defizite, da dieses Jahr besonders warm und trocken war.

Das Klimageschehen ist die maßgeblich treibende Kraft, die zur Destabilisierung des Straussee-wasserhaushalts beiträgt. Sie wirkt sowohl direkt auf den Straussee als auch auf das Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens.

4.3 Bewertung der Grundwasserentnahmen

In Abbildung 4-13 sind anhand der Rückwärtspartikel für 30 Jahre die Zustrombereiche zu den Förderbrunnen der zwei Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg dargestellt. Der Anstrom zu den Wasserfassungen erfolgt aus nördlicher beziehungsweise nordöstlicher Richtung. Es ist deutlich erkennbar, dass durch die Förderbrunnen keine Wasserentnahme direkt aus dem Straussee erfolgt. Das Modellergebnis ist übereinstimmend mit den Isotopenanalysen. Die Grundwasserentnahmen beeinflussen jedoch das Grundwassergefälle und haben dadurch indirekt Auswirkungen auf den Seewasserstand.

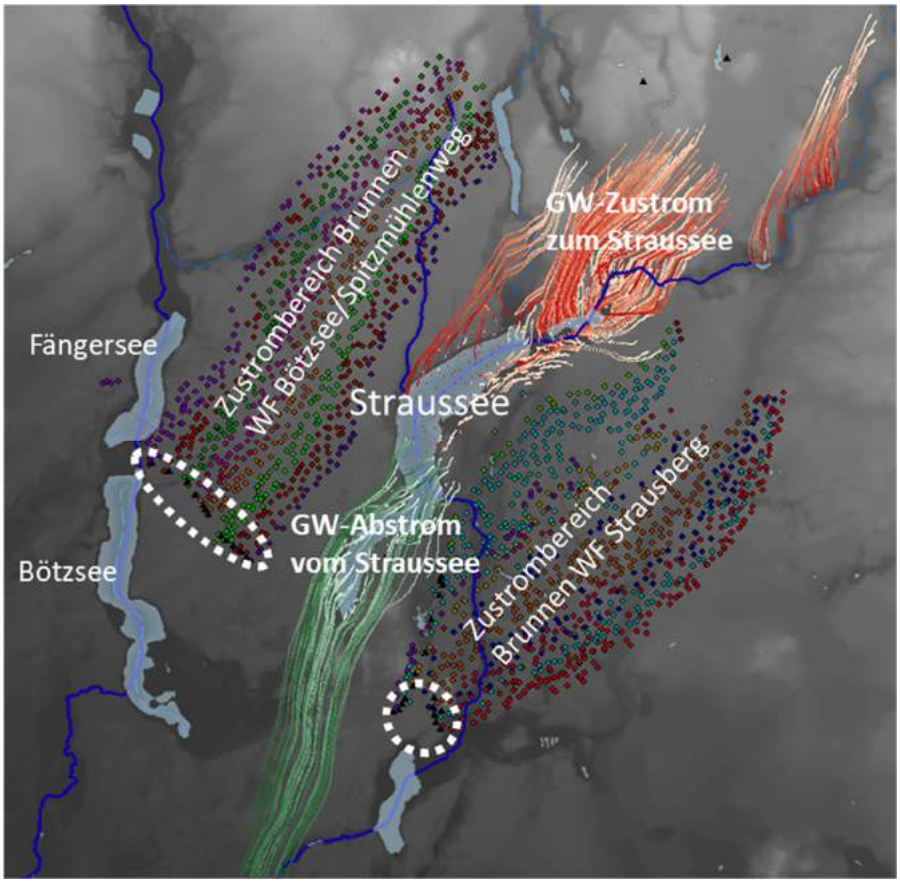


Abbildung 4-13: Zustrombereiche zu den zwei Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg (Rückwärtspartikel 30 Jahre) und mit dem Straussee interagierenden Fließpfade für den Zufluss (rot) und den Abfluss (grün)

Um zu bewerten, welchen Einfluss die Grundwasserentnahmen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg auf den Wasserspiegel im Straussee haben, wurden in einem Berechnungsszenario die Fördermengen aus Null gesetzt. In Abbildung 4-14 sind die berechneten Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass das Einzugsgebiet des Straussees durch die Grundwasserentnahmen der zwei Fassungen östlich und westlich des Sees geprägt ist. Ohne diese Grundwasserentnahmen würde sich ein wesentlich höherer Wasserspiegel einstellen, der zwar in den letzten, trockenen Jahren einen abfallenden Trend aufweist, die Wasserspiegelabnahme im Straussee ist jedoch deutlich geringer.

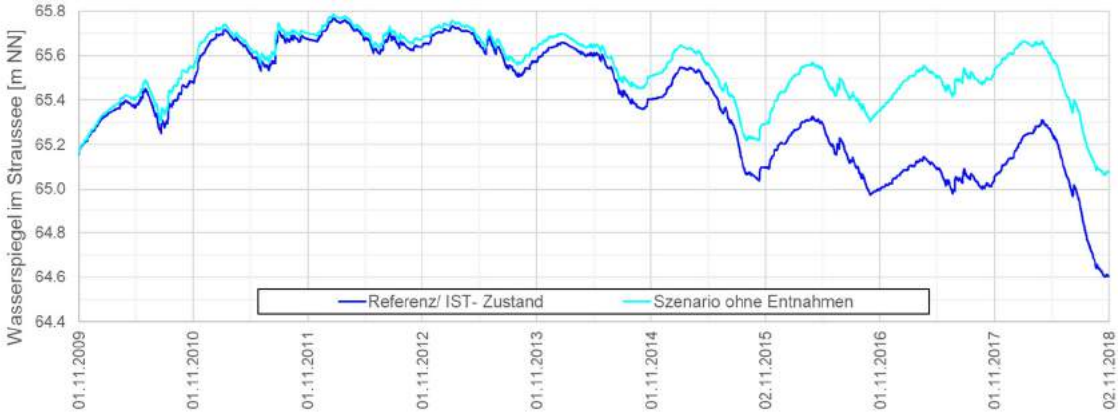


Abbildung 4-14: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg.

Zurückzuführen ist der sich einstellende höhere Seewasserspiegel auf einen im Vergleich zum aktuellen Zustand deutlich geringeren Grundwasserabfluss (Abbildung 4-15). Ohne die Grundwasserentnahmen stellen sich höhere Grundwasserspiegel ein. Abbildung 4-16 zeigt dies anhand des Grundwasserdifferenzenplans im Vergleich zum Referenzzustand. Weil der Grundwasserspiegel insbesondere abstromig vom See ca. 1,0 – 1,5 m höher liegen würde, würde der Gradient geringer sein und somit weniger Grundwasserabfluss aus dem See erfolgen. Der Einfluss der Grundwasserentnahmen auf den Seewasserspiegel wird vor allem in den trockenen Jahren deutlich. Abbildung 4-15 zeigt auch, dass sich ohne die Grundwasserentnahmen ebenfalls etwas geringere Grundwasserzuflüsse einstellen würden. Da der Wasserspiegel im Straussee bis zu 0,5 m höher liegen und damit im Zustrombereich höher ansteigen würde im Vergleich zum Grundwasserspiegel, stellt sich ein geringerer Grundwassergradient im Zustrombereich ein, der zu geringeren Grundwasserzuflüssen zum See führt. Die Differenz zum Referenzzustand ist allerdings wesentlich geringer als beim Grundwasserabfluss.

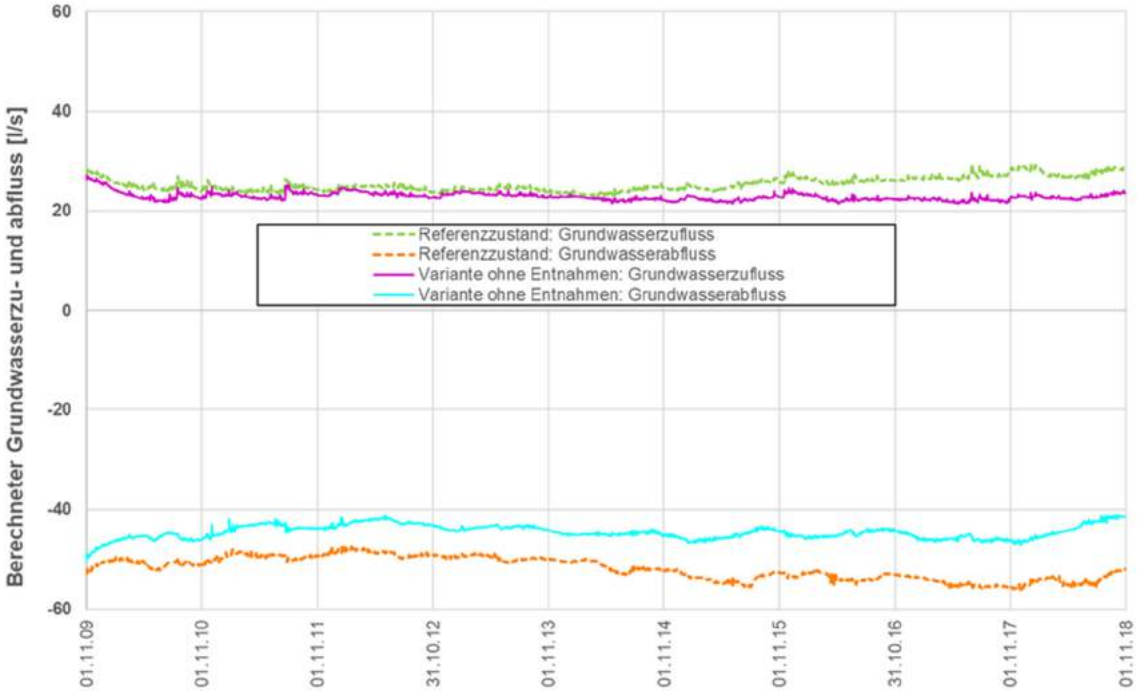


Abbildung 4-15: Berechnete Grundwasserzu- und -abflüsse im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg.

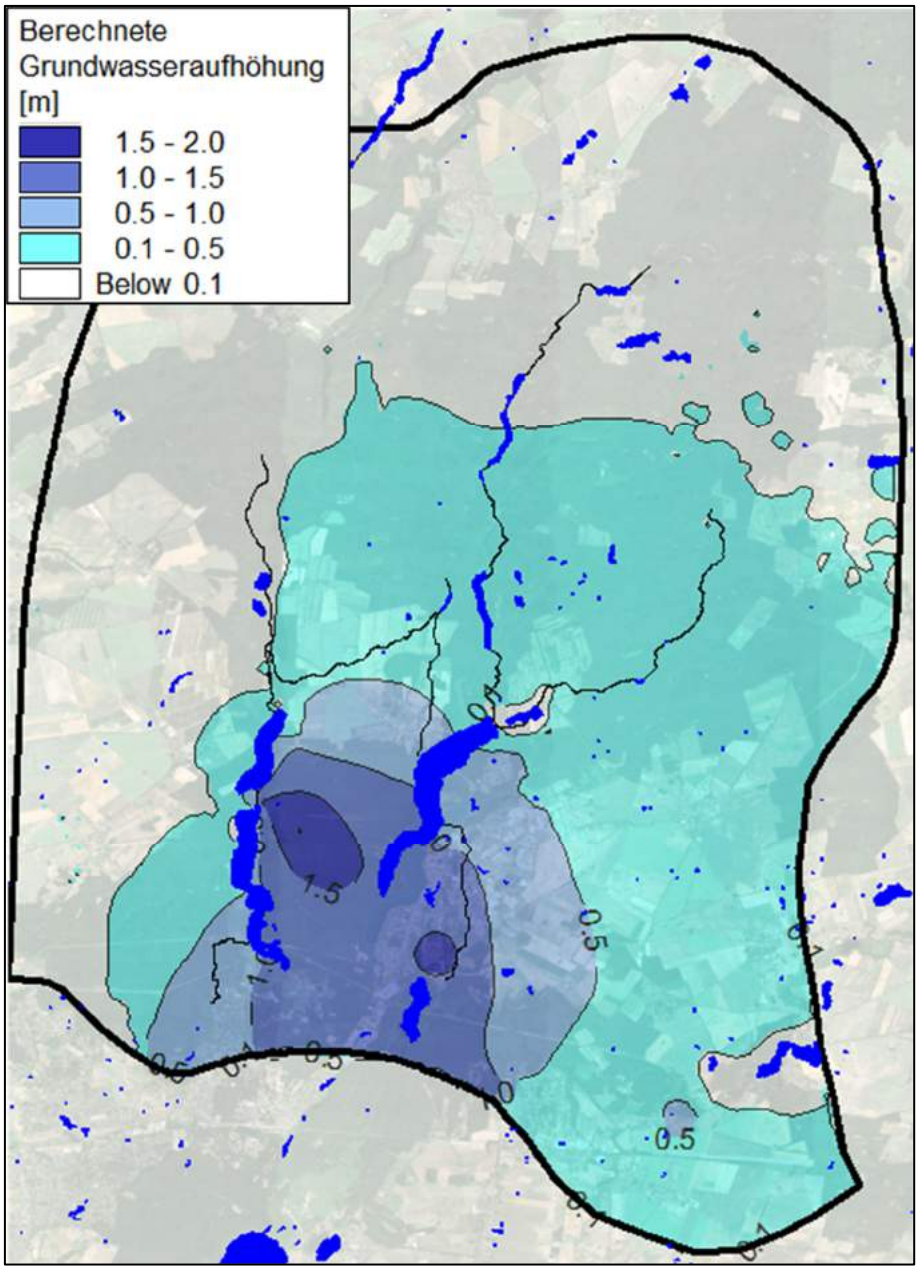


Abbildung 4-16: Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der auf Null gesetzten Fördermengen in den Wasserfassungen Strausberg und Bötzsee/ Spitzmühlenweg im Vergleich zum IST-Zustand.

Die Auswirkung der Entnahmen am Golfplatz wurden ebenfalls untersucht. Durch den Wegfall dieser Entnahmen im Grundwasserzustrombereich des Sees würde sich ein bis zu 2 cm höherer Wasserspiegel im Straussee einstellen.

4.4 Monitoringkonzept

Im Ergebnis der Modellierung und im Hinblick auf die Frage des Gebietswasserhaushaltes des Strausees wurde im nächsten Schritt ein Monitoringkonzept entwickelt, welches alle nötigen prozessbezogenen Parameter überwacht. Dazu zählen:

- Grundwasserstände
- Oberflächenwasserstände
- Zu- und Abflüsse der wichtigsten Oberflächengewässer
- Klimadaten
- Entnahmemengen von Brunnen

Ein Großteil der Daten wird bereits von LfU, WSE und DWD erfasst. Es wird empfohlen die Parameter 1-mal monatlich zu messen. Zudem sollte 1-mal im Jahr eine großräumige Stichtagsmessung durchgeführt werden, um die übergeordnete Grundwasserfließrichtung ermitteln und das Einzugsgebiet abgrenzen zu können. Eine Übersicht zu allen bekannten GWMS ist Anlage 5 zu entnehmen.

Grundwasserstände

Als Basis des Monitorings wurden die bekannten Grundwassermessstellen verwendet, welche sich im Monitoring des LfU's befinden und mit einem Datenlogger ausgestattet sind sowie die bekannten Grundwassermessstellen, an denen regelmäßige Wasserstandsmessungen vom WSE erfolgen. Vom WSE und vom LfU erfolgt die Wasserstandsmessung bereits an einer großen Anzahl von Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet, jedoch wird sowohl der Nahbereich als auch der Anstrombereich des Straussees nicht hinreichend überwacht. Aus diesem Grund wurden in diesen Bereichen Grundwassermessstellen ausgewählt, an welchen ebenfalls innerhalb eines Monitorings regelmäßige Wasserstandmessungen erfolgen sollten. Die Auswahl der GWMS erfolgte in erster Linie auf dem Ergebnis der Stichtagsmessung April 2019 und den Daten vom LfU. Durch die Stichtagsmessung im April 2019 ist bekannt, bei welchen GWMS eine Wasserstandsmessung möglich ist und an welchen GWMS aufgrund von Defekten oder anderen Ursächlichkeiten keine Messung möglich war. Im Nah- und Anstrombereich des Straussees wird empfohlen 5 weitere GWMS in ein Monitoring mit einzubeziehen. Die GWMS, an denen durch das LfU oder den WSE eine regelmäßige Überwachung des Wasserstandes erfolgt sowie die zusätzlichen sind der nachfolgenden Abbildung und Anlage 4 zu entnehmen.

Abbildung 4-17: Übersicht Monitoringkonzept (Anlage 4)

In der GWMS HySu1/70OP (Gielsdorf) betreibt das LfU einen Datenlogger. In der dazugehörigen HySu1/70UP, welche im Hauptgrundwasserleiter verfiltert ist, fehlt jedoch seit Jahren ein funktionstüchtiger Datenlogger. Laut Aussagen des LfU ist der Datenloggerbetrieb in dieser Messstelle bereits vorgesehen und wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen.

Im nördlichen Einzugsgebiet liegen keine bekannten, funktionstüchtigen GWMS vor. Deshalb wird empfohlen 2 neue GWMS zu errichten, um den Anstrombereich überwachen zu können. Aufgrund der Relevanz des Anstrombereichs wird auch hier empfohlen die Grundwassermessstellen mit Datenloggern auszustatten.

Des Weiteren wird empfohlen, einen Abgleich mit dem Grundwassermonitoring des WSE durchzuführen, um keine GWMS in verschiedenen Messprogrammen zu überwachen. Es sollte ein Austausch der Daten zwischen den Beteiligten erfolgen.

Oberflächenwassermessstellen

Im Einzugsgebiet existieren 3 Oberflächenwassermessstellen, welche vom LfU betrieben werden. Die Lage der OWMS kann aus der Abbildung 4-18 entnommen werden. Zu den bestehenden OWMS liegen auch langjährige Ganglinien vor. Zur Erweiterung des Prozessverständnisses wird zudem empfohlen einen Pegel im Roten Hofgraben am Zufluss zum Straussee zu installieren und zu überwachen. Es sollten sowohl die Wasserstände der Seen als auch die Abflussmengen der Zuflüsse zu überwachen.

Abbildung 4-18: Bestehende (blau) und empfohlene (rot) OWMS im Einzugsgebiet (Topografische Karte vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019)

Klimadaten

Für die Erstellung einer Wasserbilanz sind Klimadaten unerlässlich. Aus ihnen kann die Grundwasserneubildung sowie die Seewasserverdunstung unter bestimmten Bedingungen abgeleitet werden. Für die Überwachung der klimatischen Bedingungen steht die Niederschlagsstation Strausberg (ID 4912) zur Verfügung.

Entnahmemengen

Um eine Gesamtwasserbilanz erstellen zu können, sind genaue Kenntnisse über die Brunnenentnahmemengen notwendig. Die Fördermengen aller aktiven Brunnen sollten monatlich dokumentiert werden. Zum Zeitpunkt von großräumigen Stichtagsmessungen ist zudem ein Tageswert der Entnahmemenge von Interesse, um die gemessenen Absenktrichter an den Brunnen bewerten zu können.

4.5 Maßnahmenableitung

Aus der in Abbildung 4-12 dargestellten jährlichen Wasserbilanz des Straussees wurde das Defizit abgeleitet und in Tabelle 4-1 in verschiedene Maßeinheiten umgerechnet, um die Defizitmengen vergleichbar zu anderen Mengenangaben aufzuzeigen (Zuflüsse, Fördermengen). Das Defizit beträgt in den Jahren 2012 bis 2014 ca. 13 l/s, im Jahr 2015 ca. 17 l/s und 2018 fast 20 l/s (entspricht 2 Wassereimern pro Sekunde). In den Jahren 2016 und 2017 lag das Wasserdefizit im Straussee bei ca. 7 l/s bzw. sogar kleiner 1 l/s. Im Mittel betrug das Wasserdefizit über die Jahre 2012 – 2018 ca. 14 l/s (1‘200 m³/d).

Tabelle 4-1: Jährliche Defizitmengen als Grundlage für die Abschätzung des Wasserbedarfs für Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushalts.

Hydrologisches Jahr	Bilanz [m³/a]	Defizit [m³/a]	Defizit [m³/Monat]	Defizit [m³/d]	Defizit [m³/s]	Defizit [l/s]
2010	258’342					
2011	-43’038	43’038	3’587	118	0,001	1,4
2012	-412’075	412’075	34’340	1’126	0,013	13,0
2013	-386’573	386’573	32’214	1’059	0,012	12,3
2014	-429’390	429’390	35’783	1’176	0,014	13,6
2015	-534’053	534’053	44’504	1’463	0,017	16,9
2016	-232’630	232’630	19’386	636	0,007	7,4
2017	-19’846	19’846	1’654	54	0,001	0,6
2018	-613’908	613’908	51’159	1’682	0,019	19,5

Die Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushalts im Straussee lassen sich anhand der in Kapitel 4.2 dargestellten Wasserbilanz ableiten. Da in die klimatischen Bedingungen nicht eingegriffen werden kann und auch die Verdunstung auf dem See nicht reduziert werden kann, sind Maßnahmen mit dem Ziel der Erhöhung der Zuflüsse aus Grund- und Oberflächenwasser sowie der Reduzierung des Grundwasserabstroms zu untersuchen.

Eine Maßnahme zum Ausgleich des Wasserdefizits könnte die Überleitung aus dem benachbarten Fängersee/ Bötzsee sein. Die für den Bötzsee vorliegende Wasserspiegelganglinie zeigte bisher keinen abfallenden Trend wie im Straussee (s. Abbildung 4-19). Allerdings zeigen die Durchflussmessungen in den Sommermonaten oft sehr geringe Abflüsse (z. B. Sommer 2006 und 2008 bis 2010). 2016 und 2018 fielen die Abflüsse sogar aus, 2017 waren sie auch nahe Null. Eine Überleitung von Wasser in den Straussee wäre daher nur im Winterhalbjahr November bis April möglich, um den Wasserspiegel im Straussee vor dem sommerlichen Abfall anzuheben. Ob die benötigten Mengen im Fängersee/ Bötzsee prinzipiell zur Verfügung stehen, ist zu prüfen (Maßnahme 1). Bei der Bewertung der Maßnahme ist zu beachten, dass das abgeleitete Wasser dann im Unterlauf des Bötzsees fehlen und die schon angespannte Abflusssituation weiter verschärfen wird.

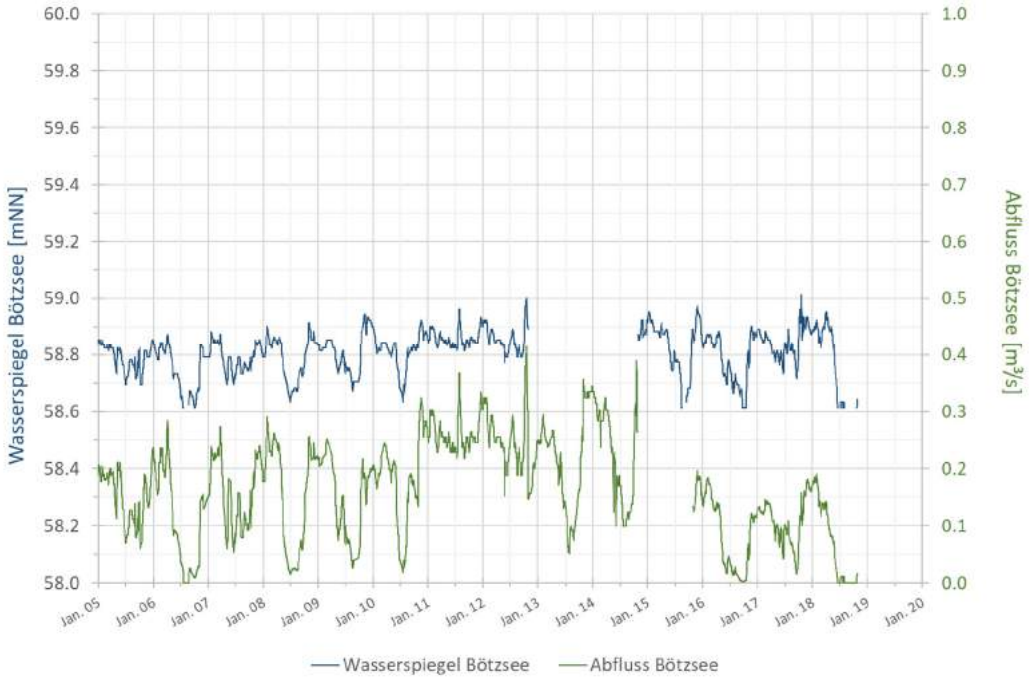


Abbildung 4-19: Wasserspiegel- und Abflussganglinien des Bötzsees am Pegel Eggersdorf.

Eine weitere zu prüfende Maßnahme ist die Reduzierung der seit 2014 stark gestiegenen Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg auf das Niveau vor 2014 (Maßnahme 2). Wie die Darstellung der monatlichen Fördermengen in Abbildung 4-20 zeigt, sind nach dem Umbau des Wasserwerks mit durchgängigem Filterbetrieb im Winter die Fördermengen in den Wintermonaten von ca. 75.000 m³/Monat auf 150.000 m³/Monat gestiegen. Einen viel größeren Anstieg weisen aber vor allem die Fördermengen in den Sommermonaten auf. Die monatlichen Grundwasserentnahmen stiegen in den letzten Jahren von ca. 150.000 – 250.000 m³/Monat auf über 250.000 bis zu 400.000 m³/ Monat an (Abbildung 4-21). Es ist zu prüfen, ob sich eine Reduzierung der Fördermengen auf das Niveau von 2012 (entspricht den langjährigen mittleren Entnahmen) auf den Wasserspiegel im Straussee auswirkt.

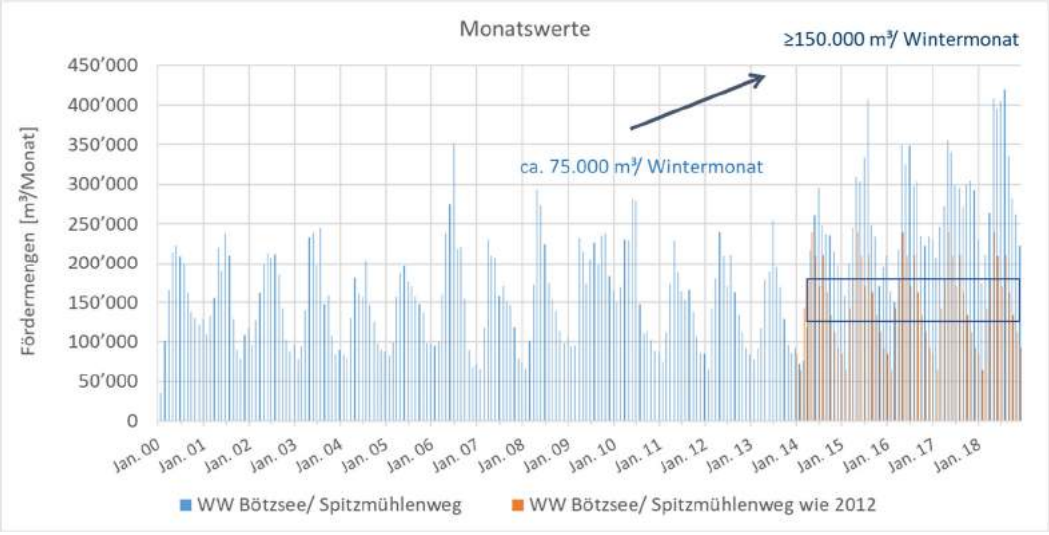


Abbildung 4-20: Anstieg der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg seit 2014 in den Wintermonaten aufgrund des durchgängigen Filterbetriebs und Gegenüberstellung mit den Monatsmengen aus 2012.

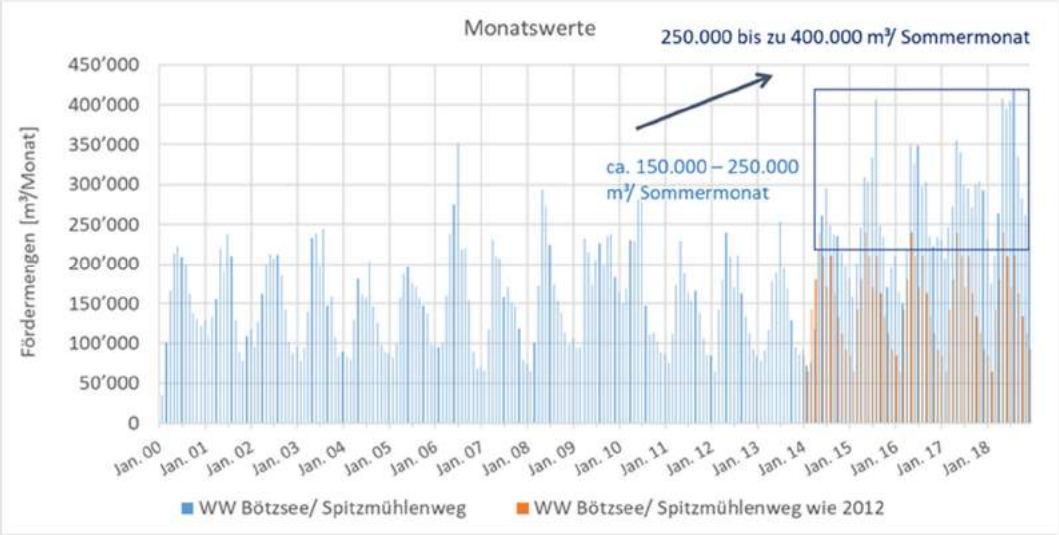


Abbildung 4-21: Anstieg der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg seit 2014 insbesondere in den Sommermonaten und Gegenüberstellung mit den Monatsmengen aus 2012.

Des Weiteren stellen Maßnahmen zur Erhöhung des Zuflusses aus dem Roten Hofgraben als wesentlichen oberirdischen Zufluss eine Möglichkeit zur Stabilisierung des Wasserhaushalts im Straussee dar. Das unterirdische Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens ist überwiegend mit Kiefernwäldern bewachsen, die eine sehr hohe Transpirationsrate aufweisen. Eine Änderung der Landnutzung (Waldumbau, Wiesen) kann eine Erhöhung der Grundwasserneubildung und somit der Grundwasserstände und des Grundwasserzuflusses zum Gewässer bewirken (s. Abbildung 4-22 und Abbildung 4-23). Das Potential dieser Maßnahme in Bezug auf Erhöhung des Wasserspiegels im Straussee wird geprüft (Maßnahme 3).

Abbildung 4-22: Roter Hofgraben vor Mündung in den Straussee.

Abbildung 4-23: Grundwasserzutrittsbereich am Nordufer.

Prinzipiell ist bei allen Maßnahmen zu bedenken, dass im Einzugsgebiet zukünftig weniger Wasser zur Verfügung stehen wird und daher ist abzuwägen, wie das Wasser verteilt wird und welche Prioritäten gesetzt werden. Die Wasserzuleitung aus anderen Einzugsgebieten würde aufgrund der allgemein angespannten Wassersituation die Probleme verlagern.

Eine Standortprüfung für neue Fassungsstandorte außerhalb des Einzugsgebiets könnte die Konflikte am Straussee entschärfen. Die Standortfindung ist modellgestützt möglich, ist aber nicht Bestandteil dieses Gutachtens.

Die Einleitung von Klarwasser durch Überleitung von gereinigtem Abwasser in das Einzugsgebiet des Straussees stellt grundsätzlich auch eine weitere Möglich zur Stützung des Gebietswasserhaushalts dar. Hierfür sollte das Klärwerk über eine fünfte Reinigungsstufe verfügen. Die Reinigungsleistung des derzeit genutzten Klärwerks Münchehofe beträgt bei Trockenwetter ca. 42.500 m³/Tag. Dies entspricht einem kontinuierlichen Abfluss ca. 490 l/s. Die Überleitung und damit Rückführung eines Teilstromes wäre eine Option, die in Betracht gezogen werden kann. Grundsätzlich wäre an dieser Stelle zu entscheiden, ob eine vollständige Wasseraufbereitung im heutigen Klärwerk Münchehofe erfolgt und das gereinigte Wasser zurückgeführt wird, oder ob im Rahmen der Erweiterung der Verbandskapazitäten ein separates Klärwerk mit Wasserableitung in das Einzugsgebiet des Straussees errichtet wird.

Die Steigerung der Niederschlags-Entwässerungsmenge der Stadt Strausberg in den Straussee ist von untergeordneter Bedeutung. Gemäß Generalentwässerungsplan (Abbildung 4-24) können nur die Teilgebiete C1, C3, C6 und K1 auf Grund der topografischen Lage des Hauptvorfluters des Annafieß in den Straussee einleiten. Hinzu kommen die Einleitungen der Bundeswehr (Teilgebiet A1) in den Roten Hofgraben und des Teilgebiet A2 in den Torfstich.

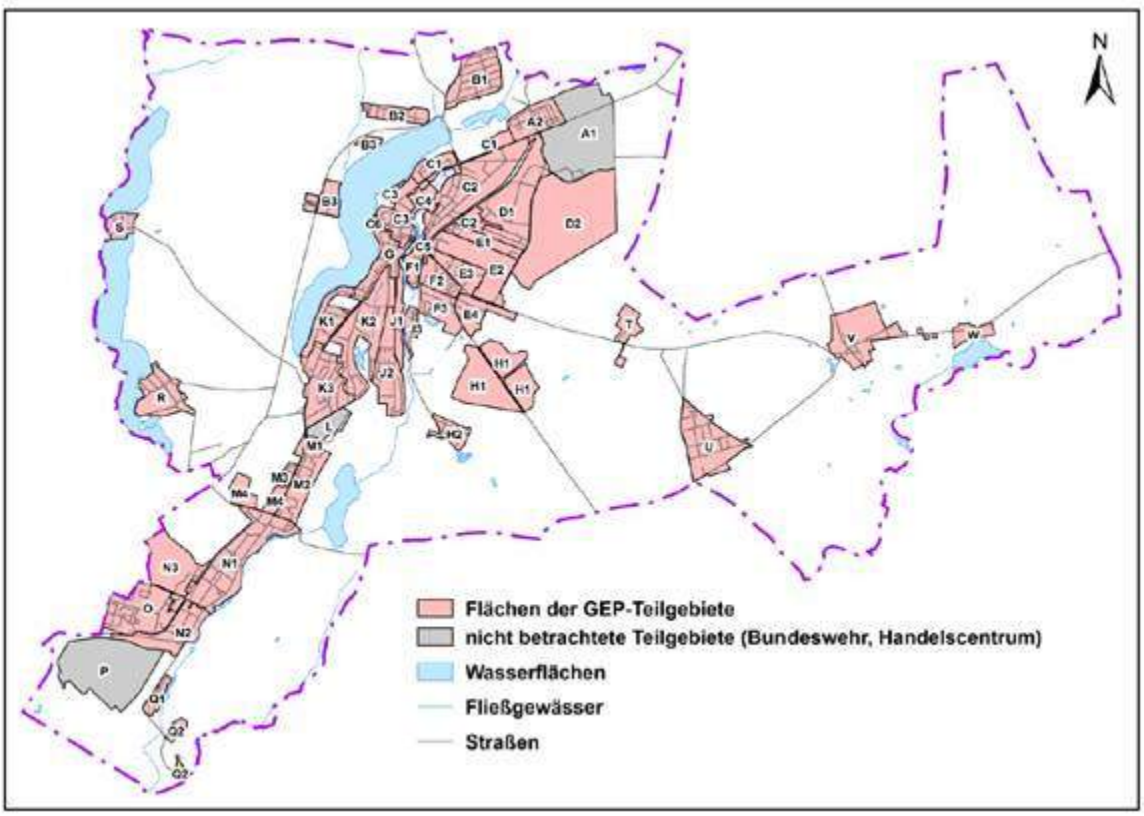


Abbildung 4-24 Teilgebiete des Generalentwässerungsplant [17]

Nach geltenden Regeln der Technik (DWA-M 153) ist der Niederschlag lokal zu versickern, um die Grundwasser-Ressourcen nicht weiter zu belasten. Zudem ist das hydraulische Stützbedürfnis des Annafließ zu beachten. Aus diesen Gründen sollte kein zusätzliches Niederschlagswasser der Stadt Strausberg in den Straussee eingeleitet werden.

Eine weitere Möglichkeit wäre ein neues Steuerungskonzept für das Auslaufbauwerk aus dem Straussee zu erarbeiten. Dadurch könnte in feuchteren Jahren mehr Wasser im Straussee gespeichert werden, dass in trocknen Jahren absolute niedrige Seewasserstände kompensieren könnte. Bei dieser Maßnahme gilt es jedoch zu bedenken, dass durch einen zusätzlichen Aufstau höhere Wasserspiegelfluktuationen und partielle Überflutungen im Uferbereich zu erwarten sind. Zudem müsste das Wasserrecht (vgl. Kap. 2.2.2) angepasst und die Auswirkungen auf das Annafließ untersucht werden.

Im Hinblick auf das Strandbad ist zu akzeptieren, dass die Wasserspiegel im Straussee zukünftig auf einem niedrigeren Niveau liegen werden. Bauliche Anpassungen sind daher zum Weitertrieb zu prüfen.

5 Modelltechnische Maßnahmenbewertung (Meilenstein 4)

5.1 Maßnahme 1: Wasserüberleitung aus dem Fängersee

Abbildung 5-1 zeigt die Abschätzung zur Machbarkeit der Wasserüberleitung aus dem Fängersee im Winterhalbjahr anhand der Abflussmessungen des Bötzsees am Pegel Eggersdorf. Bei einem Defizit im Straussee von ca. 600.000 m³/a wie im Jahr 2018 müssten 0,038 m³/s von November bis April eingeleitet werden, um ein weiteres Absinken des Wasserspiegels zu verhindern. In der Vergangenheit stand diese Wassermenge am Fängersee/ Bötzsee zur Verfügung. Perspektivisch wird aber auch hier der Abfluss klimatisch bedingt weiter zurückgehen. Die Gewässer im Unterlauf haben jetzt schon massiv mit Niedrigwasserproblemen zu kämpfen und eine Überleitung in den Straussee würde diese Problematk verschärfen. Insbesondere ist hier auf das teilweise Trockenfallen des Friedersdorfer Mühlefließes, das Wasserdefizit im Krummer See sowie die Problematik Kleiner-Spreewald-Park hingewiesen. Zu Teilaspekten liegen hierzu auch Untersuchungsergebnisse aus einem BMBF Projekt (INKA-BB) vor, an dem auch DHI WASY beteiligt war.

Außerdem sind die baulichen Kosten für die Umsetzung dieser Maßnahme zu berücksichtigen. Die Abbildung 5-2 enthält einen Vorschlag zur Realisierung in Form einer ca. 2500 m langen Druckleitung aus dem Fängersee.

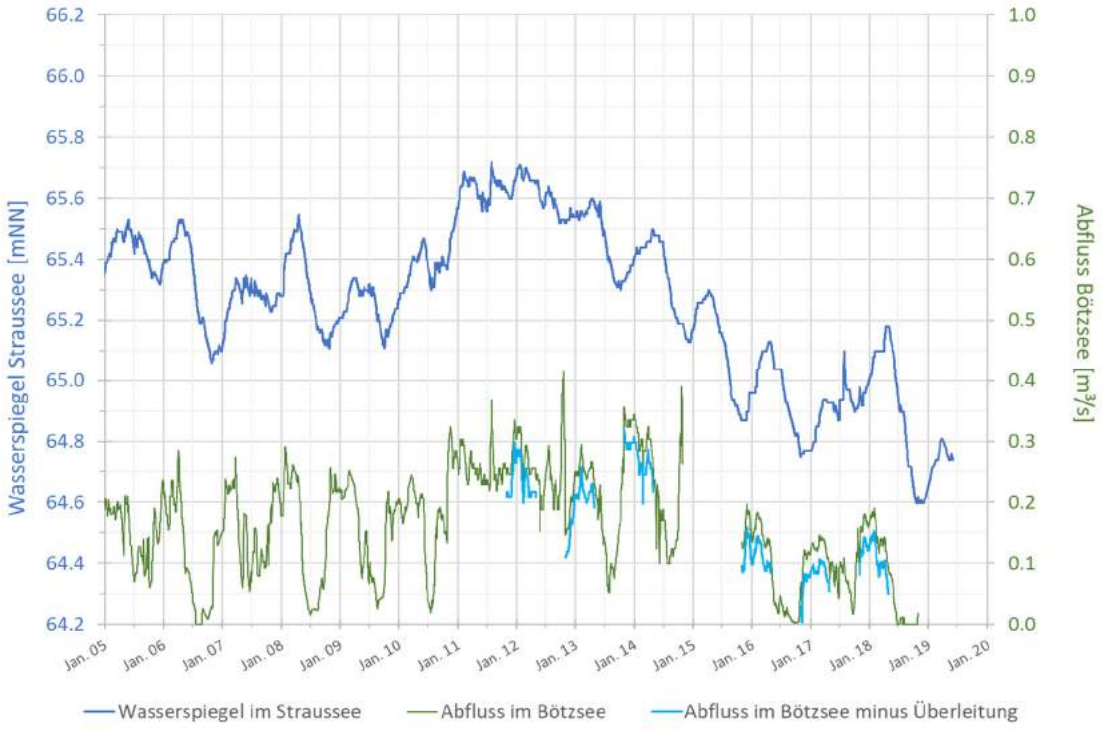


Abbildung 5-1: Abschätzung zur Machbarkeit der Wasserüberleitung im Winterhalbjahr November bis April anhand der Abflussmessungen des Bötzsees am Pegel Eggersdorf.

Abbildung 5-2: Vorschlag zur Realisierung in Form einer ca. 2500 m langen Druckleitung aus dem Fängersee (Quelle: „Offener Brief“ von Hr. Hänisch an Fr. Stadeler vom 11.03.2019).

5.2 Maßnahme 2: Verringerung der Entnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg

Abbildung 5-3 zeigt den Berechnungsansatz zur Untersuchung des Einflusses einer Verringerung der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk (WW) Bötzsee/ Spitzmühlenweg auf den Wasserspiegel im Straussee. Für die Jahre 2014 - 2018 wurden die Fördermengen aus 2012 im Modell angesetzt. Die Entnahmen im Jahr 2012 entsprechen einem repräsentativen Jahresgang für die geringeren Fördermengen vor dem Anstieg ab 2014.

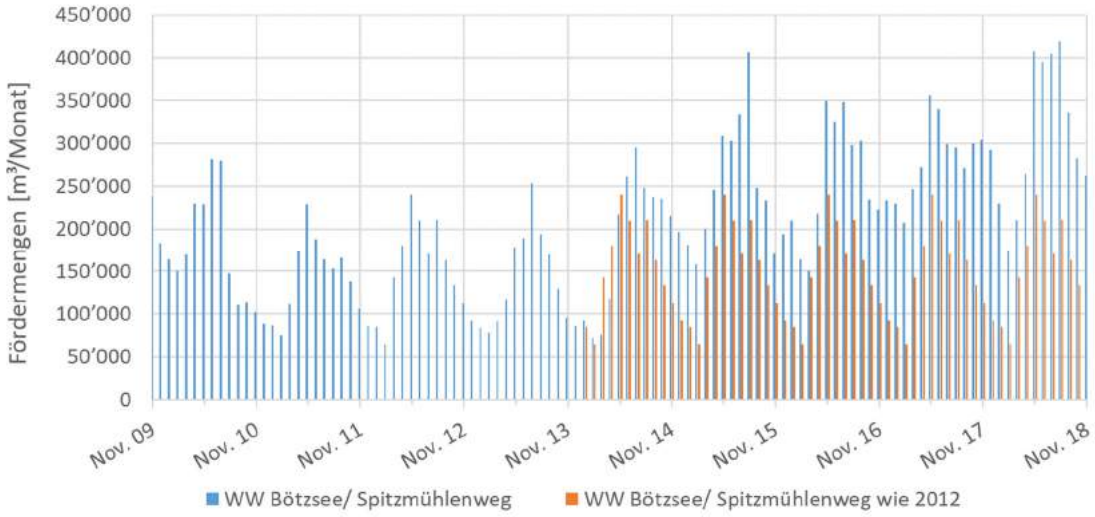


Abbildung 5-3: Berechnungsansatz zur Verringerung der Grundwasserentnahmen am Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg mit den Fördermengen aus 2012 für die Jahre 2014 – 2018.

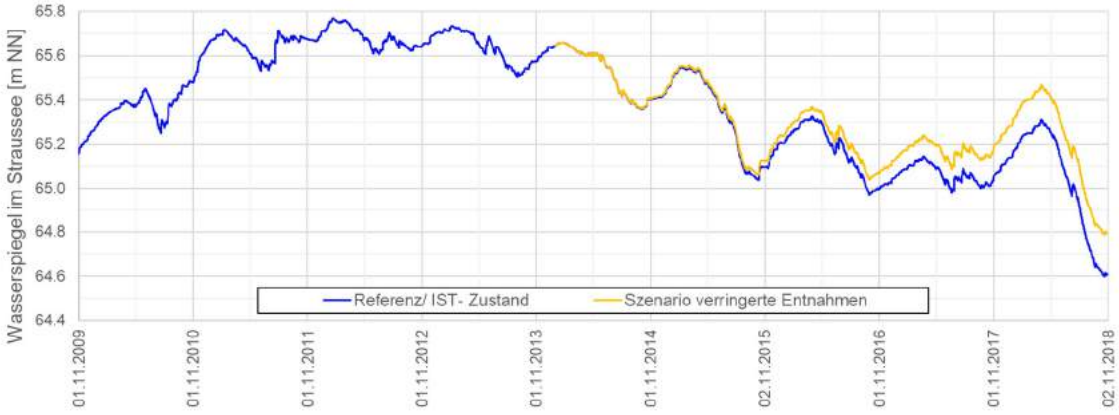


Abbildung 5-4: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den verringerten Grundwasserentnahmen am WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg ab 2014.

In Abbildung 5-4 sind die berechneten Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den ab 2014 verringerten Grundwasserentnahmen am WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg dargestellt. Erkennbar ist, dass sich bei dieser Maßnahme ein ca. 20 cm höherer Wasserspiegel im Straussee einstellen könnte. Zurückzuführen ist das auf einen in Summe geringen Grundwasserabfluss aus dem Straussee. Wie Abbildung 5-5 aufzeigt, sinken aufgrund sich anders einstellender Gradienten im Grundwasser die Grundwasserabflüsse aus dem See, jedoch auch - in geringerem Umfang – die Grundwasserzuflüsse. Abbildung 5-6 zeigt den Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der verringerten Fördermengen im WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg im Vergleich zum IST-Zustand.

Die Verringerung der Grundwasserentnahmen am WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg auf eine Fördermenge vor 2014 hat demnach positive Auswirkungen auf den Wasserspiegel des Straussees. Jedoch würde diese Maßnahme nicht den Wasserspiegelrückgang an sich aufhalten können. Ein sparsamerer Umgang mit dem Trinkwasser - vor allem in den Sommermonaten - empfiehlt sich aber auf jeden Fall, denn das Wasserwerk fördert nur das Wasser, was auch verbraucht wird.

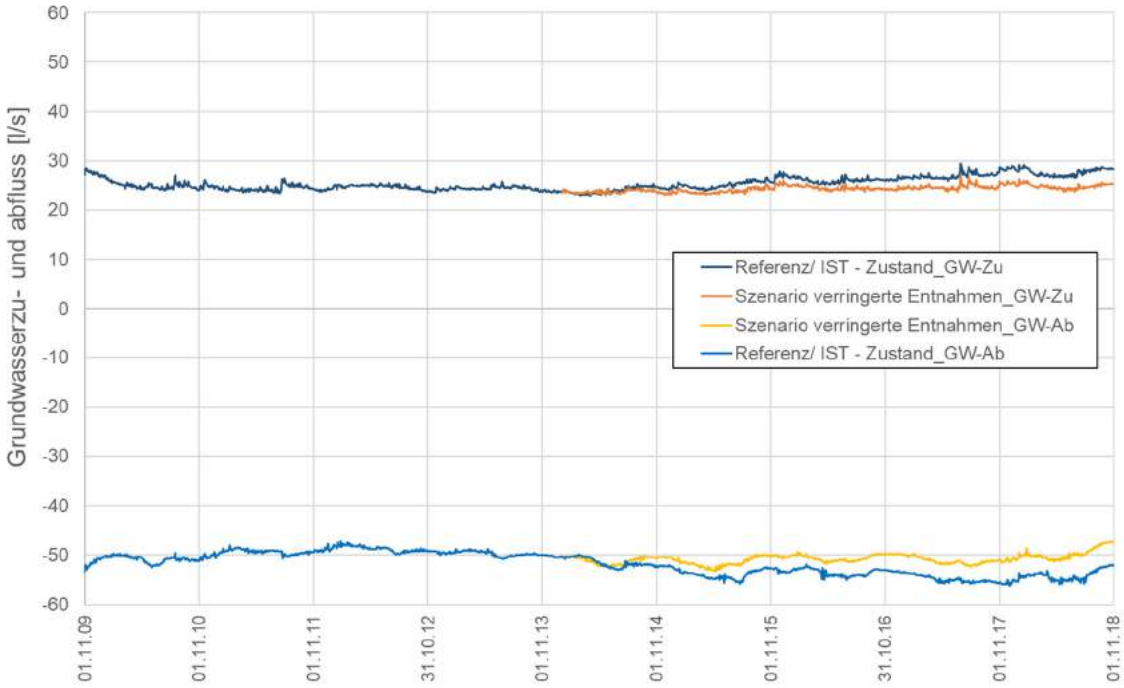


Abbildung 5-5: Berechnete Grundwasserzu- und -abflüsse im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit den verringerten Grundwasserentnahmen am WW Bötzsee/ Spitzmühlenweg ab 2014.

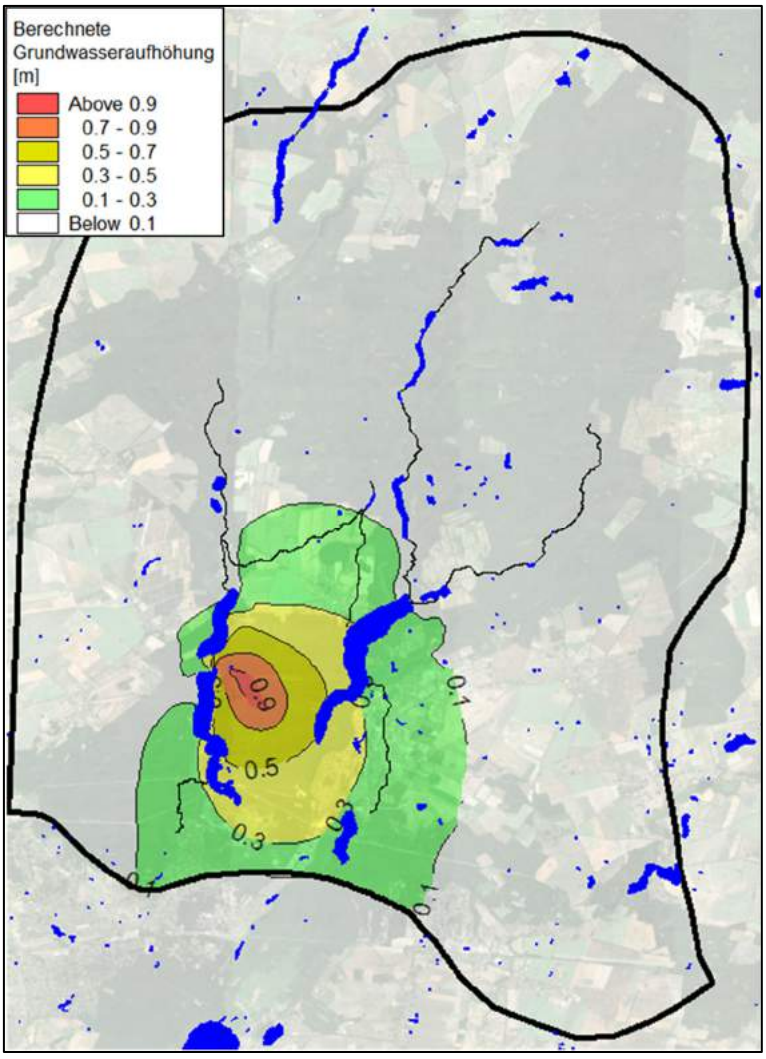


Abbildung 5-6: Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der verringerten Fördermengen im Wasserwerk Bötzsee/ Spitzmühlenweg im Vergleich zum IST-Zustand.

5.3 Maßnahme 3: Änderung der Landnutzung im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens und im Anstrom des Straussees

Abbildung 5-7 enthält eine Gegenüberstellung der Landnutzung im unterirdischen Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens im IST-Zustand und im Szenario mit einer geänderten Landnutzung. Die Landnutzung im IST-Zustand zeigt den hohen Anteil von Nadelwäldern, insbesondere Kiefernwäldern im Einzugsgebiet (linke Abbildung). Der flächendeckende Bewuchs von Kiefernwäldern führt aufgrund hoher Transpirationsraten und Interzeption zu stark verringerten Grundwasserneubildungsmengen (s. Abbildung 5-8 links).

Um das maximale Potential einer veränderten Landnutzung zu ermitteln, wurde das Szenario mit der Annahme von Wiesen auf den Flächen der Nadelwälder gerechnet (s. Abbildung 5-7 rechts). Realistischer wären Berechnungen mit einem Mischwald oder Strauchwerk (Waldumbau), das Modell kann diese Landschaftsplanungen unterstützen. Die Berechnung als Extremszenario mit Wiese statt Kiefernwäldern führt zu deutlich höheren Grundwasserneubildungsmengen im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens (s. Abbildung 5-8 rechts).

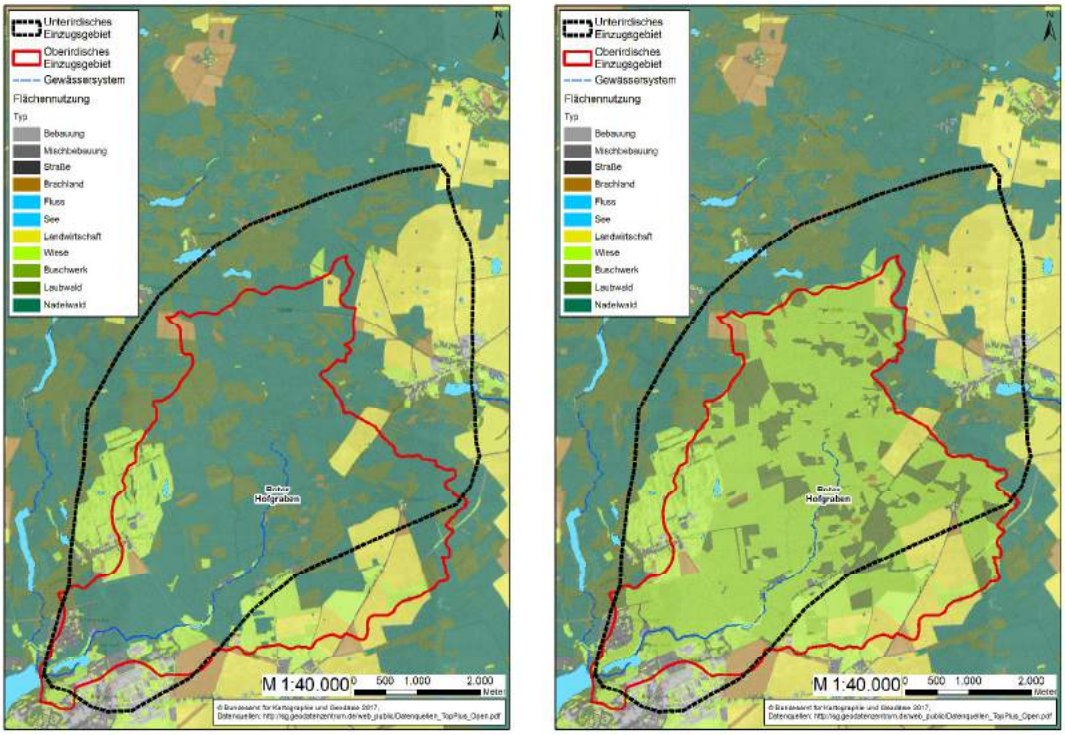


Abbildung 5-7: Landnutzung im unterirdischen Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens: IST-Zustand (linke Abbildung), Szenario mit geänderter Landnutzung (rechte Abbildung).

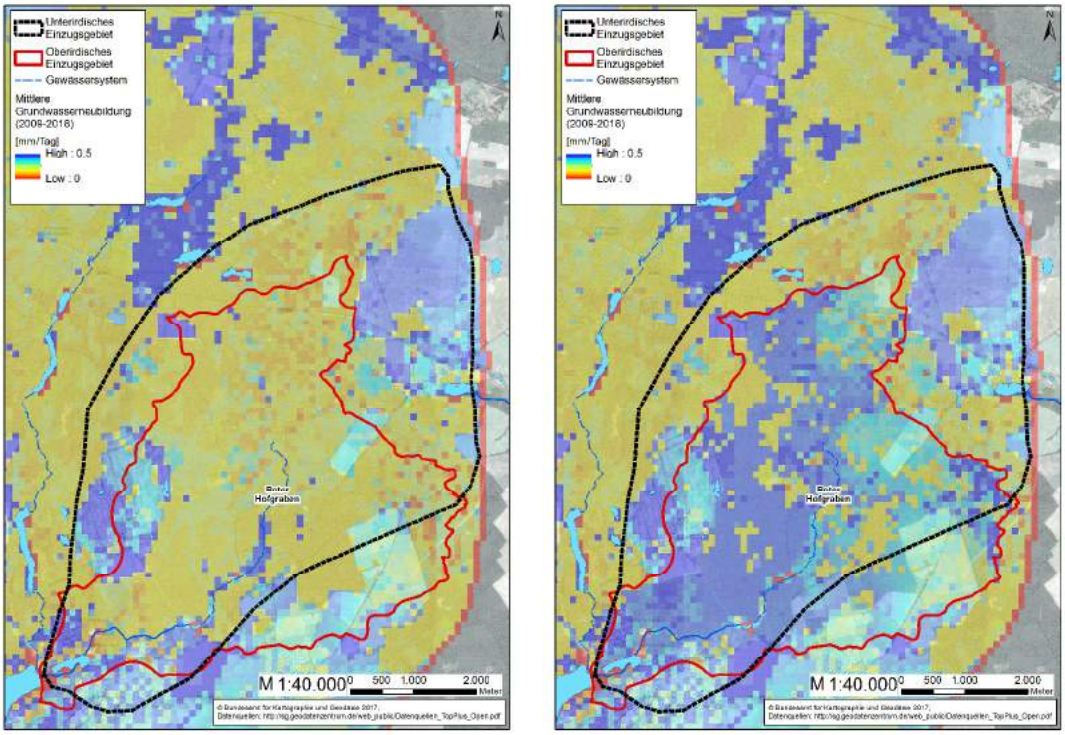


Abbildung 5-8: Verteilung der mittleren Neubildung im unterirdischen Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens: IST-Zustand (linke Abbildung), Szenario mit geänderter Landnutzung (rechte Abbildung).

Die höheren Neubildungsmengen führen zu höheren Grundwasserständen (s. Abbildung 5-11), die wiederum zu höheren Grundwasserzuflüssen zu den Oberflächengewässern führen. In Abbildung 5-9 sind die berechneten Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit dem Szenario zur veränderten Landnutzung dargestellt. Unter den genannten Annahmen könnte sich maximal ein ca. 30 cm höherer Wasserspiegel im Straussee einstellen. Zurückzuführen ist das auf höhere Grundwasserzuflüsse direkt in den Straussee sowie vor allem in den Roten Hofgraben als maßgebenden Oberflächenwasserzufluss zum Straussee. Die Auswirkungen zeigen sich vor allem ab 2014, wo durch den Wasserspiegelrückgang die Auswirkungen leicht erhöhter Grund- und Oberflächenwasserzuflüsse relevant werden. Abbildung 5-10 zeigt den berechneten Abfluss im Roten Hofgraben im IST-Zustand und mit dem Szenario zur veränderten Landnutzung. Relevant sind die höheren Basisabflüsse im Roten Hofgraben, d. h. dass kontinuierlich und insbesondere auch in trockenen Zeiten höhere Grundwasserzuflüsse in den Graben und somit auch ein höherer Abfluss in den Straussee erfolgen.

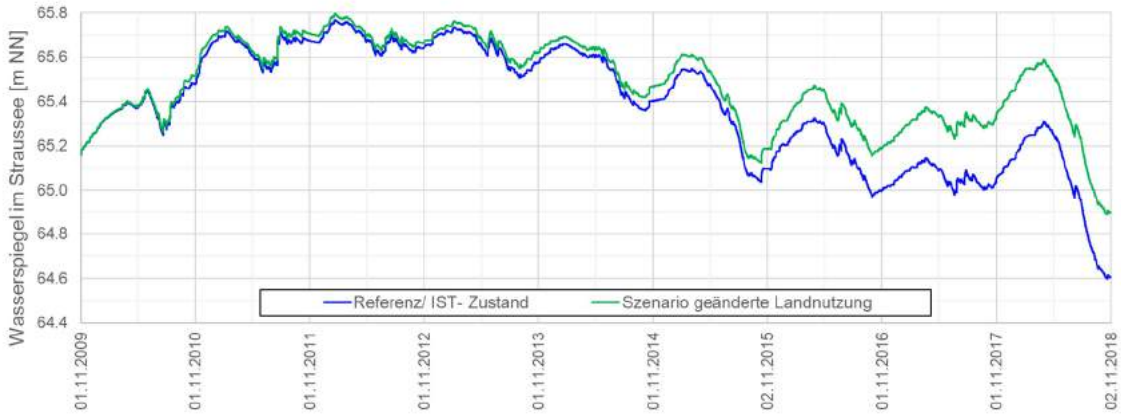


Abbildung 5-9: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit dem Szenario zur veränderten Landnutzung.

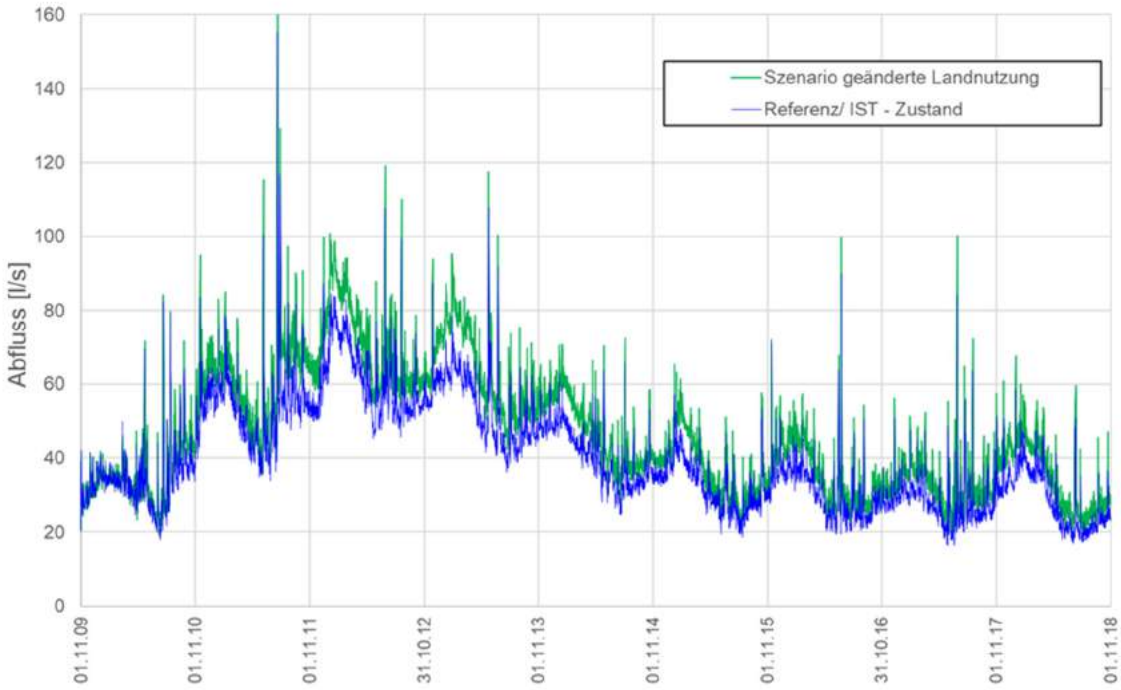


Abbildung 5-10: Berechneter Abfluss im Roten Hofgraben im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie mit dem Szenario zur veränderten Landnutzung.

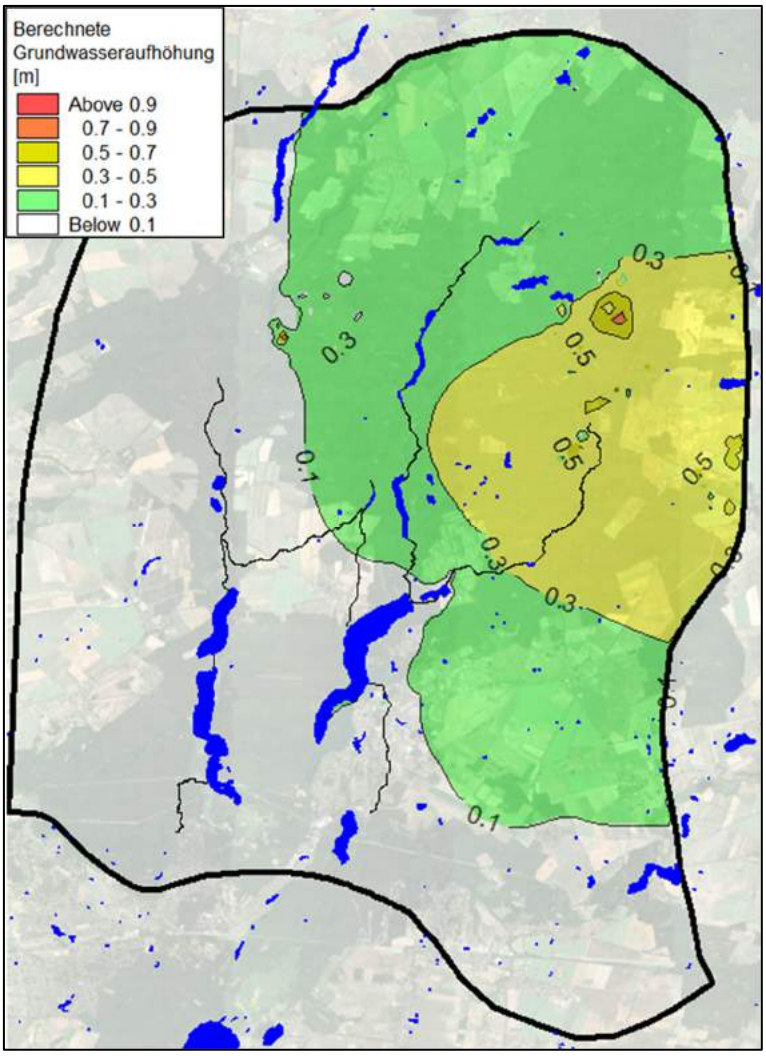


Abbildung 5-11: Grundwasserdifferenzenplan am 31.10.2018 mit erhöhten Grundwasserständen aufgrund der geänderten Landnutzung im Einzugsgebiet des Roten Hofgrabens im Vergleich zum IST-Zustand.

6 Prüfung weiterer Entnahmen

Ergänzend zur Prüfung von Wasserstandsstabilisierungsmaßnahmen wurde untersucht, welche Auswirkungen eine weitere Erhöhung der Fördermengen hätte. Hierfür wurde eine Mehrmenge von 1,022 Mio m³/a gleichverteilt auf die aktiven Brunnen der Wasserfassung Spitzmühle über den Zeitraum 2009 – 2018 angesetzt (Abbildung 6-1).

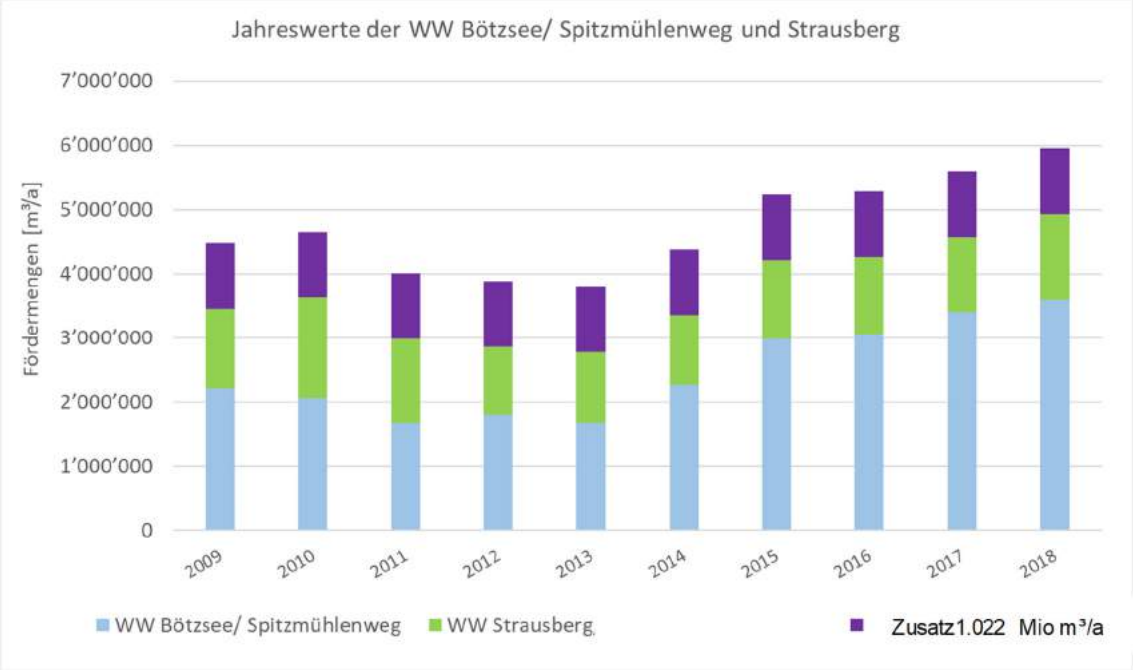


Abbildung 6-1: Entnahmemengen der Wasserwerke Spitzmühle und Strausberg sowie die Mehrentnahme von ca. 1 Mio. m³/a

Die Ergebnisse zeigen, dass es in den Jahren mit mittleren und hohen Grundwasserneubildungsraten (bis 2012) kaum Auswirkungen auf den Strausseewasserstand gäbe (Abbildung 6-2). Mit dem Beginn der Periode geringerer Niederschläge fällt der Wasserstand im Straussee gegenüber dem Referenzzustand jedoch stärker ab. Für den November 2018 weist das Modell unter Berücksichtigung der höheren Entnahmemengen einen um 0,24 m niedrigeren Strausseewasserstand aus.

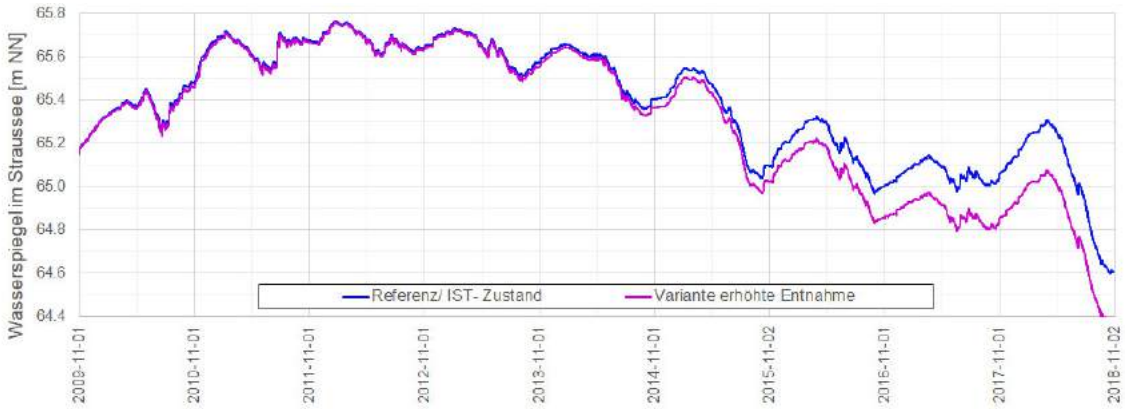


Abbildung 6-2: Berechneter Wasserspiegel im Straussee im IST-Zustand 2010 – 2018 sowie unter Berücksichtigung erhöhter Entnahmen

7 Zusammenfassung und Ausblick

In weiten Bereichen Brandenburgs sind seit einigen Jahren sinkende Grundwasserstände und Seewasserspiegel zu beobachten. In besonderem Maße ist hiervon der Wasserstand des Straussees betroffen. Seit 2013 ist der Wasserstand um ca. 1 m gesunken. Im November 2018 wies er einen Seewasserspiegel von 64,60 mNN auf. Um die Ursachen des Wasserspiegelrückgangs im Spannungsfeld von klimatischen Veränderungen, Landnutzungen und Grundwasserentnahmen zu untersuchen, wurde die BGD ECOSAX gemeinsam mit der DHI WASY GmbH und der TU Dresden im Dezember 2018 mit einem Hydrogeologischen Gutachten beauftragt. Das Ziel war die Erarbeitung eines gekoppelten Wasserhaushalts- und Grundwassermodells, um die Größen der einzelnen Bilanzglieder des Gebietswasserhaushalts zu quantifizieren und deren individuellen Einfluss zu bewerten. Im Ergebnis sollten Maßnahmen zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsgebiet des Straussees abgeleitet und deren Wirkung modelltechnisch bewertet werden.

Hierfür wurde in einem ersten Schritt die notwendige Datenbasis für die Modellerstellung geschaffen. Dies bedeutete, dass alle verfügbaren Daten und Altgutachten für das Einzugsgebiet des Straussees recherchiert und beschafft wurden. Die wesentlichen Daten und Unterlagen wurden von der Stadt Strausberg, dem LfU, dem LBGR, dem WSE sowie dem DWD zur Verfügung gestellt. Parallel hierzu wurden eigene Messwerte zu Grundwasserständen und Abflüssen sowie Sediment- beziehungsweise Wasserproben im Untersuchungsgebiet erhoben.

Auf dieser Datenbasis konnte im Anschluss das Gesamtmodell unter Nutzung des integrierten Modellsystem MIKE SHE aufgebaut werden. MIKE SHE ist ein rasterbasiertes Wasserhaushaltsmodell, das alle Kompartimente des Wasserkreislaufs physikalisch berechnen kann. Das Gesamtmodell wurde für den Zeitraum 2009 – 2018 kalibriert. Hierdurch konnte sichergestellt werden, dass sowohl die Periode mittlerer Seewasserstände als auch die Periode der sinkenden Seewasserstände modelltechnisch erfasst und ausgewertet werden konnte.

Die Auswertung der Wasserbilanz zeigt, dass der sinkende Strausseewasserstand das Ergebnis einer Überlagerung mehrerer Einflussfaktoren ist.

Die Abnahme der Niederschläge, insbesondere der Winterniederschläge und die Zunahme der Sommertemperaturen, die zu einer erhöhten Verdunstung führen, konnten als wesentlicher Grund für sinkende Grund- und Seewasserstände identifiziert werden. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Grundwasserentnahmen sowie die vorherrschende Landnutzung (Kiefernwälder) im Einzugsgebiet des Straussees. Außerdem zeigen die Modellergebnisse, dass die Erhöhung der Grundwasserentnahme an der Wasserfassung Spitzmühle seit dem Jahr 2014 ca. 1/5 des derzeitigen Wasserstandsdefizits im Straussee unter den aktuellen klimatischen Bedingungen ausmacht.

Sowohl mit dem Modell als auch anhand der durch die TU Dresden durchgeführten Isotopenanalysen konnte jedoch gezeigt werden, dass die Wasserfassungen Spitzmühle und Strausberg nicht direkt das Wasser aus dem Straussee fördern. Der Anstrom zu den Wasserfassungen erfolgt aus nördlicher beziehungsweise nordöstlicher Richtung. Die Grundwasserentnahmen beeinflussen jedoch das Grundwassergefälle und haben dadurch indirekt Auswirkungen auf den Seewasserstand. Die Isotopenuntersuchung hat außerdem gezeigt, dass der Straussee als auch sein nördliches Einzugsgebiet sehr stark von Verdunstung geprägt ist. Aus diesem Grund wirken sich die klimatischen Faktoren stärker auf die Zuflüsse und die Wasserfläche des Straussees aus. Im Mittel betrug das Wasserdefizit im Straussee ca. 14 l/s im Zeitraum 2012-2018. Der Bötzsee weist diesen Effekt nicht auf. Ursache hierfür ist der tiefer eingeschnittene Gamengrund und die dadurch bessere hydraulische Anbindung an den Grundwasserleiter.

Zur Überwachung der Wasserhaushaltskomponeneten im Einzugsgebiet und Abstrombereich des Straussees wurde ein Monitoringkonzept entwickelt, welches sowohl die Oberflächen- und Grundwasserstände, die Zustrom- und Abflussmengen des Straussees sowie die Niederschlagsmengen beinhaltet. Ein Großteil der Daten wird bereits regelmäßig durch LfU, WSE und DWD

erfasst. Aus gutachterlicher Sicht ist es ratsam im nördlichen Einzugsgebiet 2 neue GWMS zu errichten und diese mit einem Datenlogger auszustatten. Es wird ein monatlicher Turnus für die Durchführung des Monitorings empfohlen.

Um dem Wasserdefizit im Straussee zu begegnen, wurden verschiedene Maßnahmen abgeleitet und modelltechnisch überprüft.

Fremdwasserstützung:
Es hat sich gezeigt, dass im Gamengrund gerade in Winterhalbjahr ein Wasserüberschuss vorhanden ist. Um den Wasserstand des Straussees zu stützen, könnte die fehlende Wassermenge theoretisch übergeleitet werden. Hierfür wäre eine ca. 2,5 km lange Druckleitung notwendig. Perspektivisch wird aber auch hier der Abfluss klimatisch bedingt weiter zurückgehen. Die Gewässer im Unterlauf haben auch jetzt schon massiv mit Niedrigwasserproblemen zu kämpfen. Eine Überleitung in den Straussee würde diese Problematik verschärfen. Zudem sind die baulichen Kosten für die Umsetzung dieser Maßnahme zu berücksichtigen.

Verringerung der Wasserentnahmen:
Mit dem Modell konnte nachgewiesen werden, dass eine Reduzierung der Wasserentnahmen an der Wasserfassung Spitzmühle auf die durchschnittliche Entnahmerate vor dem Jahr 2014 zu einem um ca. 20 cm höheren Wasserstand im Straussee geführt hätte. Jedoch würde diese Maßnahme nicht den Wasserspiegelrückgang insgesamt aufhalten können. Ein sparsamerer Umgang mit dem Trinkwasser - vor allem in den Sommermonaten - empfiehlt sich auf jeden Fall.

Änderung der Landnutzung:
Die aktuelle Landnutzung im Einzugsgebiet des Straussees weist einen hohen Anteil an Nadelwäldern, insbesondere Kiefernwäldern auf. Dies führt aufgrund hoher Transpirationsraten zu stark verringerten Grundwasserneubildungsmengen. Um das maximale Potential einer veränderten Landnutzung zu ermitteln, wurde ein Szenario mit der Annahme von Wiesen anstatt von Nadelwäldern für den Betrachtungszeitraum berechnet. Im Ergebnis würde der Strausseewasserstand in Folge der höheren Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet ca. 30 cm über dem heutigen Niveau liegen.

Ergänzend zur Prüfung von Wasserstandsstabilisierungsmaßnahmen wurde untersucht, welche Auswirkungen eine weitere Erhöhung der Fördermengen hätte. Hierfür wurde eine Mehrmenge von 1,022 Mio m³/a gleichverteilt auf die aktiven Brunnen der Wasserfassung Spitzmühle über den Zeitraum 2009 – 2018 angesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass es in den Jahren mit mittleren und hohen Grundwasserneubildungsraten (bis 2012) kaum Auswirkungen auf den Strausseewasserstand gäbe. Mit dem Beginn der Periode geringerer Niederschläge fällt der Wasserstand im Straussee gegenüber dem Referenzzustand jedoch stärker ab. Für den November 2018 weist das Modell unter Berücksichtigung der höheren Entnahmemengen einen um 0,24 m niedrigeren Strausseewasserstand aus.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die beiden Wasserwerke durch Entnahmen östlich und westlich des Sees starken Einfluss auf das Grundwassergefälle und somit die Grundwasserzu- und abflüsse zum Straussee haben. Die Hauptursache für die Verschärfung der Wasserstandsproblematik stellen jedoch die geänderten klimatischen Bedingungen der letzten Jahre dar. Diesen kann man nicht direkt entgegenwirken. Vielmehr muss versucht werden, die Nutzung der Ressourcen den neuen Rand- und Rahmenbedingungen anzupassen. Aus gutachterlicher Sicht wird die Aktualisierung der Dargebotsberechnungen für die Wasserwerke im Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung der sich ändernden klimatischen Bedingungen empfohlen. Des Weiteren sollte eine modellgestützte Identifizierung alternativer Entnahmestandorte und deren Potentialanalyse erfolgen.

Das vorliegende Wasserhaushaltsmodell steht für die Klärung weitere Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Gebietswasserhaushalt zur Verfügung.

ANLAGEN

33415000 33420000 33425000

5825000

5820000

Fängersee

Straussee

Bötzsee

WW Bötzsee/Spitzmühle

WW Strausberg

WW Eggersdorf

Wesendahler Mühle
Buchholz
Wederfließ
Teufelsfließ
Spitzmühle
Waldkante
NSG
Chausseehaus
Forsthaus Radebrück
L33
Bruchmühle
Postbruch
Nord
Roter Hof
Strausberg Nord
Provizialsiedlung
Strausberg
Strausberg Stadt
Verkehrslandeplatz Strausberg
L34
Treuenhof
Steuerhaus
Wilhelmshof
L233
Handelscentrum Strausberg
Fasanenpark
Gladowshöhe
K6418
Strausberg-Hegermühle
Fredersdorf-Nord
L30
Mitte
Petershagen/ Eggersdorf
Eggersdorf
Pohrtsche Siedlung
Vorstadt
Fredersdorf
Süd
Alte Walkmühle
Strausberg
Petershagen Nord
Fredersdorf(b Berlin)
Petershagen
Frdersdorf-Süd
Fredersdorf- -Vogelsdorf
Petershagen-Süd
L303
Torfhaus
Hennickendorf
Werder

100

Wasserwerk (schematisch)

Seen Straussee, Bötzsee und Fängersee

Quelle:
Datenlizenz Deutschland - Landesamt für Umwelt Brandenburg - Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
Downloaddienst LUIS BB - Wasser: http://www.metaver.de/search/dls/#?serviceId=365B64CD-55CA-4C65-8F48-8B93B9C06E40;
Datensatz: seen25.zip

Quelle Geobasisdaten:
Datenlizenz Deutschland – © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019 – Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
URL WMS: http://sgx.geodatenzentrum.de/wms_topplus_web_open
Datenquellen: http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlus_Open.pdf

Lagebezug: ETRS 1989 UTM Zone 33N

Anlage 1

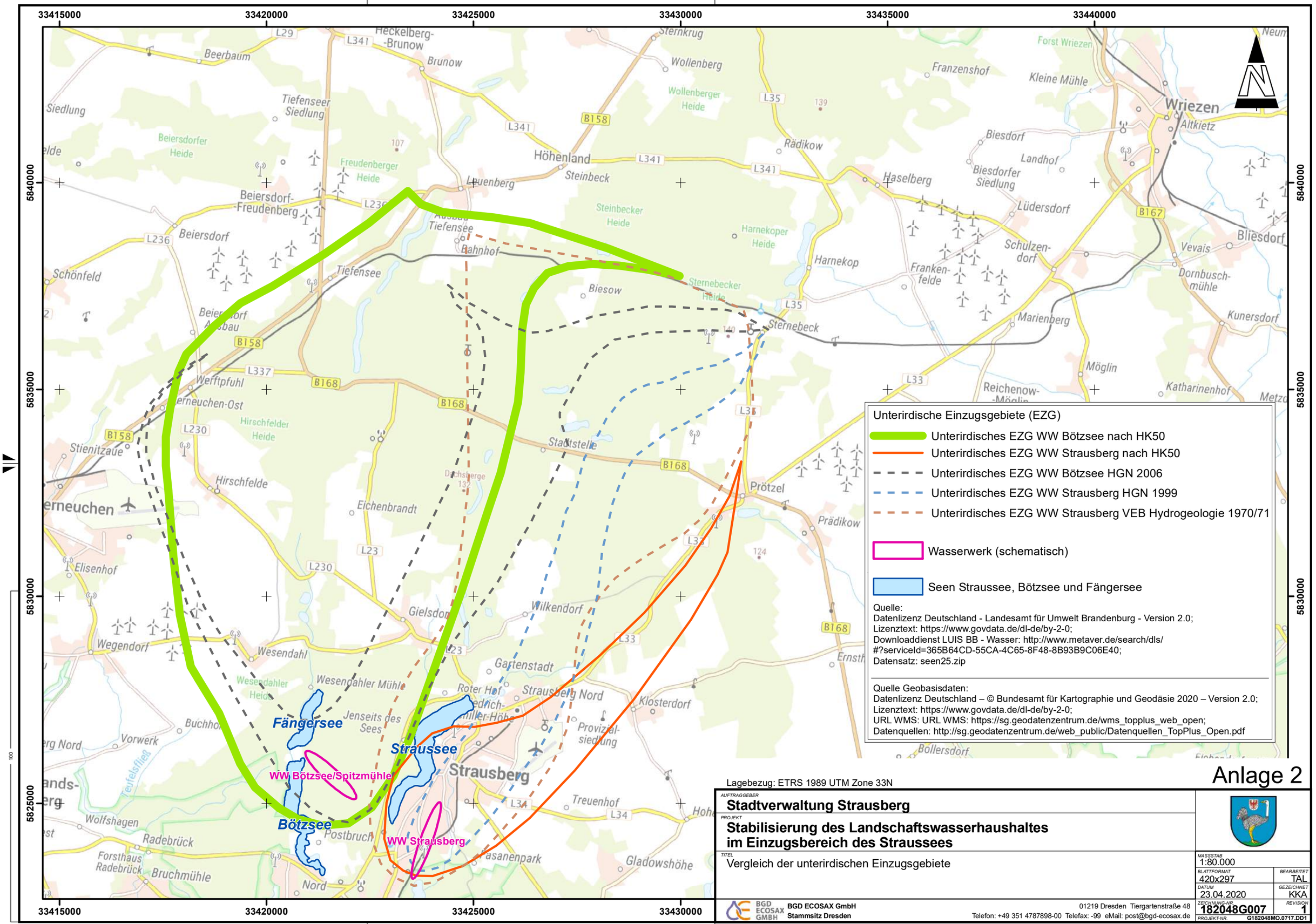
AUFTRAGGEBER
Stadtverwaltung Strausberg

PROJEKT
Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsbereich des Straussees

TITEL
Übersichtslageplan

MASSSTAB 1:40.000
BLATTFORMAT 420x297
BEARBEITET TAL
DATUM 30.08.2019
GEZEICHNET DHI
ZEICHNUNG-NR. 182048G006
REVISION 0
PROJEKT-NR. G182048MO.0717.DD1

BGD ECOSAX GMBH
BGD ECOSAX GmbH
Stammsitz Dresden
01219 Dresden Tiergartenstraße 48
Telefon: +49 351 4787898-00 Telefax: -99 eMail: post@bgd-ecosax.de



Anlage 2

Lagebezug: ETRS 1989 UTM Zone 33N

AUFTRAGGEBER
Stadtverwaltung Strausberg

PROJEKT
Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsbereich des Straussees

TITEL
Vergleich der unterirdischen Einzugsgebiete

MASSSTAB 1:80.000
BLATTFORMAT 420x297
BEARBEITET TAL
DATUM 23.04.2020
GEZEICHNET KKA
ZEICHNUNG-NR. 182048G007
REVISION 1
PROJEKT-NR. G182048MO.0717.DD1

BGD ECOSAX GmbH
Stammsitz Dresden
01219 Dresden Tiergartenstraße 48
Telefon: +49 351 4787898-00 Telefax: -99 eMail: post@bgd-ecosax.de

33418000 33420000 33422000 33424000 33426000 33428000

5836000 5834000 5832000 5830000 5828000 5826000 5824000 5822000

Beiersdorf Ausbau
Wertpfuhl
Heidekrug
Försterei Lattbusch
Blumenthal
Stadtstelle
Hirschfelde
Eichenbrandt
Gielsdorf
Wilkendorf
Wesendahl
Gartenstadt
Roter Hof
Strausberg Nord
Provizialsiedlung
Wesendahler Mühle
Buchholz
Fängersee
Straussee
Strausberg
Bötzsee
Postbruch
Nord
Mitte
Vorstadt
Süd
Petershagen/ Eggersdorf
Eggersdorf Dorf
Pohrtsche Siedlung
Petershagen Nord
Eggersdorf-Süd
Treuenhof
Steuerhaus
Wilhelmshof
Rosenhof
Fasanenpark
Strausberg Stadt
Strausberg-Hegermühle
Alte Walkmühle
Verkehrslandeplatz Strausberg
Gewerbegebiet Nord

B168 L337 L23 L230 L235 L303 L34 L33 L233 K6414 K6419

74 73 72 71 70 69 68 67 66 65 64 63 62 61 60 59 58 57 56 55

HyTfFw3/76A: 73,64
HyTfFw3/76B: (73,38)
HyTfFw3/76C: (73,33)

HYSU019/1970B: 70,55
HYSU019/1970A: (68,51)
HYSU019/1970C: (70,54)

HySu11/70: 66,83
HySu8/70_33495000: 65,33
HySu10/70: 66,10
RHySu10/70OP_Gielsdorf: 77,58
RHySu10/70UP_Gielsdorf: 66,13
Neu3_Golfplatz: 68,60
HySu130/92: 65,03
HySu125/92: 60,73
HySu127/92: 64,74
1126/92: 64,45
HySu124/92UP: 60,33
HySu124/92OP: 60,38
HySu124/92MR: (60,40)
OWMSLattenpegelAbflussFängersee,Spitzmühle: 61,94
GWBR2: 59,40
HySu6/78Brunnen6: 56,45
WW Bötzsee/Spitzmühle
HySu128/92: 58,96
HySu123/92: 58,94
HySu122/92: 58,86
GWBR1: 58,40
HySu129/92: 58,93
HYSU6/1971: 58,67
HyEgSu13/76: 58,79
P1/17op: 59,14
P1/17up: (61,44)
HySu9/71: 63,29
HySu121/92: 60,98
OWMSStrausbergFähre: 64,70
BR4AltlastB(Neubauten)OP: (63,00)
BR4AltlastB(Neubauten)UP: (60,43)
BR4AltlastB(Neubauten)MP: 61,02
HySu2/62: 57,07
KGKamWeiher(Brunnen): 63,30
HySu5/70: 59,13
HySu120/92: 58,67
Altbrunnen10: 58,71
WW Strausberg
Altbrunnen8: 54,36
HySu119/92: 57,05
Strausberg_Pegel1/06OP: 59,72
Pegel1/06UP: 59,76
HySu6/83_Altbrunnen1: 56,22
RHySu1/70UPHerrenseeStrausberg: 54,31
RHySu1/70OPHerrenseeStrausberg: 54,44
HyEgSu11/76_34481537Eggersdorf: 54,55
HySu2/71: 49,52

Wasserstandsmessung Frühjahr 2019
- Messstelle mit Wasserstand (zur Berechnung der Hydroisohypsen verwendet)
- Messstelle mit Wasserstand (nicht zur Berechnung der Hydroisohypsen verwendet)
- Hydroisohypsen
- Wasserwerk (schematisch)
- Seen Straussee, Bötzsee und Fängersee

Quelle:
Datenlizenz Deutschland - Landesamt für Umwelt Brandenburg - Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
Downloaddienst LUIS BB - Wasser: http://www.metaver.de/search/dls/#?serviceId=365B64CD-55CA-4C65-8F48-8B93B9C06E40;
Datensatz: seen25.zip

Quelle Geobasisdaten:
Datenlizenz Deutschland – © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019 – Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
URL WMS: http://sgx.geodatenzentrum.de/wms_topplus_web_open
Datenquellen: http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlus_Open.pdf

Anlage 3

Lagebezug: ETRS 1989 UTM Zone 33N

AUFTRAGGEBER
Stadtverwaltung Strausberg

PROJEKT
Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsbereich des Straussees

TITEL
Hydroisohypsen Frühjahr 2019

MASSSTAB 1:30.000
BLATTFORMAT 420x594
BEARBEITET TAL
DATUM 30.08.2019
GEZEICHNET KKA
ZEICHNUNG-NR. 182048G008
REVISION 0
PROJEKT-NR. G182048MO.0717.DD1

BGD ECOSAX GMBH
BGD ECOSAX GmbH
Stammsitz Dresden
01219 Dresden Tiergartenstraße 48
Telefon: +49 351 4787898-00 Telefax: -99 eMail: post@bgd-ecosax.de

Oberbarnim
Fängersee
Straussee
Bötzsee
Strausberg
Werneuchen
Eggersdorf
Prötzel
Rehfelde
Beiersdorf-Freudenberg
Altlandsberg
Fredersdorf-Vogelsdorf
Monitoringkonzept
Vorschlag neue GWMS
Vorschlag Monitoring Strausberg
Monitoring WSE
OWMS
Datenlogger LfU
Hydroisohypsen 2011
Quelle: Landesamt für Umwelt Brandenburg
Seen Straussee, Bötzsee und Fängersee
Quelle:
Datenlizenz Deutschland - Landesamt für Umwelt Brandenburg - Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
Downloaddienst LUIS BB - Wasser: http://www.metaver.de/search/dls/#?serviceId=365B64CD-55CA-4C65-8F48-8B93B9C06E40;
Datensatz: seen25.zip
Quelle Geobasisdaten:
Datenlizenz Deutschland – © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2020 – Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
URL WMS: http://sgx.geodatenzentrum.de/wms_topplus_web_open
Datenquellen: http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/
Datenquellen_TopPlus_Open.pdf
Lagebezug: ETRS 1989 UTM Zone 33N
Anlage 4
AUFTRAGGEBER
Stadtverwaltung Strausberg
PROJEKT
Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsbereich des Straussees
TITEL
Monitoringkonzept Grund- und Oberflächenwasser
MASSSTAB 1:40.000
BLATTFORMAT 594x594
BEARBEITET TAL
DATUM 31.03.2020
GEZEICHNET DHI
PROJEKTNUMMER 182048G012
REVISION 0
PROJEKTAKTE G182048MO.0717.DD1
BGD ECOSAX GmbH
Stammsitz Dresden
01219 Dresden Tiergartenstraße 48
Telefon: +49 351 4787898-00 Telefax: -99 eMail: post@bgd-ecosax.de

Fängersee
Straussee
Bötzsee
Oberbarnim
Werneuchen
Strausberg
Prötzel
Höhenland
Beiersdorf-Freudenberg
Petershagen
Fredersdorf-Vogelsdorf
Eggersdorf
Altlandsberg
Hohenstein
Wilkendorf
Rehfelde
Garzau-Garzin
Kähnsdorf
Buchholz
Wesendahler Mühle
Gielsdorf
Wegendorf
Amselhain
Weesow
Schönfeld
Tempelfelde
Beiersdorf
Beiersdorf Ausbau
Wertpfuhl
Werneuchen-Ost
Hirschfelde
Eichenbrandt
Heidekrug
Blumenthal
Steinbeck
Leuenberg
Ausbau Tiefensee
Tiefensee
Bahnhof
Biesow
Sternebeck
Harnekop
Haselberg
Herzhorn
Prädikow
Grunow
Ernsthof
Ruhlsdorf
Hasenholz
Gladowshöhe
Wilhelmshof
Steuerhaus
Strausberg Nord
Provizialsiedlung
Klosterdorf
Roter Hof
Gartenstadt
Friedrich-Schiller-Höhe
Dachsberge
Stadtstelle
Försterei Lattbusch
Rudolfshöhe
Elisenhof
Sonderlandeplatz Werneuchen
Steinau
Marienheide
Torfhaus
Rehfelde-Dorf
Hennickendorf
Mitte
Vorstadt
Nord
Süd
Fredersdorf-Nord
Fredersdorf-Süd
Petershagen Nord
Petershagen-Süd
Pohrtsche Siedlung
Rehfelde Siedlung
Herrensee
Altlandsberg Nord
Neuhönow
Freiheit
Waldkante
Chausseehaus
Forsthaus Radebrück
Postbruch
Altbrunnen 10
Altbrunnen 8
Altbrunnen4
Brunnen KGA Rehfelder Straße
Brunnen KGA Am Weiher
Brunnen O-Langenbach Ring
Brunnen 9
Brunnen 6 HySu6/78
Brunnen 3
Altbrunnen13
Strausberg_Pegel1/06OP
Pegel1/06UP
Wesendahl
Einsiedel
Hegermühle
Altlandsberg
Schönfeld
Werneuchen
Eggersdorf
Petershagen
Fredersdorf-Vogelsdorf
Strausberg
Rehfelde
Garzau-Garzin
Oberbarnim
Messstellen
Messstelle funktionstüchtig
Funktionstüchtigkeit unsicher
Hydroisohypsen 2011
Quelle: Landesamt für Umwelt Brandenburg
Seen Straussee, Bötzsee und Fängersee
Quelle:
Datenlizenz Deutschland - Landesamt für Umwelt Brandenburg - Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
Downloaddienst LUIS BB - Wasser: http://www.metaver.de/search/dls/#?serviceId=365B64CD-55CA-4C65-8F48-8B93B9C06E40;
Datensatz: seen25.zip
Quelle Geobasisdaten:
Datenlizenz Deutschland – © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2020 – Version 2.0;
Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0;
URL WMS: http://sgx.geodatenzentrum.de/wms_topplus_web_open
Datenquellen: http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/
Datenquellen_TopPlus_Open.pdf
33482200
33485041-RHyLUA101/02 Tiefensee
HyBith23/75
HyHfdeBn2/1989
33480245_BfWerneuchen
HyBFha53/75OP
HyBFha53/75MP
HyBFha53/75UP
PB3/98
Werneuchen_OP
Werneuchen_UP
HyPöe/58
HyP(HyPöe58/59)
HyHfdeBn1/70
HyHfdeBn56/52
HyPöe/56
HyPöe60/55
HyTfFw1/76o
HyTfFw1/76m
HyTfFw1/76u
HyBn10/70OP
HyBn10/70MP
HyBn10/70UP
HyFrd1/2003
HyLrg1/2001
HyTfFw2/76OP
HyTfFw2/76MP
HyTfFw2/76UP
HyTfFw2/74
HyTfFw1/2001
33495005-RHySu 18/70
33495004-RHySu 17/70
HySu16/70o
HySu16/70u
HyStek1/78
LUA9/2002-32502171
HySu15A2/71
HyTfFw3/76OP
HyTfFw3/76MP
HyTfFw3/76UP
HySu16/70o
HySu16/70u
HYSU019/1970UP
HYSU019/1970OP
HYSU019/1970MP
HySu11/70
33495000-RHySu 8/70
33491520-RHySu10/70 OP
33491521-RHySu10/70 UP
33491544RHySu.1/70 OP Herrensee
33491545-RHySu 1/70 UP Herrensee
33491542-RHySu 4/70 OP
33491543-RHySu 4/70 UP
33502260-LUA 1/2003
HySu21/70o
HySu21/70u
GWMS_Klostersee
HySu13/70
HySu3/84
HySu127/92
HySu4/87
HySu130/92
HySu12/70
HySu7/89
HySu125/92
Hy Su 09/71
34485011_Altlandsberg
GWBR 2
GWBR 1
HySu20/70
HySu124/92 MP
HySu124/92 UP
126/92 HySub126/92
HySu124/92 OP
HySu10/78Brunnen10
OWMSLattenpegelAbflussFängersee,Spitzmühle
HySu8/78Brunnen8
HySu7/83
HySu128/92
HySu121/92
HySu122/92
HY Su 6/1971
HySu129/92
P1/17op
P1/17up
HySu2/62
Hy Su 14/70 Hohenstein
HySu120/92
34495033-RHyLUGV215/13
OWMSEggersdorf2
HySu7/71
34481534 HyEgSu12/76OP
34481535 HyEgSu12/76MP
34481536 HyEgSu12/76UP
OWMSBruchmühleUP
HyEgSu11/76_34481537Eggersdorf
34485057-RHyLUA83/01 Eggersdorf
HyEgSu8/83
KbSu1/2007
HySu2/81
HySu4/86
HyRfd4/81
HyGzu2/87
HySu2/71
HySu2/2010
HySu5/84
FI60 - 34485044
34480960
34481557-RHyEgSu14/76
HySu123/92
HySu11/82
HySu1/83
HySu1/88
HySu1/76
HySu1/84
34495032-RHyLUA79/01 Treuenhof
HyEgSu13/76UP
HySu5/70
HySu1/62
HySu22/71
Neu2
HySu3/86
HySu24/71
HySu23/71
HySu3/62
HySu8/84
HySu6/84
HySu6/83_Altbrunnen1
HySu4/84
HySu119/92
HySu3/83
HySu3/81
HySu1/85
HySu3/70
HyRfd10/86
HyGzi1/81
HyRfd1/88
HyRfd7/84
HyRfd1/1969
HyGzu1/76
HyRfd2/88
HyGzu1/88
Anitz
Lagebezug: ETRS 1989 UTM Zone 33N
Anlage 5
AUFTRAGGEBER
Stadtverwaltung Strausberg
PROJEKT
Stabilisierung des Landschaftswasserhaushaltes im Einzugsbereich des Straussees
TITEL
Messtellen gesamt
MASSSTAB 1:40.000
BEARBEITET TAL
BLATTFORMAT 594x594
GEZEICHNET DHI
DATUM 24.04.2020
REVISION 0
PROJEKTNUMMER 182048G011
PROJEKTABLAGE G182048MO.0717.DD1
BGD ECOSAX GMBH
Stammsitz Dresden
01219 Dresden Tiergartenstraße 48
Telefon: +49 351 4787898-00 Telefax: -99 eMail: post@bgd-ecosax.de