



Pilotgebiet GE 4: AquaModul

Entwicklung und Erprobung eines Monitoring- systems sowie von Vorschlägen für die Bewirtschaftungssteuerung großräumiger Grundwasserkörper am Beispiel der Region Uelzen / Lüneburg

- Erweiterungsbericht -

Auftraggeber: **Dachverband Feldberegnung Uelzen**
Dipl.-Ing. Jörg Martens
Meilereiweg 101
29525 Uelzen

Bearbeiter: **CONSULAQUA Hildesheim**
Niederlassung der CONSULAQUA Hamburg
Beratungsgesellschaft mbH
Bördestraße 3
31135 Hildesheim

M. Sc. Geoökol. Daniel **Nienstedt**
M. Sc. Umwelting. Manuela **König**
Dipl.-Geol. Michael **Bruns**

Projektnummer: 53055

Hildesheim, im Januar 2022

INHALTSVERZEICHNIS

ANLAGENVERZEICHNIS.....	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	9
ABSTRACT	10
ZUSAMMENFASSUNG	11
1 VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG	12
2 GRUNDLAGEN UND SYSTEMBESCHREIBUNG	14
2.1 LANDSCHAFT UND BÖDEN	14
2.2 GEOLOGIE.....	16
2.3 HYDROGEOLOGIE	17
2.4 KLIMA	19
2.5 GRUNDWASSERNEUBILDUNG.....	25
2.6 GRUNDWASSERENTNAHMEN	26
2.7 GRUNDWASSERMESSSTELLEN.....	30
2.8 GRUNDWASSERHÖHEN- UND -FLIEßRICHTUNGEN.....	33
2.9 FLIEßGEWÄSSER UND ABFLUSSMESSSTELLEN.....	36
3 METHODIK.....	42
3.1 KONZEPT MONITORINGSYSTEM	42
3.2 BESTEHENDE PILOTGEBIETE	44
3.3 AUSWAHL EINES NEUEN PILOTGEBIETES	45
3.4 MESSSTELLENAUFBAU	52
4 PROBEBETRIEB DES MONITORINGSYSTEMS	57
4.1 ABFLUSSMESSTECHNIK.....	57
4.2 KONTROLLMESSUNGEN UND KALIBRIERUNG.....	57
4.3 ABLEITUNG DES BASISABFLUSSES.....	60
4.4 ERFAHRUNGEN AUS DEM MESSBETRIEB	61
5 IMPLEMENTIERUNG EXTERNER DATEN	63
5.1 WETTERDATEN (DWD).....	63
5.2 ABFLUSS- UND GRUNDWASSERGANGLINIEN (NLWKN).....	63
5.3 WASSERENTNAHMEN.....	63
6 ERGEBNISSE AUS DEM MESSBETRIEB	64
6.1 GROß HESEBECK	64
6.2 ROSCHE	67
6.3 EMERN	69

6.4	OEDEME	71
6.5	ZWISCHENFAZIT MONITORING-SYSTEM.....	74
7	ENTSCHEIDUNGS- UND UNTERSTÜTZUNGSSYSTEM	75
7.1	AUFBAU GRUNDWASSERMODELL.....	75
7.2	KALIBRIERUNG UND VERIFIZIERUNG DES NUMERISCHEN MODELLS	78
7.2.1	STATIONÄRE MODELLKALIBRIERUNG	78
7.2.2	INSTATIONÄRE MODELLKALIBRIERUNG / SENSITIVITÄTSANALYSE / MODELLTEST	78
7.3	MODELLBERECHNUNG FÜR DEN ZEITRAUM APRIL 2018 BIS APRIL 2021	79
7.3.1	DATENGRUNDLAGEN.....	81
7.4	KALIBRIERUNG DES ZEITRAUMS VON 01.04.2018 BIS 31.03.2021	88
7.4.1	KALIBRIERUNG DER STANDROHRSPIEGELHÖHEN AN DEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN	90
7.4.2	KALIBRIERUNG DER BASISABFLÜSSE AN DEN OBERFLÄCHENGEWÄSSERPEGELN	99
7.4.3	ZUSAMMENFASSUNG DER MODELLKALIBRIERUNG.....	104
7.5	BERECHNUNG VON SZENARIEN MIT DEM GRUNDWASSERMODELL	104
7.5.1	IST-ZUSTAND	104
7.5.2	KEINE FELDBERECHNUNG IN DEN VIER PILOTGEBIETEN INKL. „PUFFERZONE“	105
7.5.3	STEIGERUNG DER FELDBERECHNUNG IN DEN VIER PILOTGEBIETEN INKL. PUFFERZONE UM 30 %	105
7.6	VERGLEICH DER ERGEBNISSE DER MODELLSZENARIEN	108
7.6.1	VERÄNDERUNG DER STANDROHRSPIEGELHÖHEN AN DEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN	108
7.6.2	VERÄNDERUNG DES BASISABFLUSSES AN DEN OBERFLÄCHENGEWÄSSERPEGELN	115
7.7	ZWISCHENFAZIT GRUNDWASSERMODELL	119
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	122
9	VERWENDETE UNTERLAGEN UND LITERATUR	126

Anlagenverzeichnis

- | | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Messprotokolle der Abflussmessungen (2020 und 2021) |
| Anlage 2 | Pegeleinzugsgebiete und Pegel mit mittlerem Basisabfluss 2010-2020 im Modellgebiet (Maßstab 1 : 300.000) |
| Anlage 3 | Vergleich von messwertbasierten und im Rahmen der Modellkalibrierung simulierten Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstellen in den drei Pilotgebieten |
| Anlage 4 | Vergleich von messwertbasierten und im Rahmen der Modellszenarien simulierten Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstellen in den drei Pilotgebieten |

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet [18]	14
Abbildung 2:	Relief und Landschaftsgliederung	15
Abbildung 3:	Geologische Karte mit Eisrandlagen (GK1000) [16].....	16
Abbildung 4:	Hydrostratigraphische Einheiten im Untersuchungsgebiet.....	18
Abbildung 5:	Blockbild des hydrogeologischen Strukturmodells	19
Abbildung 6:	Mittleren monatlichen Niederschlagshöhen und Temperaturen der Klimaperiode 1981 – 2010 für die Station Uelzen (ID 5146) (oben) und die Stationen Wendisch Evern (ID 6093) bzw. Lüneburg (ID 3103) [9].....	20
Abbildung 7:	Mittlerer jährlicher Niederschlag im Untersuchungsgebiet und Lage der Niederschlagsstationen [9]	21
Abbildung 8:	Monatsniederschläge DWD-Station Uelzen (ID 5146) April 2018 – Mai 2021 und Vergleichsreihen (1981-2010) in mm / Monat (oben), sowie prozentuale Abweichung vom langjährigen Mittel (1981-2010) (unten) [9][10].....	22
Abbildung 9:	Monatsniederschläge DWD-Station Wendisch Evern (ID 6093) April 2018 – Mai 2021 und Vergleichsreihen (1981-2010) in mm / Monat (oben), sowie prozentuale Abweichung vom langjährigen Mittel (1981-2010 ²) (Station Lüneburg und Wendisch Evern) (unten) [9][10]	24
Abbildung 10:	Grundwasserneubildung nach mGROWA18 [17].....	25
Abbildung 11:	Lage der Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen sowie in den angrenzenden Landkreisen innerhalb des Untersuchungsgebietes.....	27
Abbildung 12:	Jährliche Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg sowie in den angrenzenden Landkreisen für den Zeitraum 2008 bis 2020	29
Abbildung 13:	Lage und GWL-Zuordnung der Grundwassermessstellen im Modellgebiet	32
Abbildung 14:	Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung März 2018)	34
Abbildung 15:	Differenzenplan zwischen Geländeoberfläche und Standrohrspiegelhöhe AQ3 (Stichtagsmessung März 2018)	36
Abbildung 16:	Lage und oberirdische Einzugsgebiete der betrachteten Abflussmessstellen und Messpunkte im Modellgebiet	37
Abbildung 17:	Gewässernetz (WRRL) und Teileinzugsgebiete der Ilmenau [18] mit Vorschlägen weiterer Monitoring-Gebiete [1]	45
Abbildung 18:	Differenz aus Geländeoberfläche und Grundwasserdruckfläche (Stichtagsmessung März 2018) [18].....	47
Abbildung 19:	Grundwasserabhängige Landökosysteme (ungegliedert) und FFH-Gebiete im Landkreis Uelzen [18] [19] [20]	48

Abbildung 20: Wasserentnahmen (mittlere Entnahmemenge Zeitraum 2008 bis 2020) für die Feldberegnung in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg [18]	50
Abbildung 21: Lage der unterirdischen Einzugsgebiete mit den wichtigsten Kenndaten (Lage gwaLÖS, Grundwasseranschluss und mittleren Grundwasserentnahme (Zeitraum 2008-2020) [17])	51
Abbildung 22: Aufbau einer Messstellengruppe (Prinzipskizze)	53
Abbildung 23: Abflussmesssonde (Sontec IQ) montiert auf einer Gehwegplatte (a); Pegelstandort Oedeme unter einer Straßenbrücke mit Auslesestation am Ufer (b)	53
Abbildung 24: Grundwassermessstelle in Emern mit Antenne am Markierungspfosten (a), Schaltschrank in Emern mit Sommer-Logger (MRL-7) und Antenne (b).....	54
Abbildung 25: Oberfläche mit Lageübersicht der Messstandorte im Online-Portals HT-Analytics (a), Darstellung der Wasserstands- und Abflussdaten als Diagramm (b) und Tabelle (c) am Beispiel der Messstelle Oedeme	55
Abbildung 26: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Groß Hesebeck (nach Umbau)	59
Abbildung 27: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Rosche	59
Abbildung 28: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Emern	59
Abbildung 29: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Oedeme	60
Abbildung 30: Ergebnisse der Messstellengruppe Groß Hesebeck	64
Abbildung 31: Detailbetrachtung der Messstellengruppe Groß Hesebeck von Oktober bis Dezember 2020	66
Abbildung 32: Ergebnisse der Messstellengruppe Rosche	69
Abbildung 33: Ergebnisse der Messstellengruppe Emern.....	70
Abbildung 34: Ergebnisse der Messstellengruppe Oedeme	72
Abbildung 35: Abfluss-Stichtagsmessung Hasenburger Mühlenbach.....	73
Abbildung 36: Modellnetz mit LK Uelzen (hellgrün) und LK Lüneburg (rot, dargestellt nur der Bereich innerhalb des Modellgebiets).....	77
Abbildung 37: Modellnetz mit den drei Pilotgebieten mit einem Puffer von 1500m (Groß Hesebeck: rot, Emern: dunkelblau, Rosche: hellblau) im LK Uelzen (hellgrün) sowie dem neuen Pilotgebiet Oedeme (pink) im LK Lüneburg (orange)	80
Abbildung 38: Monatliche Grundwasserentnahmen für den Zeitraum 2018 bis 2021; für das Modellgebiet und die beiden LK Lüneburg und Uelzen (obere Abbildung); für die unterirdischen Einzugsgebiete der vier Pegel (untere Abbildung)	82
Abbildung 39: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Groß Hesebeck	85
Abbildung 40: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Rosche ...	86
Abbildung 41: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Emern	86

Abbildung 42: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Oedeme ...	87
Abbildung 43: Lage der Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegel im LK Uelzen, die für die Kalibrierung des Modells für den Zeitraum Januar 2018 bis März 2021 verwendet wurden.....	89
Abbildung 44: Lage der Grundwassermessstellen und des Oberflächengewässerpegel im LK Lüneburg, die für die Kalibrierung des Modells für den Zeitraum Januar 2018 bis März 2021 verwendet wurden	90
Abbildung 45: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2) ...	92
Abbildung 46: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Hesebeck F2 (AQ3).....	92
Abbildung 47: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)	93
Abbildung 48: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)	94
Abbildung 49: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3).....	95
Abbildung 50: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3).....	95
Abbildung 51: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle LG 236 P1 (AQ2).....	97
Abbildung 52: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle LG 236 P2 (AQ5).....	98
Abbildung 53: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle LG 236 P3 (AQ6).....	98
Abbildung 54: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Gr. Hesebeck.....	100
Abbildung 55: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Emern	101
Abbildung 56: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Rosche.....	102
Abbildung 57: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Oedeme	103
Abbildung 58: Monatsmengen der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung für die drei Szenarien unterteilt nach Summe der Pilotgebiete und Summe des LK Uelzen (obere Darstellung) sowie des LK Lüneburg (untere Darstellung)	107
Abbildung 59: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2)..	110

Abbildung 60:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F2 (AQ3)..	110
Abbildung 61:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)	111
Abbildung 62:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)	111
Abbildung 63:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3).....	112
Abbildung 64:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3).....	112
Abbildung 65:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle LG 236 F1 (AQ2)	114
Abbildung 66:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle LG 236 F2 (AQ5)	114
Abbildung 67:	Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle LG 236 F3 (AQ6)	115
Abbildung 68:	Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Groß Hesebeck	117
Abbildung 69:	Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Rosche	118
Abbildung 70:	Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Emern	118
Abbildung 71:	Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Oedeme.....	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Celle, Heidekreis, Harburg und Altmarkkreis Salzwedel	30
Tabelle 2:	Verteilung der Filterstrecke der GWMS auf die Grundwasserleiter des hydrogeologischen Strukturmodells.....	33
Tabelle 3:	Übersicht der Datensätze gemessener Abflussmengen und Wasserstände an den Abflussmessstellen im Untersuchungsgebiet	39
Tabelle 4:	Entscheidungsmatrix zur Ermittlung prioritärer Untersuchungsgebiete	44
Tabelle 5:	Kennwerte der Pilotgebiete.....	52
Tabelle 6:	Grundwasserentnahmen im LK Uelzen sowie den drei Pilotgebieten für die Jahre 2018 bis 2020	83
Tabelle 7:	Grundwasserentnahmen im LK Lüneburg sowie dem Pilotgebiet Oedeme für die Jahre 2018 bis 2020	83
Tabelle 8:	Daten der drei instationären Modellszenarien	105
Tabelle 9:	Modellberechnete Basisabflüsse an den Pegeln in den vier Pilotgebieten	116

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung / Bedeutung
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AMK	Altmarkkreis
CAH	Consulaqua Hildesheim
CDC	Climate Data Center
DGM50	Digitales Geländemodell 1 : 50.000
DWD	Deutscher Wetterdienst
DFU	Dachverband Feldberegnung Uelzen
DFL	Dachverband Feldberegnung Lüneburg
EZG	Einzugsgebiet
FFH(-Gebiete)	Fauna-Flora-Habitat(-Gebiete)
FTP	File Transfer Protocol
gwaLÖS	Grundwasserabhängiges Landökosystem
GWM / GWMS	Grundwassermessstelle
GWN	Grundwasserneubildung
GWL	Grundwasserleiter
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LK	Landkreis
mGROWA(18)	monatlicher Großräumiger Wasserhaushalt ; Wasserhaushaltsmodell zur Berechnung der Grundwasserneubildung in Niedersachsen
MoMNQ	Mittlere monatliche Niedrigwasserabflüsse
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasser- wirtschaft, Küsten-, und Naturschutz
WRRL / EU WRRL	Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union
W-Q(-Beziehung)	Wasserstands-Abfluss-Beziehung

Abstract

For covering increasing needs of groundwater abstractions for agricultural irrigation a sustainable and adapted management of the available groundwater resources is essential. A prerequisite for this is a monitoring system, which allows to deliver promptly and with minimum measuring effort the relevant information for a tailored management of even large groundwater management areas such as the County of Uelzen and Lüneburg.

The present documentation / report involves the continuation of the monitoring concept started in 2017 with the TopSoil project [1]. The data measurements were continued at the three existing pilot-areas in the County of Uelzen. In the County of Lüneburg, an additional monitoring site was put into operation in October 2020. The site includes other characteristics considering the geological layer structure and expands the data basis for the numerical groundwater model.

Furthermore, all groundwater measuring wells and gauging stations in the four pilot areas were equipped with remote data transmission technology to minimize measurement failures and ensure more efficient data processing.

This triple monitoring system fulfills two different functions: on the one hand the monitoring of effects caused by groundwater abstractions on the occurring ecological assets as well as the EC-WFD management goals. On the other hand the prompt provision of those data needed for defining the upcoming irrigation period's available groundwater quantities. And, as a consequence, the possibly required quantitative and areal reduction of abstraction / irrigation.

An existing transient numerical groundwater flow model of the entire area works as a basic tool for both prediction and management. With its help the effects of varying groundwater abstractions on piezometric heads and on baseflows, especially during low water periods, can be described and predicted.

The data basis obtained from the monitoring system covers three consecutive dry years. However, in order to build up a reliable decision support to be able to predict forecasts for the following irrigation period, longer time series over several years are required. Other climate situations should be reflected as well.

In interaction with the existing, continuously updated numerical groundwater model, the draw-down-induced impacts on the occurring ecological assets can be determined and monitored in the pilot areas with relatively few measuring. Further a prompt evaluation of the measuring data enables a protective regulation of groundwater abstractions and comprehensive planning of the up-coming irrigation season.

Zusammenfassung

Zur Deckung des steigenden Bedarfs an Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung ist eine nachhaltige, angepasste Bewirtschaftung des Grundwasserdargebots notwendig. Grundvoraussetzung hierfür ist ein Monitoringsystem, das auch für große Bewirtschaftungsgebiete wie den Landkreisen Uelzen und Lüneburg zeitnah und mit möglichst geringem Messaufwand die erforderlichen Informationen liefert, die für eine bedarfsgerechte Steuerung der Grundwasserentnahmen benötigt werden.

Die vorliegende Dokumentation umfasst die Fortführung des im Rahmen des Projektes Top-Soil [1] begonnenen Monitoringkonzepts. Dabei wurden die Datenmessungen an den drei bestehenden Standorten im Landkreis Uelzen fortgesetzt. Im Landkreis Lüneburg ist ergänzend eine weitere Messstellengruppe im Oktober 2020 in Betrieb genommen worden. Der Standort umfasst andere Eigenschaften bezüglich des geologischen Schichtenaufbaus und erweitert die Datengrundlage für das numerische Grundwassermodell.

Weiterhin wurden alle Grundwassermessstellen und Abflussmessstellen in den vier Pilotgebieten mit Datenfernübertragungstechnik ausgerüstet, um Messausfälle zu minimieren und effektivere Datenverarbeitung zu gewährleisten.

Das Monitoringsystem hat zwei unterschiedliche Aufgaben: Einerseits die Überwachung der Auswirkungen der Grundwasserentnahmen auf die einzelnen Schutzgüter sowie auf die Bewirtschaftungsziele gemäß EU-WRRL und andererseits eine zeitnahe Bereitstellung der Datengrundlage für die Ermittlung des in der folgenden Beregnungsperiode zur Verfügung stehenden Grundwasserdargebots und der ggf. damit einhergehenden mengenmäßigen und räumlichen Anpassung der Beregnungstätigkeit.

Ein das gesamte Untersuchungsgebiet umfassendes instationäres numerisches Grundwassermodell stellt das wesentliche Prognose- und Steuerungsinstrument dar. Es wurde mit der Erweiterung der Datengrundlage überarbeitet / aktualisiert. Mit dem Modell sind Berechnungen für den verlängerten Untersuchungszeitraum durchgeführt worden. Hierauf aufbauend ist die Prognose der Auswirkungen veränderter Grundwasserentnahmen auf die Standrohrspiegelhöhen und die grundwasserbürtigen Abflüsse in den Gewässern, insbesondere die Niedrigwasser-Basisabflüsse, möglich.

Die aus dem Messbetrieb gewonnene Datengrundlage umfasst durch das Monitoring drei aufeinanderfolgende Trockenjahre. Um ein zuverlässiges Entscheidungs- und Unterstützungssystem aufzubauen und aussagekräftige Prognosen für die darauffolgende Beregnungsperiode treffen zu können, bedarf es jedoch längere Zeitreihen über mehrere Jahre, die auch andere klimatische Situationen abbilden.

In Interaktion mit dem bestehenden, laufend fortgeschriebenen numerischen Grundwassermodell können hierdurch im Bereich der Pilotgebiete die förderbedingten Auswirkungen auf die relevanten Schutzgüter mit relativ wenigen Messstellen (mindestens eine im Oberflächengewässer und jeweils eine im AQ2 und AQ3) ermittelt und überwacht werden. Die zeitnahe Aus- und Bewertung des Systemzustands ermöglicht anschließend eine ressourcen- und bedarfsgerechte Steuerung der Beregnungsentnahmen.

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der seit Jahren steigende und bereichsweise mit der öffentlichen Trinkwasserversorgung konkurrierende Bedarf an Beregnungswasser (Zusatzwasserbedarf) für die Landwirtschaft wird als Folge des Klimawandels und der Intensivierung der Landwirtschaft weiter zunehmen. Die bedarfsangepasste Erhöhung der Wasserrechte ist deshalb eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Entwicklung der durch Bewässerungslandwirtschaft geprägten Region Uelzen-Lüneburg.

Begrenzende Faktoren der Wasserentnahmen für die Feldberegnung sind, neben dem Grundwasserdargebot, negative Auswirkungen auf Schutzgüter und insbesondere auf die grundwasserabhängigen Landökosysteme. Dieses bezieht sich sowohl auf lokale Entnahmen (Einzelbrunnen) als auch auf die summarische (Fern-)Wirkung aller Entnahmen im betrachteten System. Gleiches gilt für die Beeinflussung der aus ökologischen Gründen notwendigen Mindestabflüsse in den mit dem Grundwasser interagierenden Fließgewässern. Speziell dieser Aspekt hat im Zusammenhang mit der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union (EU-WRRL) [2] an Bedeutung gewonnen und der Untersuchungsaufwand ist entsprechend gestiegen.

Aus hydrogeologischen Gründen sind oftmals nur kleine Flächenanteile des Gesamtgebietes von potentiell negativen Auswirkungen der Grundwasserförderung betroffen. Flächen mit hohen Grundwasserflurabständen oder artesisch gespannten Verhältnissen können vielfach außer Betracht gelassen werden.

Sehr viel größere Relevanz, auch im Hinblick auf das Grundwasserdargebot, hat die Betrachtung der summarischen Einflüsse aller Entnahmen (Beregnung und weitere Wasserrechte); erst recht, wenn für deren Ermittlung im Rahmen von Antragsunterlagen die volle Ausschöpfung aller genehmigten Wasserrechte angesetzt werden muss [2]. Gleiches gilt für Zukunftsszenarien, die den prognostizierten gestiegenen Beregnungsbedarf berücksichtigen.

Vor diesen Herausforderungen stehen auch die Dachverbände Feldberegnung Lüneburg und Uelzen in Nordostniedersachsen, die für die anstehenden Wasserrechtsanträge umfangreiche hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Untersuchungen durchführen müssen. Aufgrund der erheblichen Größe des Untersuchungsgebietes von ca. 3.850 km² mit einer Beregnungsfläche von insgesamt rd. 805 km² (LK Uelzen ca. 536 km² und LK Lüneburg mit Stadt Lüneburg ca. 269 km²), einer derzeit noch bewilligten Jahresberegnungsentnahmemenge aus dem Grundwasser von 57,2 Mio. m³ (LK Uelzen ca. 40,4 Mio. m³ und LK Lüneburg mit Stadt Lüneburg ca. 16,8 Mio. m³) und einer Entnahme aus über ca. 2.000 Beregnungsbrunnen ist ein „konventionelles“ Bewirtschaftungsmonitoring mit hunderten von Überwachungsmessstellen (Grund- und Oberflächenwasser) weder für eine bedarfsgerechte zeitnahe Steuerung der Grundwasserentnahmen flexibel genug noch ökonomisch vertretbar.

Daher wurde mit dem Topsoil Teilprojekt GE4 Aquamodul [1] ein innovativer Monitoringansatz entwickelt und erprobt, der Grundlagen und Handlungsspielräume für eine bedarfsgerechte

Steuerung der anstehenden wasserrechtlichen Entscheidungen bieten kann und darüber hinaus ein verträgliches Mengenmanagement der zur Verfügung stehenden Grundwasservorkommen gewährleisten soll.

Hierbei wurden wesentliche Aspekte erkannt, die berücksichtigt werden müssen, um zukünftig weitere Aussagen über den Einfluss der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung auf den Grundwasserhaushalt und auf naturschutzfachlich relevante Schutzgüter treffen zu können. Mit der Erweiterung des Topsoil Teilprojekts GE4 Aquamodul sollen die folgenden Punkte aufgegriffen vertieft bearbeitet werden.

Fortführung der Messungen an den Grundwasser- und Abflussmessstellen

In der Erprobungsphase wurden in drei Pilotgebieten im Landkreis (LK) Uelzen Grundwasserstands- und Abflussmessungen durchgeführt. Hierbei wurden schwerpunktmäßig die extrem trockenen Jahre 2018 und 2019 erfasst. Wegen der geringen Niederschlagsmengen waren die Abflussmengen zeitweise so gering, dass die Messgeräte an den unteren Messbereich der Datenerfassung kamen und somit die Messwerte mit Unsicherheiten behaftet sind. Um eine höhere Daten- und damit auch Aussagesicherheit zu erreichen sind aus fachlicher Sicht längere Messzeiträume empfehlenswert, die neben den trockenen Jahren 2018 und 2019 auch durchschnittliche und feuchte Jahre umfassen.

Ausweisung zusätzlicher Pilotgebiete

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Repräsentativität der untersuchten Pilotgebiete für das gesamte Untersuchungsgebiet (LK Uelzen und Lüneburg), so dass ggf. eine spätere Übertragbarkeit der Erkenntnisse möglich ist. Bisher beschränken sich die drei Pilotgebiete auf den Ostbereich des Kreises Uelzen innerhalb des Grundwasserkörpers Ilmenau Lockergestein rechts. Daher käme die Integrierung eines zusätzlichen Pilotgebiets, das einerseits den bereits definierten Kriterien und Ansprüchen entspricht, andererseits aber in anderen Grundwasserkörpern mit sich von den bisherigen Gebieten unterscheidenden Rahmenbedingungen liegt, der Erweiterung des Kenntnisstandes und damit den Projektzielen sehr entgegen.

Ausrüstung der Messstellen mit Datenfernübertragungstechnik

In der ersten Erprobungsphase kam es zeitweise zu Messausfällen, die erst beim nachfolgenden vor-Ort-Einsatz entdeckt werden konnten. Zudem mussten die Messdaten vor Ort manuell ausgelesen und anschließend aufbereitet werden. Daher wurden zur Minimierung von Messausfällen sowie einer effektiveren Datenverarbeitung alle Abflussmessstellen und Grundwassermessstellen mit Datenfernübertragungstechnik ausgerüstet und erprobt.

2 Grundlagen und Systembeschreibung

Das Untersuchungsgebiet (= Modellgebiet, Abbildung 1) befindet sich in Nordostniedersachsen und umfasst die im Landkreis Uelzen und Landkreis Lüneburg vorkommenden Grundwasserkörper Ilmenau Lockergestein rechts, Ilmenau Lockergestein links, Jeetzel Lockergestein links, Örtze Lockergestein links sowie Ise Lockergestein rechts.

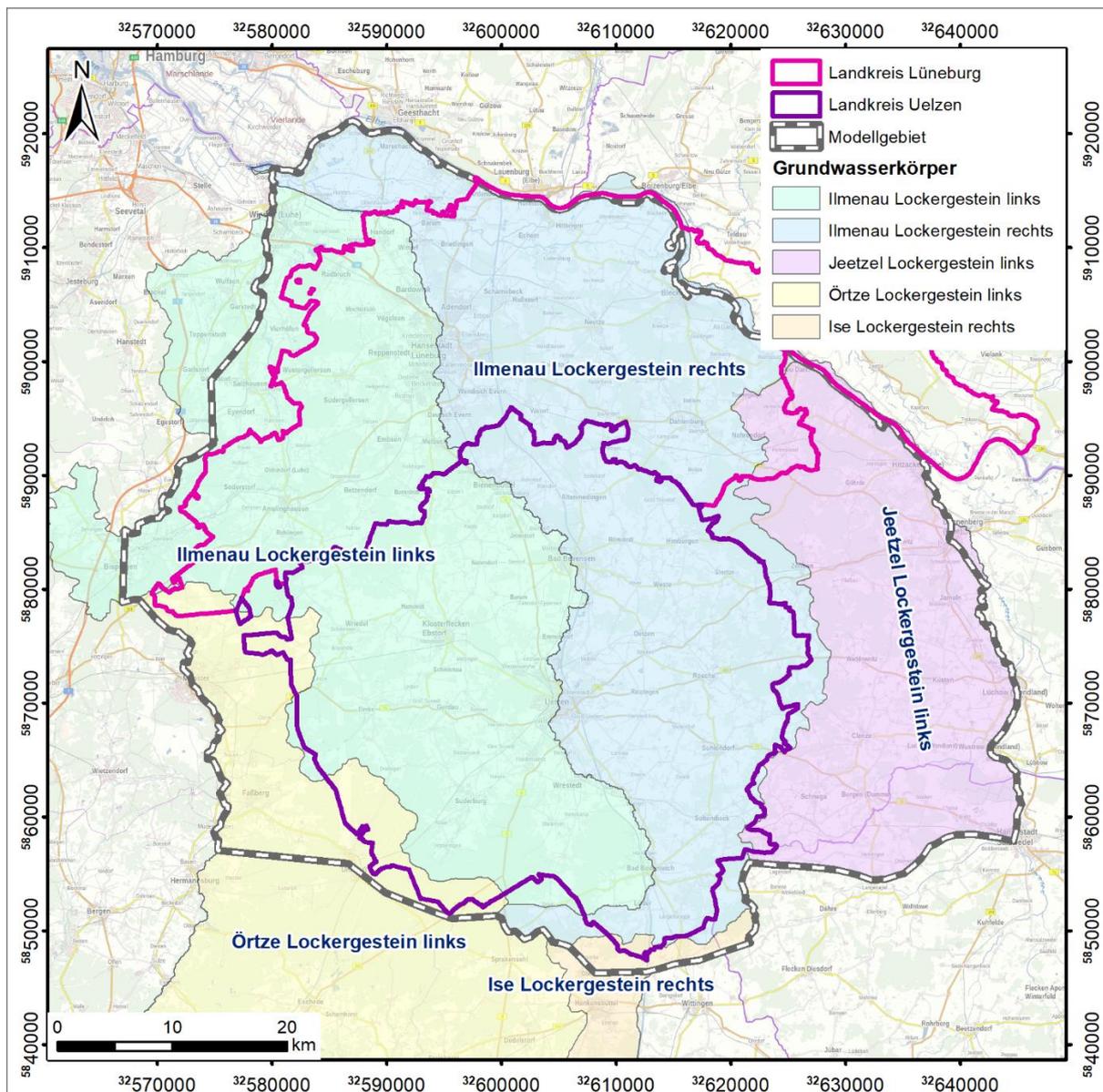


Abbildung 1: Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet [18]

2.1 Landschaft und Böden

Die Landkreise Uelzen und Lüneburg befinden sich in der östlichen Lüneburger Heide, einer Geest-Landschaft, die sich vor allem durch die überwiegend sandigen Sedimente der Saale-

Kaltzeit auszeichnet. Vor allem die Böden im Bereich der Geest besitzen eine geringe Wasserhaltekapazität, woraus ein hoher Zusatzwasserbedarf für die Landwirtschaft resultiert. Das Relief ist durch die Endmoränenzüge mehrerer Eisvorstöße geprägt, die sich grob entlang der westlichen, südlichen und östlichen Grenze des Landkreises Uelzen erstrecken und die Hochlagen Süsing, Lüß, Hoher Drawehn und Göhrde geformt haben. Innerhalb dieses Hochlagen hat sich das Uelzener Becken ausgebildet, in dem alle Bäche in die Ilmenau münden, welche als Hauptvorflut das Gebiet nach Norden in Richtung Elbniederung entwässert.

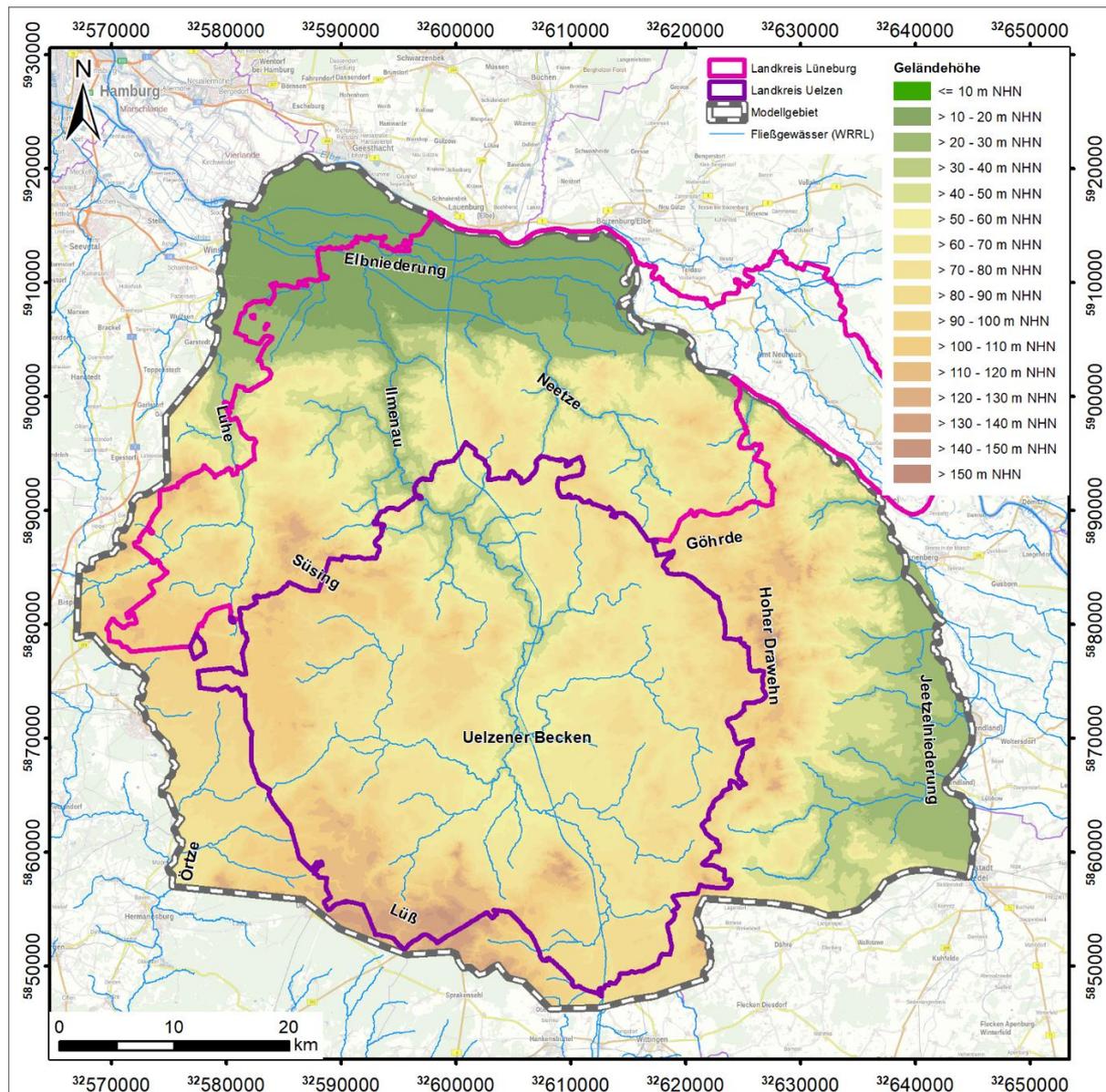


Abbildung 2: Relief und Landschaftsgliederung

Im Landkreis Lüneburg schließt nördlich an die Geest die Elbniederung an, einer mit Entwässerungsgräben durchzogenen reliefarmen Landschaft mit sandig bis lehmigen Sedimenten aus der Weichsel-Kaltzeit sowie lehmig bis tonigen Sedimenten des Holozäns. Im Landkreis

Lüneburg gibt es mit Luhe und Neetze zwei weitere wichtige Vorfluter, deren Einzugsgebiete große Teile des Landkreises umfassen.

2.2 Geologie

Die oberflächennahe Geologie besteht überwiegend aus Sedimenten, die sich während der Saale-Kaltzeit abgelagert haben. Hierzu zählen insbesondere Schmelzwassersande, Grundmoränenmaterial (Geschiebelehm / Geschiebemergel) und Beckenablagerungen. Im Untersuchungsgebiet befindet sich darüber hinaus eine große Zahl an Endmoränenzügen des jüngeren Drenthe-Stadiums sowie des Warthe-Stadiums, deren Sedimente oft aus einem inhomogenen und teilweise gestauchten Gemenge aus Sand, Schluff, Kies und Ton bestehen.

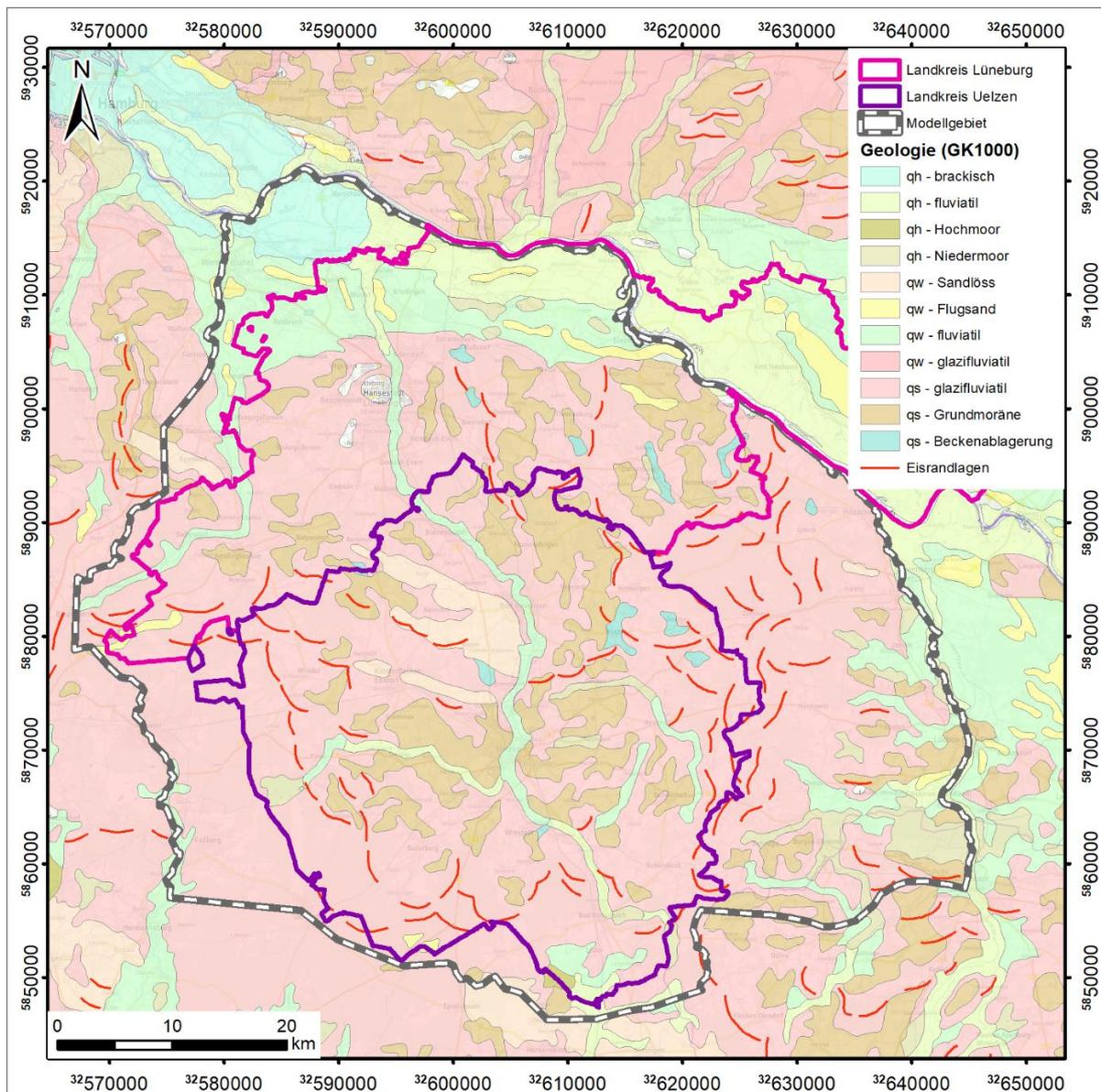


Abbildung 3: Geologische Karte mit Eisrandlagen (GK1000) [16]

Sedimente der Weichsel-Kaltzeit sind vor allem als Flusssande entlang der Täler und Niederungen vorhanden sowie in Form lokaler Sandlöss- und Flugsandvorkommen. Die größte Verbreitung dieser Sandlöss- und Flugsandvorkommen liegt im Mündungsbereich von Luhe und Ilmenau hin zur Elbniederung.

Holozäne Ablagerungen dominieren vor die Gebiete der Elbniederung, ansonsten beschränken sich diese im Wesentlichen auf Flussablagerungen sowie auf lokal verbreitete Hoch- und Niedermoore.

2.3 Hydrogeologie

Die hydrostratigraphische Gliederung Niedersachsens ist in GeoFakten 21 [1] beschrieben und bildete die Grundlage für das hydrogeologische Strukturmodell, das im Rahmen der Vorarbeiten zu den Wasserrechtsanträgen der Dachverbände Feldberegnung Uelzen und Lüneburg aufgebaut wurde. Aus dem hydrogeologischen Strukturmodell wurde daraufhin ein numerisches Grundwasserströmungsmodell entwickelt. Abbildung 4 stellt die hydrostratigraphische Gliederung im Untersuchungsgebiet sowie die daraus abgeleiteten Schichteinheiten für das hydrogeologische Strukturmodell und das numerische Grundwasserströmungsmodell dar.

Die wasserwirtschaftlich relevanten Schichten im Untersuchungsgebiet haben sich seit dem Tertiär (Miozän) abgelagert, beginnend mit dem Unteren Glimmerton (AT6), der die Basis des Grundwasserleiterkomplexes bildet. Darauf folgen mit den Unteren (AQ6) und Oberen Braunkohlensanden (AQ5) bedeutsame Grundwasserleiter, die in weiten Teilen durch eine Ton-schicht, der Hamburg-Formation (AT5), voneinander getrennt sind. Den Abschluss der tertiären Schichten bildet der Obere Glimmerton (AT4); dieser ist im Untersuchungsgebiet weiträumig erodiert und vor allem im Landkreis Lüneburg von Bedeutung.

Das tertiäre Schichtpaket ist mit einem Netzwerk aus bis zu 350 m tiefen glazialen Erosionsrinnen durchzogen, die mit meist sandigen und kiesigen Sedimenten (Schmelzwassersande, Flussschotter), aber auch Feinsedimenten (Beckenablagerungen) der Elster-Kaltzeit verfüllt sind (AQ4). Die glazialen Rinnen sind bedeutende Grundwasserleiter; sie stehen über die Rin-nenflanken häufig in hydraulischem Kontakt zu den benachbarten tertiären Grundwasserlei-tern.

Die darüber liegenden Sedimente der Saale-Kaltzeit formen mehrere Grundwasserstockwerke (AQ2 + AQ3), bestehend aus einer Wechselfolge von Schmelzwassersanden, Grundmoränen und Beckenablagerungen (AT2 + AT3). Dabei stellen die Schmelzwassersande des Haupt-Drenthe-Stadiums im Untersuchungsgebiet den Hauptförderhorizont (AQ3) der Beregnungsbrunnen dar (vgl. Kapitel 2.6).

	Nomenklatur des LBEG "Hydrostrat. Gliederung Niedersachsens" (GeoFakten 21)		Hydrogeologisches Modell	Numerisches Modell Layerstruktur		
	Hydrostratigraphische Einheiten	kf-Wert [m/s]		Bezeichnung der Schichteinheiten	Bezeichnung GOK	Layer
Quartär	L1 / 1.1 - 1.3	>1E-5 - 1E-3	AQ1	AQ1	Layer 1	S1
					Layer 2	S2
					Layer 3	S3
	H2/ 3	>1E-7 - 1E-5	AT1	AT1	Layer 4	S4
	(L2/ 2.1 - 2.2)/ L3	>1E-3 - 1E-2	AQ2	AQ2	Layer 5	S5
	H3/ 3.1 - 3.2	>1E-7 - 1E-5	AT2	AT2	Layer 6	S6
	L3/ 4.1	>1E-4 - 1E-3	AQ3	AQ3	Layer 7	S7
	H4/ 4.1 - 4.2	>1E-9 - 1E-5	AT3	AT3	Layer 8	S8
Tertiär	L4/ 4.1 L4.2 /HL 4.2	>1E-5 - 1E-3	AQ4	AQ4	Layer 9	S9
	H5 (+L4.3)	<1E-5	AT4	AT4	Layer 10	S10
	L5	>1E-4 - 1E-3	AQ5	AQ5	Layer 11	S11
	H6	>1E-7 - 1E-5	AT5	AT5	Layer 12	S12
	L6	>1E-4 - 1E-3	AQ6	AQ6	Layer 13	S13 = Modellbasis
	H7	<1E-5	(AT6)			

Abbildung 4: Hydrostratigraphische Einheiten im Untersuchungsgebiet

Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt des hydrogeologischen Strukturmodells, auf dessen Basis das numerische Grundwasserströmungsmodell der Dachverbände Feldberegnung Uelzen und Lüneburg aufgebaut wurde.

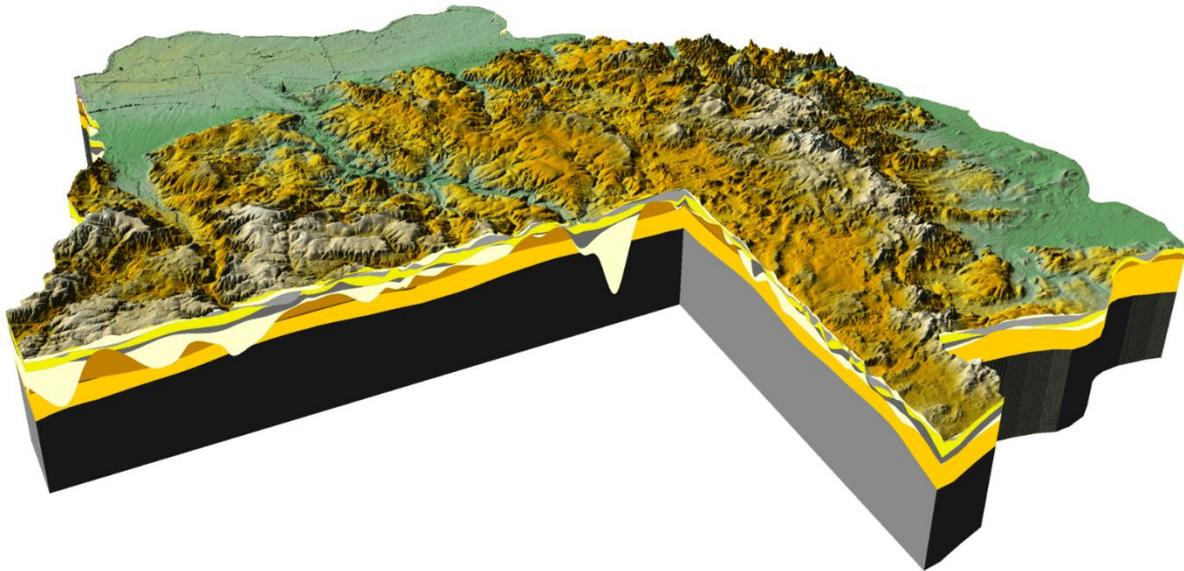


Abbildung 5: Blockbild des hydrogeologischen Strukturmodells

2.4 Klima

In Abbildung 6 sind die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen und Temperaturen der Klimaperiode 1981 – 2010 zum einen für die Station Uelzen (ID 5146) (oben) und zum anderen für die Stationen Wendisch Evern (ID 6093) bzw. Lüneburg (ID 3103) dargestellt. Die Stationen Wendisch Evern und Lüneburg werden für den Landkreis Lüneburg, die Station Uelzen für den Landkreis Uelzen als repräsentativ angesetzt. Die Datenaufzeichnung hat an den Stationen Wendisch Evern und Lüneburg nicht durchgängig für den Zeitraum von 1981-2010 stattgefunden, sodass die Berechnung der mittleren monatlichen Klimawerte eine Kombination der beiden Stationen ist. Von der Station Lüneburg liegen Daten vom 01.01.1981 bis 31.12.1997 vor und von der Station Wendisch Evern vom 01.02.1998 bis 31.12.2010. Für den Zeitraum vom 01.07.2011 bis zum 30.04.2004 liegen keine Daten für die Station Wendisch Evern vor. Für die Station Uelzen fehlen ebenso Daten für den Zeitraum vom 01.09.1996 bis zum 31.05.2004.

Die durchschnittliche Niederschlagshöhe an der Niederschlagsstation Uelzen beträgt 650 mm/a und verteilt sich im Jahresverlauf relativ gleichmäßig über die Monate. Die saisonalen Schwankungen der durchschnittlichen Temperaturen reichen von 0,8°C im Januar und Februar bis 18,0 °C im Juli bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,0 °C.

Die durchschnittliche Niederschlagshöhe der gemeinsamen Betrachtung der Stationen Lüneburg und Wendisch Evern beträgt 662 mm/a und verteilt sich im Jahresverlauf sehr ähnlich zum Jahresverlauf der Station Uelzen. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 9,4 °C. Die saisonalen Schwankungen liegen zwischen 1,2°C im Januar und 18,3°C im Juli.

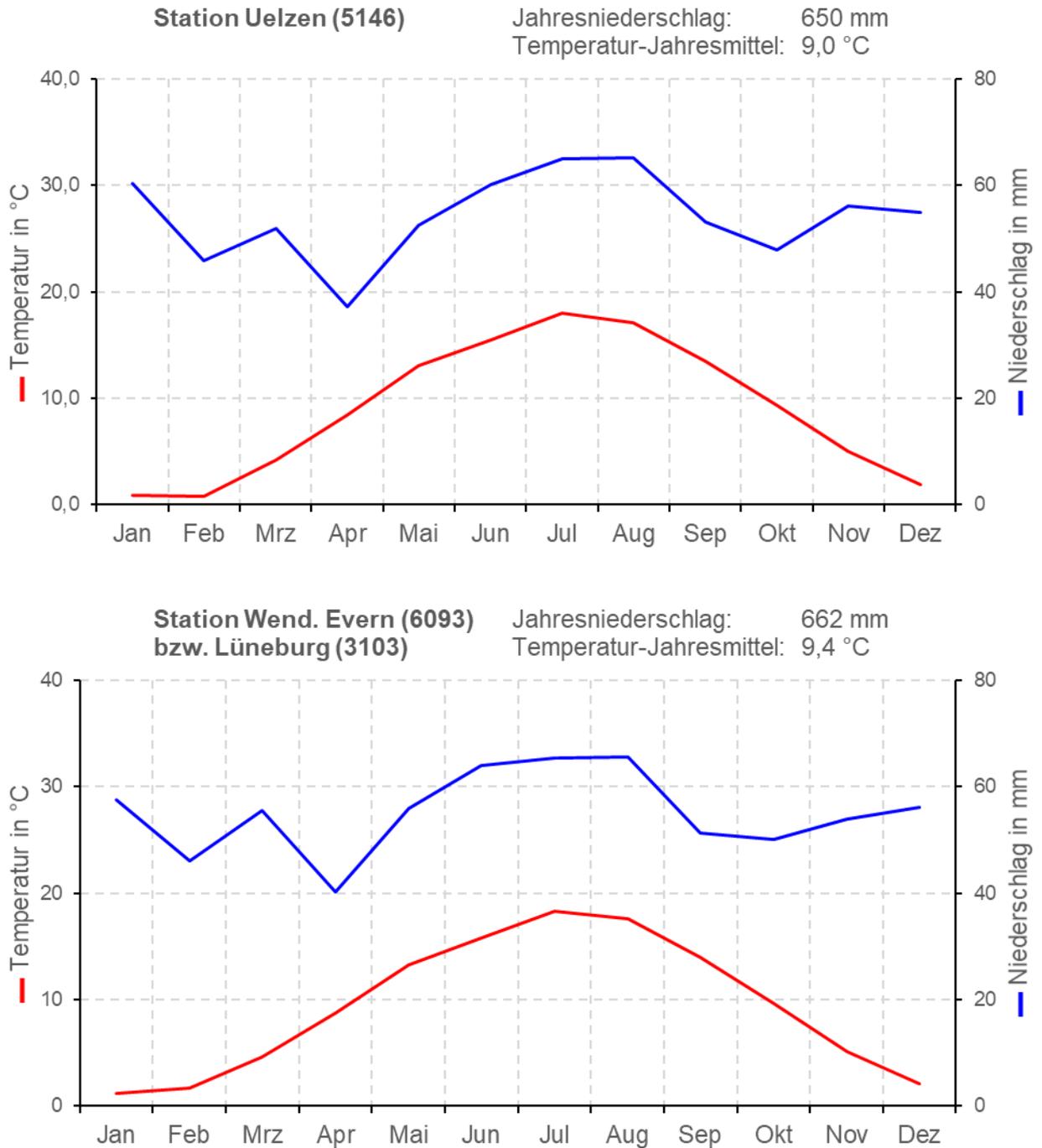


Abbildung 6: Mittlere monatlichen Niederschlagshöhen und Temperaturen der Klimaperiode 1981 – 2010 für die Station Uelzen (ID 5146) (oben) und die Stationen Wendisch Evern (ID 6093) bzw. Lüneburg (ID 3103) [9]

Die räumliche Niederschlagsverteilung unterliegt einem regionalen Trend mit hohen Niederschlägen (> 800 mm/a) im Westen und einer abnehmenden Niederschlagshöhe in Richtung der zunehmend kontinentaler geprägten Gebiete im Osten (Abbildung 7).

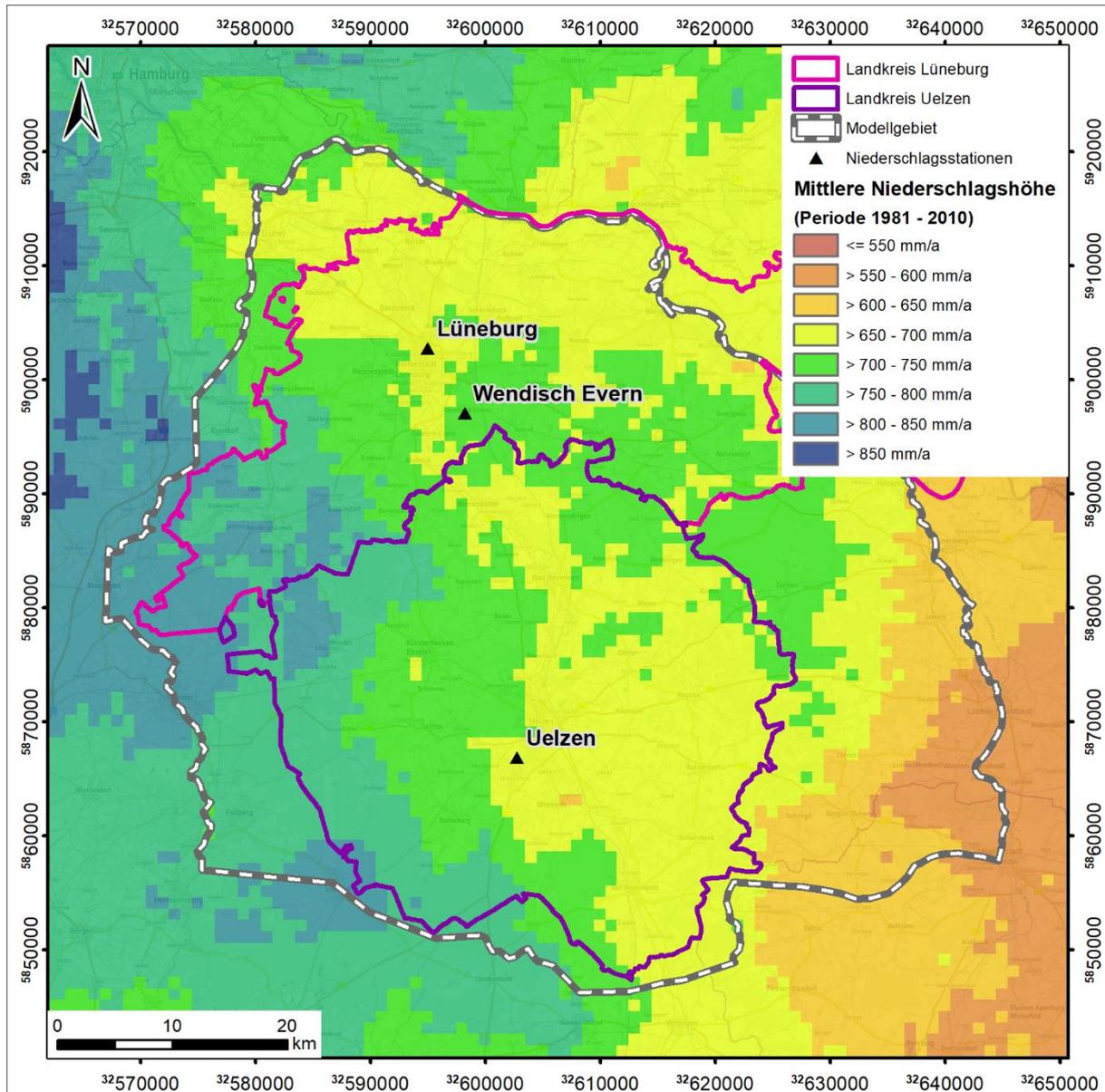


Abbildung 7: Mittlerer jährlicher Niederschlag im Untersuchungsgebiet und Lage der Niederschlagsstationen [9]

In der Abbildung 8 sind die Monatssummen der Station Uelzen (ID 5146) von April 2018 bis Mai 2021 dargestellt und dem 30-jährigen Mittel des Vergleichszeitraum 1981-2010¹ gegenübergestellt. Dies stellt den Betrachtungszeitraum des Messbetriebs dar (vgl. Kapitel 6).

Im Vergleich zum Zeitraum 1981-2010 sind die Jahre 2018 bis 2020 an der Station Uelzen generell durch stark defizitäre Niederschlagsverhältnisse geprägt. Im Großteil der Monate sind im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen gefallen (z.B. Mai – November 2018 zwischen 3 % und 59 % vom langj. Monatsmittel). In einigen der Sommermonate (z.B. Juni, Juli und September 2019) traten im Vergleich zum langjährigen

Monatsmittel durchschnittliche bis feuchte Niederschlagsverhältnisse auf. Bei detaillierter Betrachtung der Tagesniederschläge [10] fällt auf, dass die monatlich ermittelten Niederschlagssummen dieser Monate zu einem großen Anteil durch Starkregenereignisse geprägt werden. Zum Beispiel stellt das Starkregenereignis vom 14.06.2019 mit ca. 55 % des gefallenen Monatsniederschlags den wesentlichen Mengenanteil des Monats Juni 2019 dar. Auch in den Monaten Juli und September 2019 führen Starkregenereignisse mit großen Niederschlagssummen dazu, dass die Monate im Vergleich zum langjährigen Mittel als überdurchschnittlich eingestuft werden.

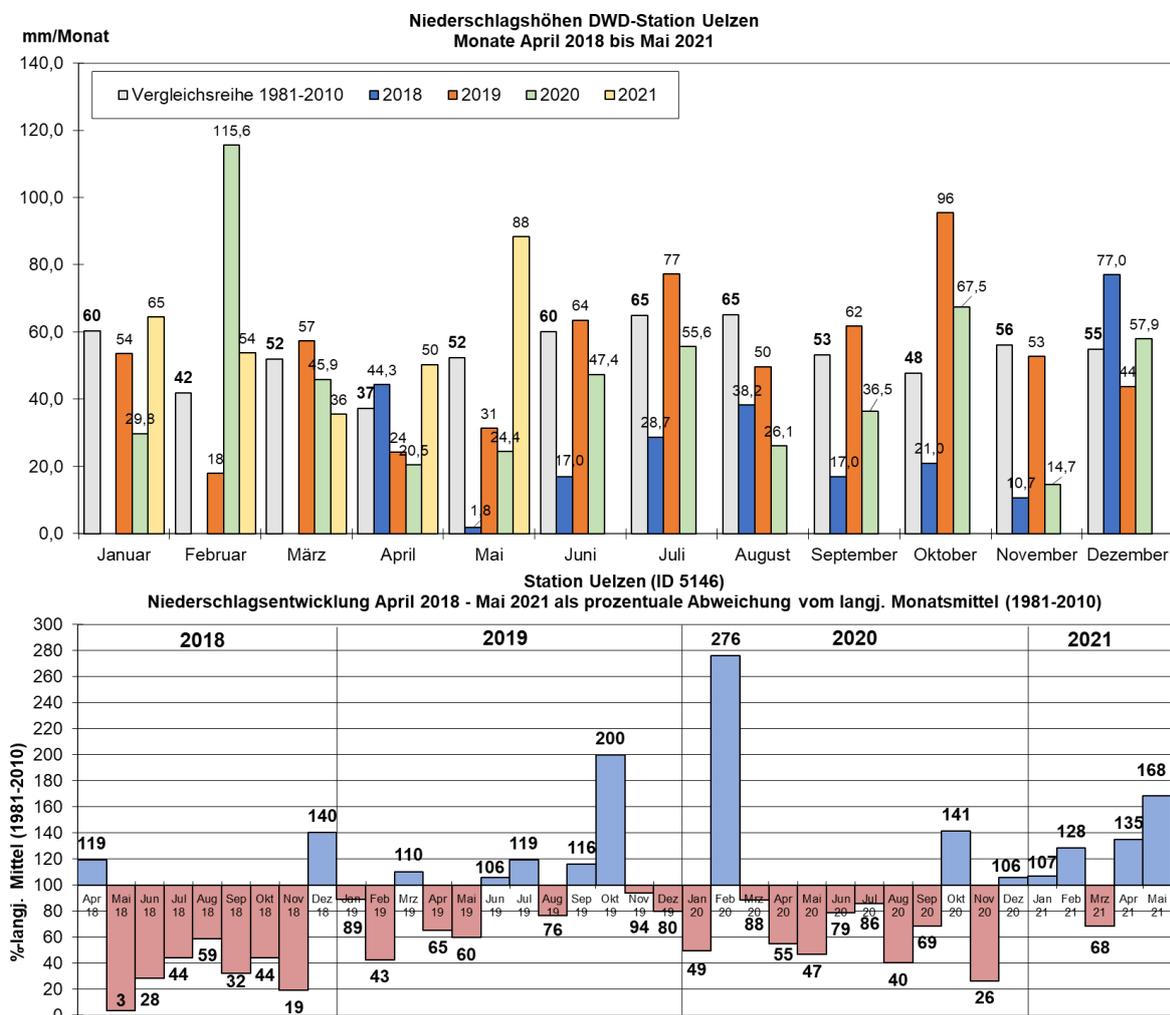


Abbildung 8: Monatsniederschläge DWD-Station Uelzen (ID 5146) April 2018 – Mai 2021 und Vergleichsreihen (1981-2010¹) in mm / Monat (oben), sowie prozentuale Abweichung vom langjährigen Mittel (1981-2010¹) (unten) [9][10]

¹ Für die Vergleichsreihe 1981-2010 liegen vom 01.09.1996 bis 31.05.2004 keine Daten vor, daher konnte dieser Zeitraum nicht berücksichtigt werden.

Die Niederschlagshöhen der für den Landkreis Lüneburg gewählten DWD-Station Wendisch Evern (ID 6093), weist generell ähnliche Mengen und damit eine ähnliche Entwicklung im Vergleich zur Station Uelzen auf (vgl. Abbildung 9). Der betrachtete Zeitraum ist ebenso durch stark unterdurchschnittliche Niederschlagsverhältnisse geprägt.

Im Vergleich zeigen sich jedoch zum Teil deutliche Abweichungen zwischen einzelnen Monaten. Diese werden hauptsächlich durch das lokale Auftreten von Starkregenereignissen bedingt. Große Differenzen zwischen den Niederschlagssummen bestehen z.B. im Juni 2020. An der Station Wendisch Evern sind 75,8 mm Niederschlag (126 % vom langj. Mittel Station Wendisch Evern) und an der Station sind mit 47,4 mm (79% vom langj. Mittel Station Uelzen) nur rd. 63 % der Menge gemessen worden. Die Starkregenereignisse vom 13.06.2020 (26,6 mm) und 18.06.2020 (17,4 mm) machen zusammen rd. 58 % der Monatssumme Juni 2020 an der Station Wendisch Evern aus und erklären die Differenz. Neben sehr lokal auftretenden Niederschlagsereignissen, die nur an einer der beiden Stationen registriert werden, sind andererseits auch regional auftretende Niederschlagsereignisse, die an beiden Stationen erfasst werden. Am 29.09.2019 und 01.10.2019 sind große Regenmengen an der Station Uelzen, als auch an der Station Wendisch Evern gemessen worden, die jeweils einen großen Anteil der jeweiligen Monatssumme ausmachen.

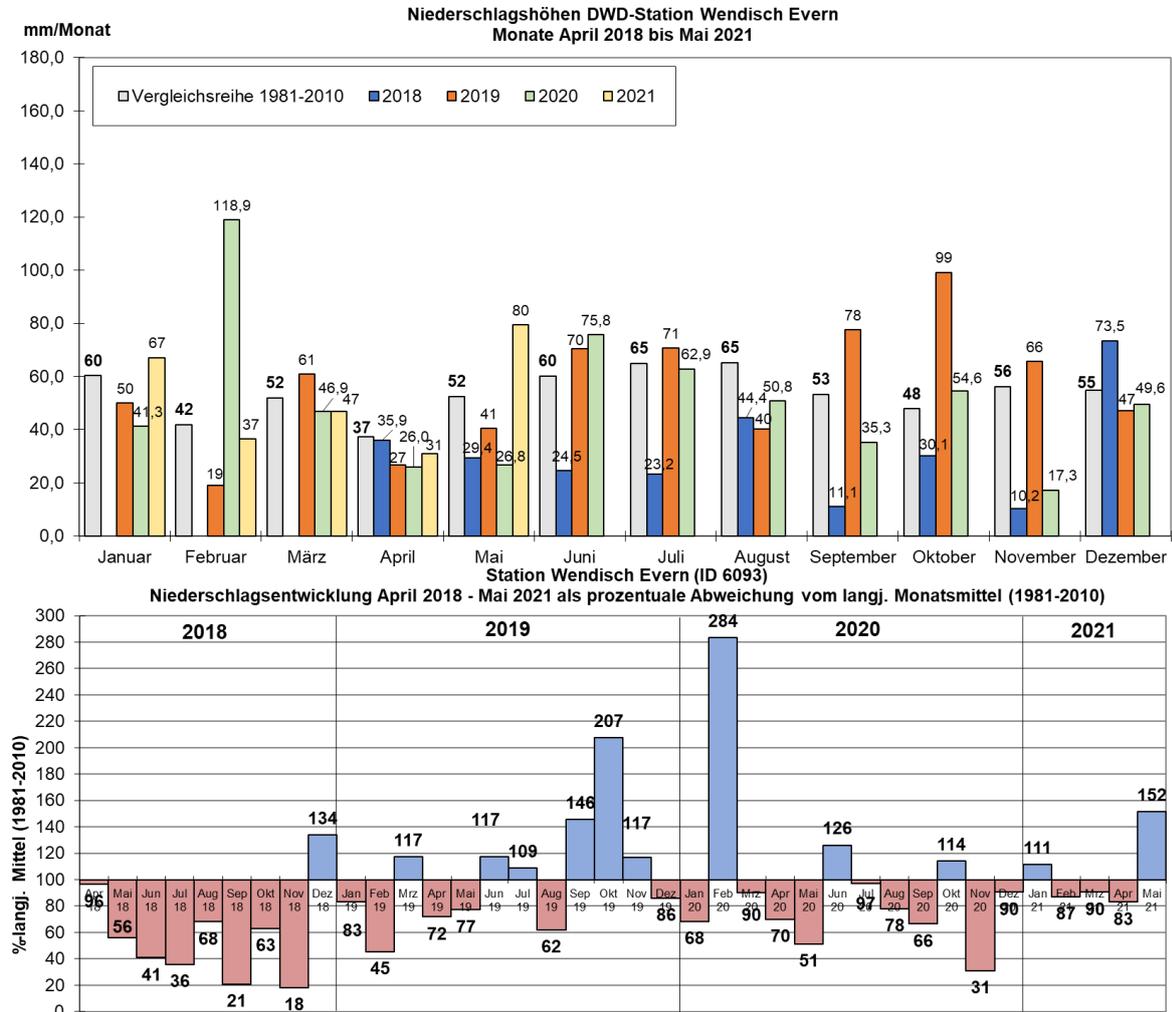


Abbildung 9: Monatsniederschläge DWD-Station Wendisch Evern (ID 6093) April 2018 – Mai 2021 und Vergleichsreihen (1981-2010²) in mm / Monat (oben), sowie prozentuale Abweichung vom langjährigen Mittel (1981-2010²) (Station Lüneburg und Wendisch Evern) (unten) [9][10]

² Von der Station Lüneburg liegen Daten vom 01.01.1981 bis 31.12.1997 vor und von der Station Wendisch Evern vom 01.02.1998 bis 31.12.2010 mit Ausnahme des Zeitraums 01.07.2001 bis 30.04.2004. Dieser Zeitraum konnten daher nicht berücksichtigt werden.

2.5 Grundwasserneubildung

Die mittlere Grundwasserneubildung (GWN) nach mGROWA18 im Untersuchungsgebiet beträgt im Gebietsmittel (Modellgebiet) rund 160 mm/a, im Landkreis Uelzen liegt sie mit rund 182 mm/a über dem Gebietsdurchschnitt. Die höchsten Neubildungsraten finden sich im Westen des Untersuchungsgebiets aufgrund der dort vorkommenden sandigen Böden in Kombination mit den höheren Jahresniederschlagsmengen. In Richtung Osten nimmt die Neubildungsrate stetig ab. In den Tälern und Niederungen findet nahezu keine Grundwasserneubildung statt, hierbei ist insbesondere die Elbniederung im nördlichen Landkreis Lüneburg zu nennen. (Abbildung 10)

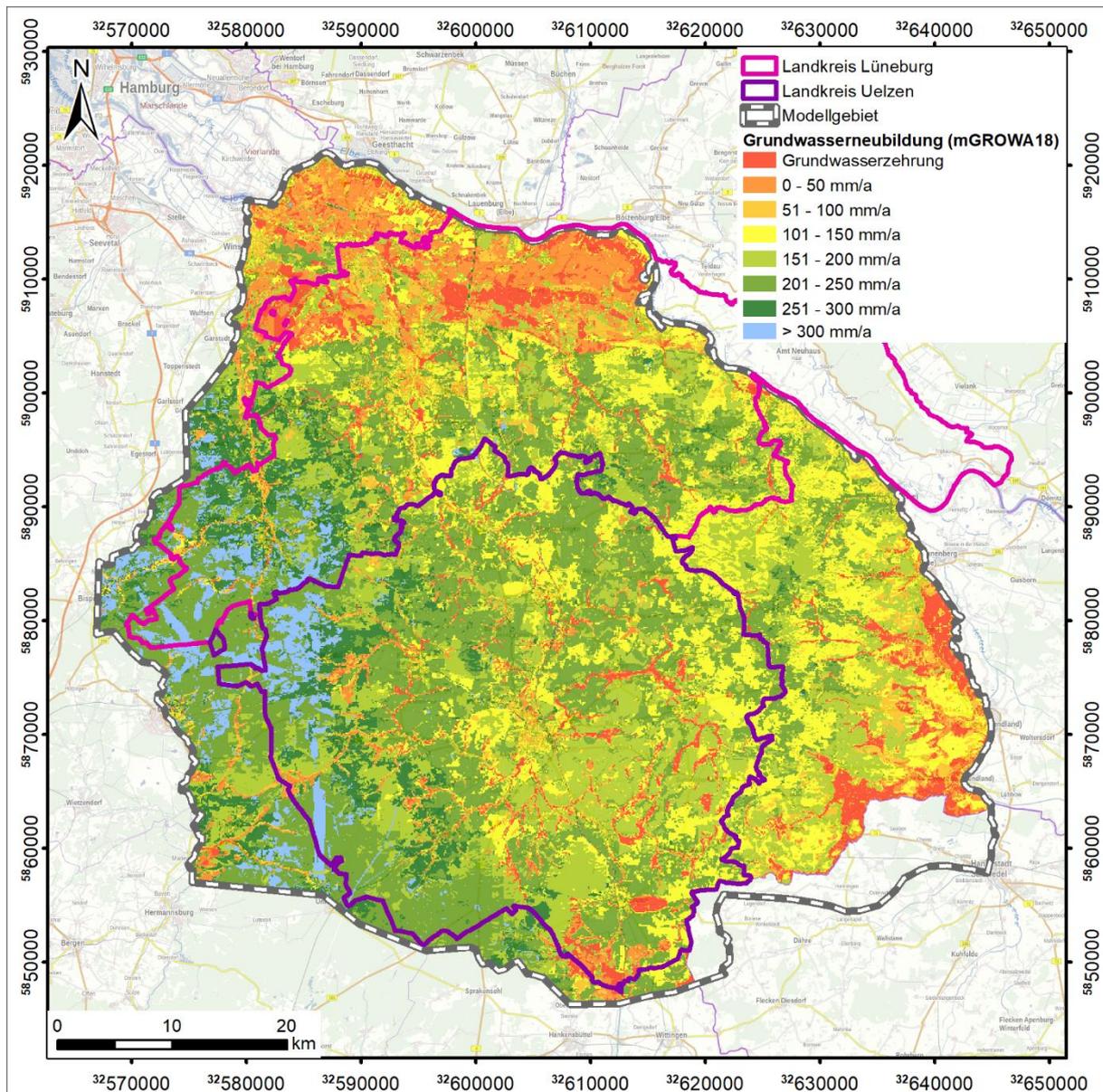


Abbildung 10: Grundwasserneubildung nach mGROWA18 [17] Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

2.6 Grundwasserentnahmen

Die Datengrundlage zur Beschreibung der Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg bildet der Datensatz der monatlich gemeldeten Grundwasserentnahmen, welcher durch die Dachverbände Feldberegnung Uelzen und Lüneburg zur Verfügung gestellt wurde. Dieser umfasst Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung und zur öffentlichen und gewerblichen Wasserversorgung.

Diese Datengrundlage ist von den Dachverbänden Feldberegnung im August 2021 in einer aktualisierten Form zur weiteren Bearbeitung übergeben worden. Im Vergleich zu dem in [1] verwendeten Daten ergeben sich die folgenden Änderungen:

- Zunahme der vom Dachverband Feldberegnung Uelzen verwalteten Entnahmen um insgesamt 18 Datensätze
- Zunahme der vom Dachverband Feldberegnung Lüneburg verwalteten Entnahmen um insgesamt 106 Datensätze

Insgesamt ergeben sich aus bestehenden und neuen Datensätzen somit 1.292 Grundwasserentnahmen, welche vom **Dachverband Feldberegnung Uelzen** verwaltet werden. Davon handelt es sich bei 1.209 Datensätzen um Entnahmen zur Feldberegnung. Die übrigen 83 Entnahmen sind Entnahmen Dritter (Fremdwasserentnahmen). Die Lage der Grundwasserentnahmen sowie ihre Nutzungsart zeigt Abbildung 11.

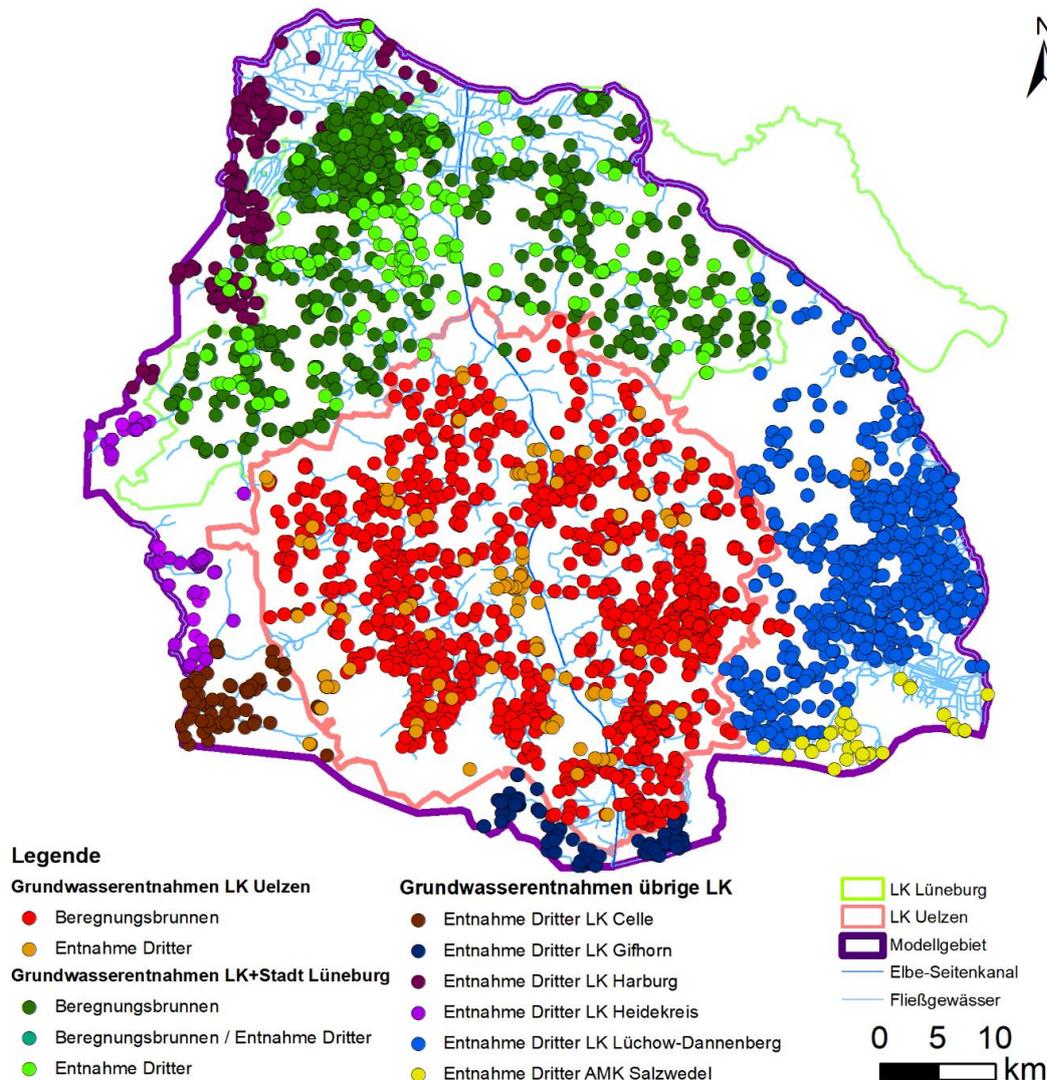


Abbildung 11: Lage der Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen sowie in den angrenzenden Landkreisen innerhalb des Untersuchungsgebietes

Weiterhin ergeben sich aus bestehenden und neuen Datensätzen in Summe 973 Grundwasserentnahmen, welche vom **Dachverband Feldberegnung Lüneburg** verwaltet werden. Davon handelt es sich bei 882 Datensätzen um Entnahmen zur Feldberegnung. Die übrigen 91 Entnahmen sind Entnahmen Dritter (Fremdwasserentnahmen), wobei eine als Kombination aus beiden Nutzungsarten beschrieben ist. Die Lage der Grundwasserentnahmen sowie ihre Nutzungsart zeigt Abbildung 11.

Soweit den Dachverbänden die entsprechenden Daten vorliegen, sind alle Grundwasserentnahmen bis zum Ende des Jahres 2020 fortgeschrieben worden.

Weiterhin sind auch solche Entnahmen abgefragt worden, welche sich in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg sowie im Gebiet der Hansestadt Lüneburg befinden, allerdings nicht von einem der beiden Dachverbände Feldberegnung verwaltet werden. Die entsprechenden Datensätze für den LK Uelzen sind über die Landesdatenbank des NLWKN abgefragt worden

[22]. Für den LK Lüneburg bzw. die Hansestadt Lüneburg sind die Informationen über die jeweilige untere Wasserbehörde bezogen worden.

Aus den übermittelten Daten sind insgesamt 153 Entnahmen (LK Uelzen: 33, LK Lüneburg: 82, Stadt Lüneburg: 38) berücksichtigt worden. Die Lage der Grundwasserentnahmen sowie ihre Nutzungsart zeigt Abbildung 11.

Die Grundwasserentnahmen in den **umliegenden Landkreisen Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Celle, Heidekreis und Harburg** sind gegenüber der Bearbeitung in [1] ebenfalls aktualisiert und präzisiert worden. Die Datengrundlage hierfür bildet ein Datensatz des NLWKN. Dabei handelt es sich um einen Auszug aus der Landesdatenbank. Der Datensatz umfasst die Wasserrechte der gemeldeten Grundwasserentnahmen sowie deren jährliche Entnahmemengen. Die jährlichen Entnahmemengen sind entsprechend der Nutzungsart der Entnahmen auf Monatsmengen umgerechnet worden. Handelt es sich bei der Nutzungsart um eine Entnahme zur Feldberegnung sind die Jahresmengen auf die Monate April bis September verteilt worden. Der verwendete prozentuale Verteilungsschlüssel ist April 10 %, Mai, Juli und August je 20 %, Juli 25 % und September 5 %. Für alle übrigen Entnahmen ist eine Gleichverteilung der Jahresmengen auf alle zwölf Monate angenommen worden. Die Lage der Grundwasserentnahmen sowie ihre Nutzungsart ist ebenfalls in Abbildung 11 dargestellt. Die Verteilung der insgesamt 901 Entnahmen auf die einzelnen Landkreise ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Eine Differenzierung der Grundwasserentnahmen und Zuordnung in die hydrostratigraphischen Einheiten zeigt, dass die Mehrheit der Entnahmefrühen der Landkreise Uelzen und Lüneburg im quartärzeitlichen Lockergesteinsgrundwasserleiter AQ3 liegt. Aus diesem Grund wird dieser nachfolgend als bewirtschafteter Haupt-Grundwasserleiter (GWL) bzw. Hauptförderhorizont bezeichnet.

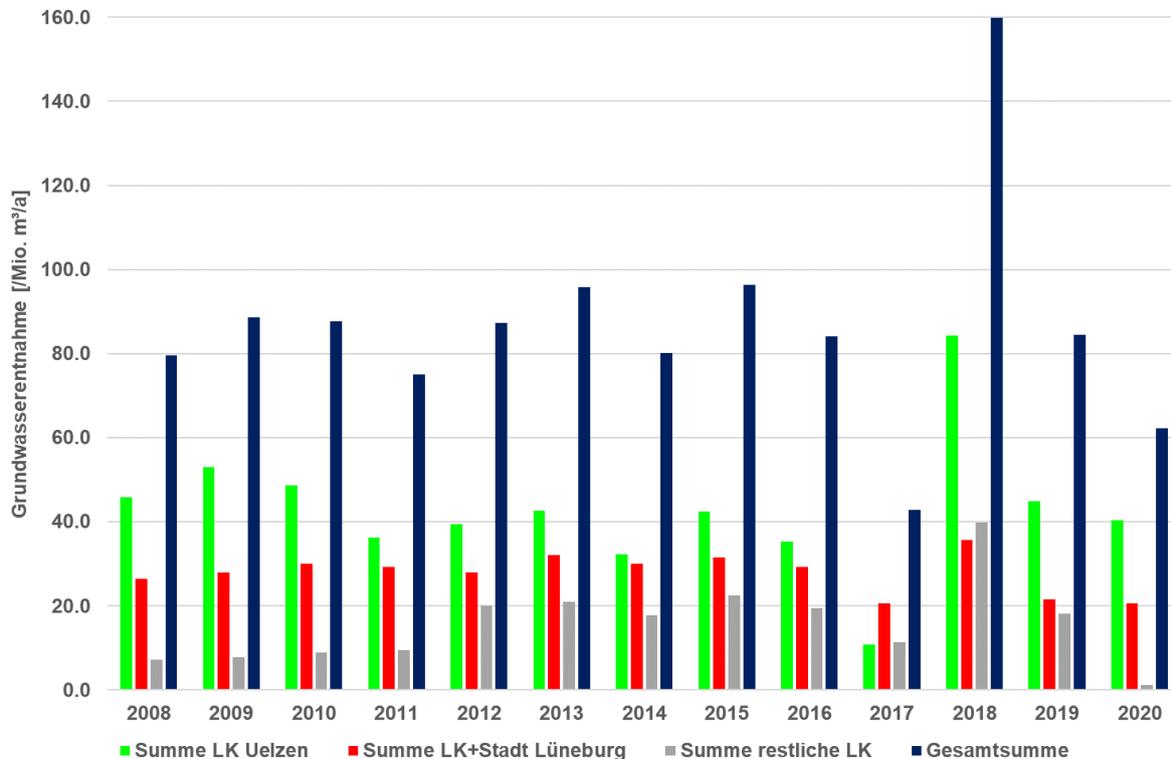


Abbildung 12: Jährliche Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg sowie in den angrenzenden Landkreisen für den Zeitraum 2008 bis 2020³

Das Maximum der **Gesamt-Grundwasserentnahmen** ergibt sich für das Jahr 2018 mit rd. 159,9 Mio. m³/a, während in 2017, mit ca. 42,8 Mio. m³/a, die vergleichbar kleinste Gesamtförderung zu erkennen ist. Für den Zeitraum 2008 bis 2012 ergibt sich ein Mittelwert von ca. 83,7 Mio. m³/a, für den Zeitraum 2012 bis 2016 liegt der Mittelwert bei rd. 88,7 Mio. m³/a. Für 2017 liegt der Wert bei ca. 50 % der vorherigen Jahre 2008 bis 2016. Die Ursache hierfür ergibt sich aus den starken Niederschlägen in den Sommermonaten, welche die Entnahme von Grundwasser zur Feldberegnung deutlich verringert haben. Aufgrund der großen Trockenheit im Sommer 2018 ergibt sich für dieses Jahr der vergleichsweise größte Wert der Gesamt-Grundwasserentnahmen. Es ergibt sich nahezu eine Verdoppelung des Mittelwertes der vorherigen Jahre 2008 bis 2017.

Der prozentuale Anteil der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung im **Landkreis Uelzen** an der Gesamtentnahme des Landkreises liegt im Mittel für den Gesamtzeitraum bei ca. 78 %. Bezogen auf die mittlere Gesamtentnahme im Untersuchungsgebiet liegt der Wert bei rd. 39 %.

Der prozentuale Anteil der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung im **Landkreis Lüneburg inkl. Stadtgebiet** an der Gesamtentnahme des Landkreises und Stadtgebiets liegt im

³ Die Summe des LK Uelzen ergibt sich aus den o.g. Datensätzen des DFU und der NLWKN Landesdatenbank für den LK Uelzen; die Summe für LK+Stadt Lüneburg ergibt sich aus den o.g. Datensätzen

Mittel für den Gesamtzeitraum bei ca. 41 %. Bezogen auf die mittlere Gesamtentnahme im Untersuchungsgebiet liegt der Wert bei rd. 13 %.

Insgesamt liegt der prozentuale Anteil der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung an der mittleren Gesamtentnahme im Untersuchungsgebiet bei ca. 52 %.

Nachfolgend sind die Grundwasserentnahmen in den umliegenden Landkreisen für die Jahre 2018 bis 2020 aufsummiert (vgl. Tabelle 1). Insgesamt befinden sich in den sechs LK insgesamt 901 Grundwasserentnahmen. Die geförderte Jahresmenge liegt in 2018 bei ca. 39,7 Mio. m³/a. Sie sinkt im Verlauf der beiden folgenden Jahre deutlich ab.

Tabelle 1: Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Celle, Heidekreis, Harburg und Altmarkkreis Salzwedel

Landkreis	Anzahl Grundwasserentnahmen	Entnahme 2018	Entnahme 2019	Entnahme 2020
Lüchow-Dannenberg	570	26,0	10,5	0,1
Gifhorn	78	3,5	0,2	0,1
Celle	70	1,4	0,6	0,0
Heidekreis	53	1,2	0,2	0,0
Harburg	97	7,2	6,5	0,9
Altmarkkreis Salzwedel	33	0,4	0,0	0,0
Gesamtsumme	901	39,7	18,0	1,1

2.7 Grundwassermessstellen

Für die in [1] beschriebenen 249 Grundwassermessstellen, welche für die Kalibrierung des numerischen Grundwassermodells verwendet wurden, sind die Messwerte beim NLWKN für die Fortschreibung der Ganglinien bis Ende März 2021 abgefragt worden. Aus den abgefragten Daten wurden Monatsmittelwerte berechnet und die bestehenden Ganglinien fortgeschrieben.

Mit der Abfrage der Daten wurden vom NLKWN die Stammdaten und Messwerte für die beiden Grundwassermessstellen (GWMS) Groß Thondorf W F1.1 und F1.2 bezogen. Hierbei handelt es sich um zwei Ersatzmessstellen für die bestehenden GWMS Groß Thondorf W F1 und F2. Die kontinuierliche Messung der beiden Ersatzmessstellen erfolgte ab Mai 2017. Da die beiden ursprünglichen Messstellen bis einschließlich Oktober 2018 gemessen wurden, werden die Datensätze beider Messstellenpaare verwendet.

Für die drei ausgewiesenen Pilotgebiete sind für die kontinuierliche Datenaufzeichnung drei Doppelmessstellen errichtet worden (vgl. Kap. 6 in [1]). Die aus dem Messbetrieb gewonnen

Daten der Grundwasserstände sind ebenfalls zur Kalibrierung des numerischen Grundwassermodells verwendet worden.

Zur weiteren Verdichtung des Messstellennetzes sind bei mehreren lokalen Wasserversorgern die Daten zu Lage und gemessenen Grundwasserständen der Messstellen aus den jeweiligen Messnetzen der Wassergewinnungen abgefragt worden. Folgende Wasserversorger wurden abgefragt:

- WBV Harburg (WW Adendorf, WW Breetze, WW Lüdershausen)
- Stadtwerke Uelzen (WW Kuhteichweg, MWW Krings)
- WVU Uelzen (CU-Netz) (WW Ebstorf, WW Bevensen, WW Niendorf, WW Stadensen)
- Purena GmbH (WW Amelinghausen, WW Lüneburg Süd, WW Lüneburg)
- SG Salzhausen (WW Salzhausen)

Aus den o.g. Datensätzen der Grundwassermessstellen sind insgesamt 90 GWMS in allen sechs Grundwasserleitern für die Verdichtung des Messstellennetzes im Grundwassermodell ausgewählt worden. Die Lage und Grundwasserleiterzuordnung der insgesamt 347 GWMS dokumentiert Abbildung 13.

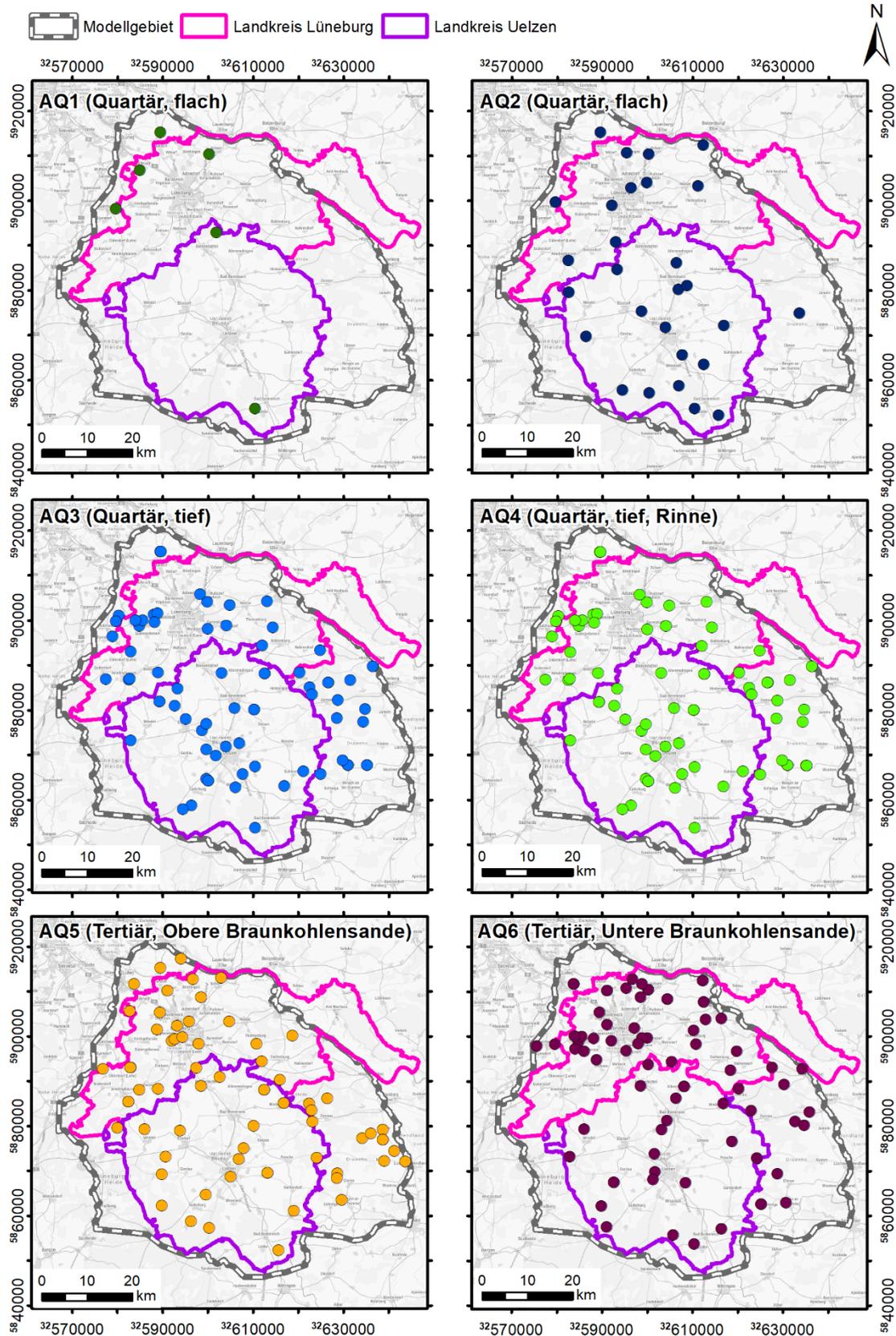


Abbildung 13: Lage und GWL-Zuordnung der Grundwassermessstellen im Modellgebiet

Von der Gesamtzahl der GWMS sind etwa 48 % in den Grundwasserleitern AQ 3 und AQ 4 verfiltert (vgl. Tabelle 2). In den beiden LK Uelzen und Lüneburg sowie dem Stadtgebiet von Lüneburg befinden sich rd. 76 % der betrachteten GWMS.

Tabelle 2: Verteilung der Filterstrecke der GWMS auf die Grundwasserleiter des hydrogeologischen Strukturmodells

Grundwasserleiter	LK Uelzen	LK + Stadt Lüneburg	Übrige LK	Anzahl GWMS
AQ 1	2	2	2	6
AQ 2	16	9	3	28
AQ 3	43	33	22	98
AQ 4	29	20	22	71
AQ 5	23	26	19	68
AQ 6	23	36	17	76
Σ	136	126	85	347

Die Datensätze der aufgeführten Datenquellen umfassen Aufzeichnungen der Abstichdaten für unterschiedliche Zeiträume. Je nach Datenlage enden die Messwerte zwischen März und Dezember 2020. Die Aufzeichnungsintervalle sind unterschiedlich, z.T. handelt es sich um Tageswerte, an einigen Messstellen wird der Grundwasserstand monatlich bzw. vierteljährlich aufgezeichnet. Die Analyse der Daten zeigt, dass die Datenreihen einiger GWMS Datenlücken aufweisen bzw. nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum gemessen wurden. Aus den gemessenen Abstichdaten wurde mit Hilfe der Messpunkthöhe der Grundwasserstand berechnet.

2.8 Grundwasserhöhen- und -fließrichtungen

Im März 2018 wurde eine Grundwasser-Stichtagsmessung an 423 Standorten (Beregnungsbrunnen, Grundwassermessstellen) durchgeführt. Aus den Messwerten wurde anschließend ein Grundwassergleichenplan für den Hauptförderhorizont (AQ3) konstruiert. Der Füllstand des Grundwasserspeichers zum Stichtag kann auf einem mittleren Niveau angenommen werden, dies belegen langjährige Messreihen der Standrohrspiegelhöhen an verschiedenen Grundwassermessstellen des NLWKN im Untersuchungsgebiet.

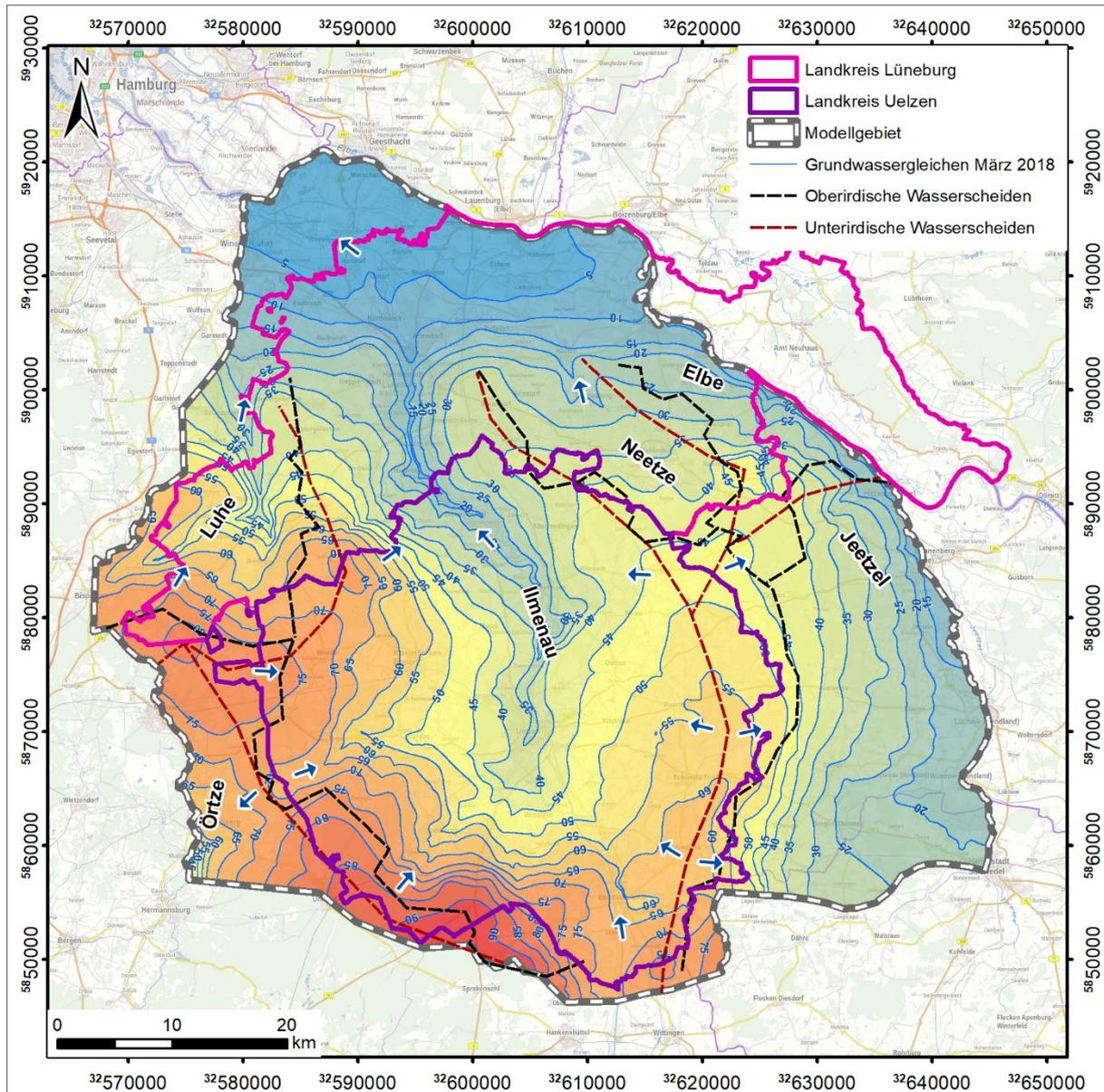


Abbildung 14: Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung März 2018)

Die überregionale Grundwasserfließrichtung zeigt nach Norden in Richtung Elbe (Abbildung 14). Im Landkreis Uelzen ist die Grundwasserströmung in Richtung der Ilmenau ausgerichtet, welche dort die Hauptvorflut darstellt. Es existieren Grundwasserscheiden zu den benachbarten Vorflutern Luhe (Westen) und Jeetzel (Osten).

Auffällig ist, dass die Grundwasserscheiden sich teilweise von den Grenzen der Grundwasserkörper unterscheiden. Besonders deutlich ist dies im östlichen Landkreis Uelzen ausgeprägt, bei der die unterirdische Wasserscheide bis zu 6 km weiter westlich als die oberirdische Wasserscheide liegt. Da die Grundwasserkörper auf Grundlage des Geländemodells abgegrenzt wurden, spiegeln sie nur die oberirdischen Wasserscheiden wider, was im Regelfall den

unterirdischen Wasserscheiden näherungsweise entspricht. Das bedeutet für das Modellgebiet, dass bei der Betrachtung der Flusseinzugsgebiete in Bezug auf Grundwasserfragestellungen stets das unterirdische Einzugsgebiet zu ermitteln und zu verwenden ist.

Aus dem Grundwassergleichenplan wurde in Verbindung mit dem digitalen Geländemodell (DGM50) ein Differenzenplan abgeleitet, der in erster Näherung einem Grundwasserflurabstandsplan⁴ gleicht (Abbildung 15). Hierbei ist zu beachten, dass die Grundwasserdruckhöhe im (häufig gespannten) Hauptförderhorizont (AQ3) von denen des oberflächennahen Grundwasserleiters (AQ2) differieren kann. Gespannte Verhältnisse sind i.d.R. dort anzutreffen, wo der Hauptförderhorizont und der oberflächennahe Grundwasserleiter durch einen Grundwasserhemmer (AT2, vgl. Abbildung 4) hydraulisch voneinander entkoppelt sind und es zu keinen nennenswerten Druckentlastungen z.B. durch Grundwasserentnahmen kommt. Diese Vorgehensweise führt zur Ausweisung von etwas geringeren Flurabständen.

Die Grundwasserflurabstände variieren von wenigen Dezimetern in den Flusstälern, bis hin zu >30 m in den Hochlagen. Im Landkreis Uelzen sowie den Geest-Bereichen des Landkreises Lüneburg beträgt der Flurabstand überwiegend >5 m. Kommen in diesen Bereichen dennoch oberflächennahe wasserführende Schichten vor, so handelt es sich um Stauwasserhorizonte, bzw. um lokal verbreitete sogenannte schwebende Grundwasserleiter.

Geringe Flurabstände kommen entlang der Flusstäler sowie großflächig im Bereich der Elbniederung vor.

⁴ Grundwasserflurabstandsplan (DIN 4049): Lotrechter Abstand zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Grundwasseroberfläche des ersten Grundwasserstockwerks.

Hier: Lotrechter Abstand zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Grundwasserdruckfläche (Standrohrspiegelhöhe) des AQ3 (Hauptgrundwasserleiter).

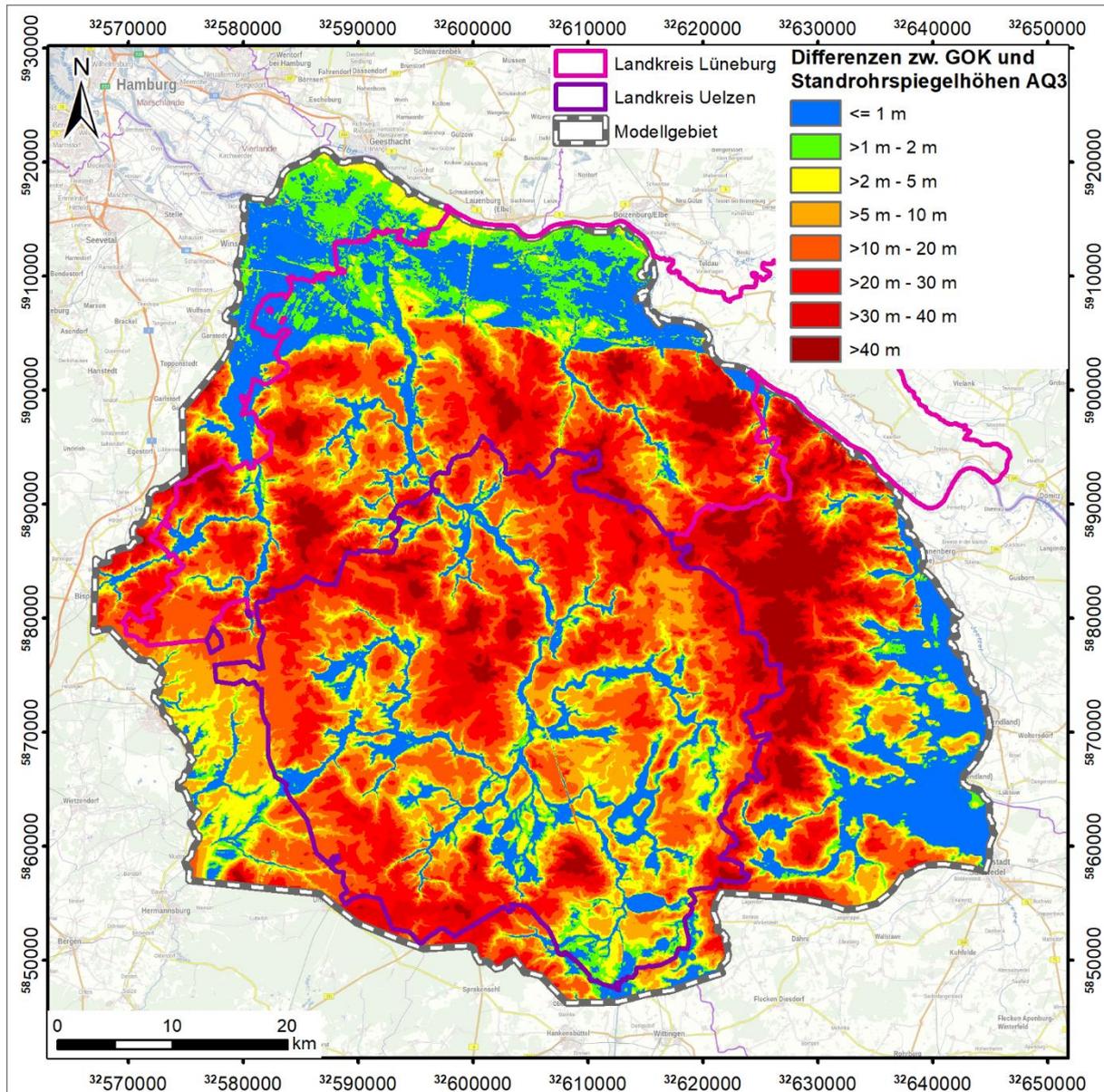


Abbildung 15: Differenzenplan zwischen Geländeoberfläche und Standrohrspiegelhöhe AQ3 (Stichtagsmessung März 2018)

2.9 Fließgewässer und Abflussmessstellen

Die Lage der Abflussmessstellen sowie weiterer Abflussmesspunkte sind mit ihren oberirdischen Einzugsgebieten in Abbildung 16 dargestellt. Insgesamt liegen zehn der 23 Messpunkte im LK Uelzen und sieben im LK Lüneburg. Die Fließgewässer im Modellgebiet sind für die Festlegung der Randbedingungen des Modells (vgl. Kap. 7) genutzt worden. Für eine ausführliche Beschreibung der Fließgewässertypen, der Gesamtbewertung der Veränderung des natürlichen Zustands an den Fließgewässern und des ökologischen Zustands bzw. Potentials nach EU-WRRL wird auf den Abschlussbericht [1] verwiesen.

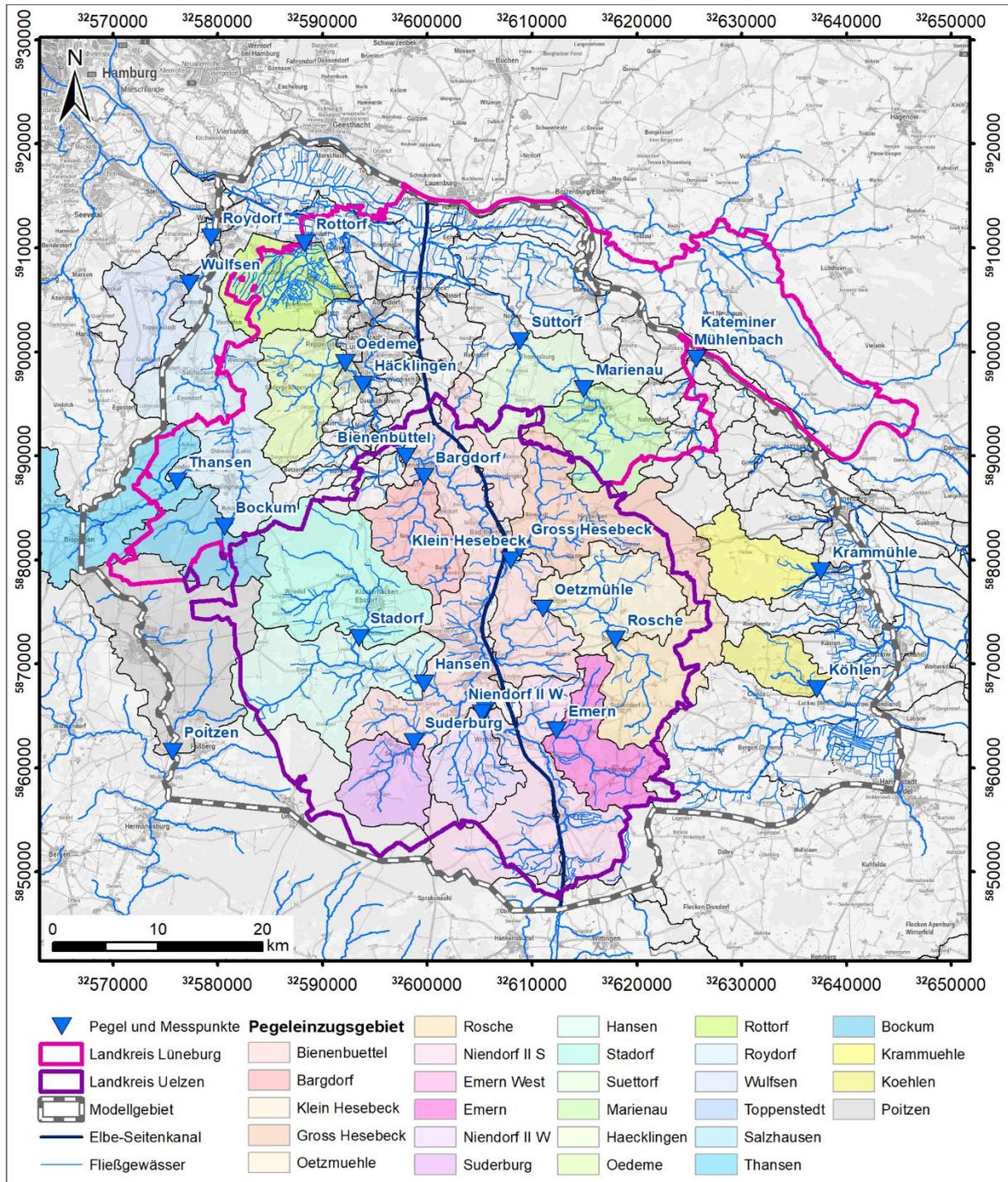


Abbildung 16: Lage und oberirdische Einzugsgebiete der betrachteten Abflussmessstellen und Messpunkte im Modellgebiet

Die Messwerte der Abflussmengen der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet wurden an den Abflussmessstellen der Pilotgebiete erhoben sowie in den übrigen Fällen vom NLWKN bezogen.

Der Datensatz des NLWKN umfasst die Messwerte von Abflussmengen und Wasserständen an den Abflussmessstellen Thansen, Roydorf, Hansen, Wulfsen, Suderburg, Niendorf II W, Niendorf II S, Oetzmühle, Bienenbüttel, Sütthorff, Poitzen und Köhlen für meist mehrere Jahrzehnte.

In wenigen Fällen liegen nur historische Daten aus den 1980er und 1990er Jahre vor (Häcklingen, Bargdorf, Krammühle). In anderen Fällen sind in den 1990er-Jahren stillgelegte Abflussmessstellen wieder in Betrieb genommen worden (Marienau seit 2020, Klein Hesebeck seit 2013), sodass für diese Standorte die Messzeitreihe eine langjährige Unterbrechung besitzt.

Darüber hinaus konnte der NLWKN eine Vielzahl an Abfluss-Stichtagsmessungen an den Gewässerpunkten Stadorf (Schwienau), Emern (Esterau), Bockum (Lopau) sowie Rottorf (Roddau) liefern. Tabelle 3 sind die verwendeten Abflussmessstellen mit der Größe ihrer oberirdischen Einzugsgebiete, den verfügbaren und ausgewerteten Zeiträumen sowie den ermittelten Basisabflüssen zusammenfassend dargestellt. Für die Pegel Thansen, Poitzen und Roydorf ist zu beachten, dass nicht alle Gewässer im oberirdischen Einzugsgebiet der Pegel im Modellgebiet liegen. Dies ist für den späteren Bilanzvergleich an diesen Pegeln zu beachten. Für den Pegel Thansen liegen ca. 56 % des oberirdischen Einzugsgebiets im Modell, für die Pegel Roydorf und Poitzen betragen die Werte rd. 51 % bzw. ca. 89 %.

Nicht für alle Pegel liegen durchgängige Zeitreihen vor, welche für das Berechnungsverfahren nach WUNDT und WITTENBERG erforderlich sind, sodass über Regression zu jeweils anderen Pegeln, die Datenlücken geschlossen wurden. In Tabelle 3 sind die Zeitreihen mit einer Fußnote markiert, an denen die Datenlücken per Regression geschlossen wurden mit Angabe des Zeitraums und der genutzten Referenzzeitreihen.

Die per Regression hergeleiteten Abflussmengen sind gegenüber den tatsächlich gemessenen Werten mit größeren Unsicherheiten behaftet und für Detailfragestellungen ungeeignet. Die Auswertung erfolgte mit dem Ziel einer abschätzenden Ermittlung der Basisabflüsse für den Referenzzeitraum der Grundwasserneubildung (1981 – 2010) sowie für den Kalibrierzeitraum des numerischen Grundwasserströmungsmodells (ab 2008). Der Verwendung der unsicheren Daten stünde die komplette Unkenntnis der Basisabflüsse vieler kleinerer Einzugsgebiete im Modellgebiet gegenüber, weshalb sich für eine Mitnutzung entschieden wurde.

Tabelle 3: Übersicht der Datensätze gemessener Abflussmengen und Wasserstände an den Abflussmessstellen im Untersuchungsgebiet

Abflussmessstelle (Fließgewässer)	Größe EZG [km ²]	Verfügbare Zeitreihe	Mittlerer Abfluss (MQ) Ø 1981 - 2010 [Mio. m ³ /a]	Basisabfluss n. WUNDT Ø 1981 - 2010 [Mio. m ³ /a]	Basisabfluss n. WITTENBERG Ø 2010 – 2020 [Mio. m ³ /a]
Roydorf (Luhe)	460,5	1961 – 2020		127,4	113,2
Wulfsen (Aubach)	66,2	1971 - 2020		11,7	9,8
Thansen (Luhe)	131,4	1976 - 2020		47,0	41,3
Bockum (Lopau)	71,1	Stichtagsdaten 2003 – 2020 ⁵	-	-	9,2
Bienenbüttel (Ilmenau)	1418,5	1955 - 2020		235,6	218,9
Stadorf (Schwienau)	163,8	Stichtagsdaten 2007 – 2020 ⁶		13,6	12,3
Hansen (Gerdau)	308,4	1973 - 2020		57,4	53,9
Sudenburg (Hardau)	62,5	1961 - 2020		17,7	16,1
Niendorf II W (Wrestedter Bach)	61,1	1973 - 2020		14,2	12,6
Niendorf II S (Sterdau)	272,2	1973 - 2020		36,6	32,2
Emern (Esterau)	69,8	2018 – 2021 ⁷		6,0	4,7
Oetzmühle (Wipperau)	201,3	1973 - 2020		10,1	8,5
Rosche (Wipperau)	103,9	2018 – 2021 ⁸		4,4	3,8

⁵Bockum: Zeitraum 1980 - 2020 aus Regression mit "Thansen" hergeleitet

⁶Stadorf: Zeitraum 1980 - 2020 aus Regression mit "Hansen" hergeleitet

⁷Emern: Zeitraum 1980 - 2018 aus Regression mit "Niendorf-II S" hergeleitet

⁸Rosche Zeitraum 1980 - 2018 aus Regression mit "Oetzmühle" hergeleitet

Abflussmessstelle (Fließgewässer)	Größe EZG [km ²]	Verfügbare Zeitreihe	Mittlerer Abfluss (MQ) Ø 1981 - 2010 [Mio. m ³ /a]	Basisabfluss n. WUNDT Ø 1981 - 2010 [Mio. m ³ /a]	Basisabfluss n. WITTENBERG Ø 2010 – 2020 [Mio. m ³ /a]
Klein Hesebeck (Röbbelbach)	148	1973 – 1994 2013 – 2020 ⁹		9,1	8,2
Groß Hesebeck (Röbbelbach)	145	2018 – 2021	-	-	*siehe Klein He- sebeck
Bargdorf (Bienenbüttler Mühlenbach)	68	1979 – 1983 ¹⁰		9,8	9,2
Häcklingen (Hasenburger Mühlenbach)	88,3	1980 - 1994 ¹¹		12,0	11,0
Oedeme (Hasenburger Mühlenbach)	78,5	2020 - 2021	-	-	7,3 ¹²
Rottorf (Rodtau)	85,7	Stichtagsdaten 2007 - 2020 ¹³	-	-	16,7
Marienu (Neetze)	85,4	1984 – 1994 2020 – 2020 ¹⁴		6,6	5,4
Süttorf (Neetze)	186,0	1970 - 2020		25,9	21,8
Köhlen (Köhlener Mühlenbach)	40,7	1984 - 2020		4,4	3,8
Krammühle (Breselenzer Bach)	61,7	1984 - 1999			
Poitzen (Örtze)	198,0	2000 - 2020	-	-	31,2

Aus den Abflusszeitreihen wurde der Basisabfluss mit den Verfahren von WUNDT (30-jährige Mittlere monatliche Niedrigwasserabflüsse (MoMNQ)) sowie WITTENBERG (Tageswerte, aggregiert auf Monatsmittel) für die Zeiträume 1981 – 2010 sowie 2010 – 2020 ermittelt. Während das Verfahren nach WUNDT robuste und reproduzierbare Ergebnisse liefert, handelt es sich lediglich um 30-jährige Monatsmittelwerte.

Das Verfahren nach WITTENBERG basiert hingegen auf einem nichtlinearen Speichermodell und kann den Basisabfluss in hoher zeitlicher Auflösung liefern. Darüber erlaubt die Methode

⁹Klein Hesebeck: Zeitraum 1995 - 2013 aus Regression mit "Bienenbüttel" hergeleitet

¹⁰Bargdorf: Zeitraum 1983 - 2020 aus Regression mit "Bienenbüttel" hergeleitet

¹¹Häcklingen: Zeitraum 1995 - 2020 aus Regression mit "Bienenbüttel" hergeleitet

¹²Oedeme: Berechnung nur für den Zeitraum Okt. 2020 - Mai 2021

¹³Rottorf: Zeitraum 1980 - 2020 aus Regression mit "Rottorf" und "Bienenbüttel" hergeleitet

¹⁴Marienu: Zeitraum 1995 - 2020 aus Regression mit "Süttorf" hergeleitet

eine Abschätzung der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der untersuchten Abflussmessstelle. Das Verfahren erfordert eine Kalibrierung der messstellenspezifischen Speicherparameter (a , b). Als Kalibrierziel wurde eine größtmögliche Übereinstimmung der 30-jährigen Monatsmittel des Basisabflusses mit dem MoMnQ nach WUNDT gewählt, damit die beiden Methoden möglichst redundant zueinander verwendet werden können.

Die Basisabflüsse nach WUNDT dienen der Validierung der Abflussmengen, welche im Rahmen der stationären Modellkalibrierung berechnet werden (vgl. Kap. 7.2.1). Um einen Vergleich der Messwerte mit den Ergebnissen der instationären Modellrechnung durchführen zu können, sind, nach dem in Kap. 4.3 beschriebenen Verfahren nach WITTENBERG, die grundwasserbürtigen Basisabflüsse der in Tabelle 3 aufgeführten Abflussmessstellen für den Zeitraum von 2010 bis 2020 berechnet worden (vgl. Kap. 7.2.2). Zusätzlich ist die Lage der oberirdischen Einzugsgebiete mit den betrachteten Abflussmessstellen und Messpunkten sowie der Basisabfluss nach WITTENBERG (2010 – 2020) im Modellgebiet in Anlage 2 dargestellt.

3 Methodik

3.1 Konzept Monitoringsystem

Das Monitoringsystem soll zwei unterschiedliche Aufgaben erfüllen: Einerseits die Überwachung der Auswirkungen der Grundwasserentnahmen auf die einzelnen Schutzgüter sowie auf die Bewirtschaftungsziele gemäß EU-WRRL und andererseits eine zeitnahe Bereitstellung einer Datengrundlage für die Ermittlung des in der folgenden Berechnungsperiode zur Verfügung stehenden Grundwasserdargebots und der ggf. damit einhergehenden mengenmäßigen und räumlichen Anpassung der Berechnungsmöglichkeiten der Folgejahre. Im Rahmen der Überprüfung des Monitoringkonzeptes erfolgt zunächst eine Fokussierung auf die Pilotgebiete und anschließend die Prüfung einer Übertragbarkeit auf andere Betrachtungsräume.

Ein das gesamte Untersuchungsgebiet umfassendes numerisches Grundwassermodell stellt dabei das wesentliche Prognose- und Steuerungsinstrument dar. Für die Fokussierung auf die Pilotgebiete erfolgt eine Detailbetrachtung. Da die Berechnung in Abhängigkeit von Feldfrucht, Bodenparametern und meteorologischen Bedingungen nur in kurzen Zeitintervallen (wenige Tage bis Wochen) erfolgt, ist für die angestrebte Entwicklung eines Monitoringsystems eine Modellierung im instationären Modus unabdingbar. Insbesondere für die zeitnahe Analyse und Auswirkungsprognose der Entnahmen auf Schutzgüter spielen das Speicherverhalten und die Reaktionszeiten sowie der Sättigungsgrad im Aquifersystem eine wesentliche Rolle. Hierdurch lassen sich u. a. ökologisch verträgliche Spitzenentnahmemengen sowie mittlere maximale Entnahmen über einen längeren Zeitraum (z. B. Dekade) prognostizieren.

Ein weiterer entscheidender Aspekt dieser Modellierung ist die Analyse der Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser. Hierauf aufbauend ist die Prognose der Auswirkungen veränderter Grundwasserentnahmen auf die grundwasserbürtigen Abflüsse, insbesondere die Niedrigwasser-Basisabflüsse, in den Gewässern möglich. Kalibriert werden die modellberechneten Abflüsse auf Grundlage der Daten vom NLWKN erhobenen Abflussdaten sowie an den zusätzlichen Abflussmessungen des Monitoringsystems.

In Interaktion mit dem bestehenden, laufend fortgeschriebenen numerischen Grundwassermodell können hierdurch im Bereich der Pilotgebiete mit relativ wenigen Messstellen (Kombination aus je einer Messstelle im Oberflächengewässer, im oberflächennahen Grundwasserleiter und im Hauptförderhorizont) die förderbedingten Auswirkungen auf die relevanten Schutzgüter ermittelt und überwacht werden. Die zeitnahe Aus- und Bewertung des Systemzustands ermöglicht anschließend eine ressourcen- und bedarfsgerechte Steuerung der Beregnungsentnahmen.

Der fachliche Ansatz zum Aufbau eines Monitoringsystems zum flächendeckenden Grundwassermanagement geht davon aus, dass, neben dem Grundwasserdargebot, auch die negativen Auswirkungen auf Schutzgüter und insbesondere auf die grundwasserabhängigen Landökosysteme die begrenzenden Faktoren der Wasserentnahmen für die Feldberegnung sind. Dieses bezieht sich sowohl auf lokale Entnahmen (Einzelbrunnen) als auch auf die summarische (Fern-)Wirkung aller Entnahmen im betrachteten System. Gleiches gilt für die Beeinflussung

der aus ökologischen Gründen notwendigen Mindestabflüsse in den mit dem Grundwasser interagierenden Fließgewässern. Aus hydrogeologischen Gründen sind oftmals nur bestimmte Flächenanteile des Gesamtgebietes von potentiell negativen Auswirkungen der Grundwasserförderung betroffen. Flächen mit hohen Grundwasserflurabständen oder artesisch gespannten Verhältnissen können außer Betracht gelassen werden. Daher gilt es, diese betroffenen und damit für die Auswirkungen der Grundwasserentnahmen sensiblen Gebiete zu identifizieren und gezielt zu überwachen. Somit werden diese identifizierten Gebiete mit „repräsentativen Leitmessstellen“ im Grundwasser und in den Fließgewässern an ausgesuchten Positionen mit einer maximalen Sensitivität und Betroffenheit ausgerüstet (vgl. [2]), aus deren Messergebnissen nach entsprechender Auswertung auf die förderbedingten Auswirkungen im Gesamtgebiet geschlossen werden kann. Ziel ist es, hierdurch die Anzahl der zur Überwachung und Steuerung notwendigen Grundwassermessstellen und Abflusspegel auf ein praxistaugliches Maß zu begrenzen, das zugleich flexibel genug ist, zeitnah die notwendigen Informationen zu liefern.

Hierzu erfolgt zunächst eine aus hydrogeologischer Sicht „abgeschichtete“ Gebietsauswahl (Tabelle 4). Das wichtigste Kriterium für eine potentielle Betroffenheit förderbedingter Auswirkungen ist die Grundwasseranbindung, daher beschränkt sich die Suche auf die Bereiche mit niedrigen Grundwasserflurabständen (<5 m). Darüber hinaus sind besonders die ökologisch sensiblen Gebiete zu betrachten. Dies betrifft neben grundwasserabhängigen Landökosystemen (gwaLÖS), Naturschutz- und Fauna-Flora-Habitat- (FFH-) sowie weiteren naturschutzfachlich relevanten Gebieten vor allem Gewässerabschnitte, in denen bereits geringe Wassermengen zu einer hohen relativen Abflussreduktion führen können (Gewässeroberläufe). Die höchste Priorität erhalten Gebiete, in denen gleichzeitig besonders hohe Grundwasserentnahmen für die Feldberegung stattfinden.

Ein weiterer Aspekt ist die Repräsentativität der ermittelten Bereiche für das gesamte Untersuchungsgebiet, so dass ggf. eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf das Gesamtgebiet möglich ist. Um die Eignung des Verfahrens nachzuweisen und zu prüfen, wurden im Rahmen des Projekts bereits drei „Pilotgebiete“ nach den folgenden Kriterien (Tabelle 4) ermittelt, mit Messstellen ausgerüstet und überwacht. Mit der Fortführung und Verlängerung des Projekts wurde ein weiteres Pilotgebiet ausgewiesen und mit Messtechnik ausgerüstet.

Tabelle 4: Entscheidungsmatrix zur Ermittlung prioritärer Untersuchungsgebiete

Priorität	Grundwasseranschluss	Ökologische Sensibilität	Dichte an Entnahmebrunnen
1	ja	ja	hoch
2	ja	ja	gering
3	ja	nein	hoch
4	ja	nein	gering
keine	nein	irrelevant	irrelevant

3.2 Bestehende Pilotgebiete

Die Auswahl der ersten drei Pilotgebiete erfolgte bereits im Frühjahr 2018 mit dem Ziel, den Beginn der Beregnungsperiode 2018 (etwa Anfang April erwartet) messtechnisch zu erfassen [1]. Als Kriterien zur Auswahl der Pilotgebiete sind die grundwasserabhängigen Landökosysteme, möglichst geringe Grundwasserflurabstände und eine hohe Wasserentnahme durch die Feldberegnung zu Grunde gelegt worden. Die Pilotgebiete Groß Hesebeck, Rosche und Emern befinden sich alle im Grundwasserkörper „Ilmenau Lockergestein rechts“, da zum Zeitpunkt der Auswahl nur über das „Aquarius-Projektgebiet“ [2] Daten für diesen Grundwasserkörper vorlagen.

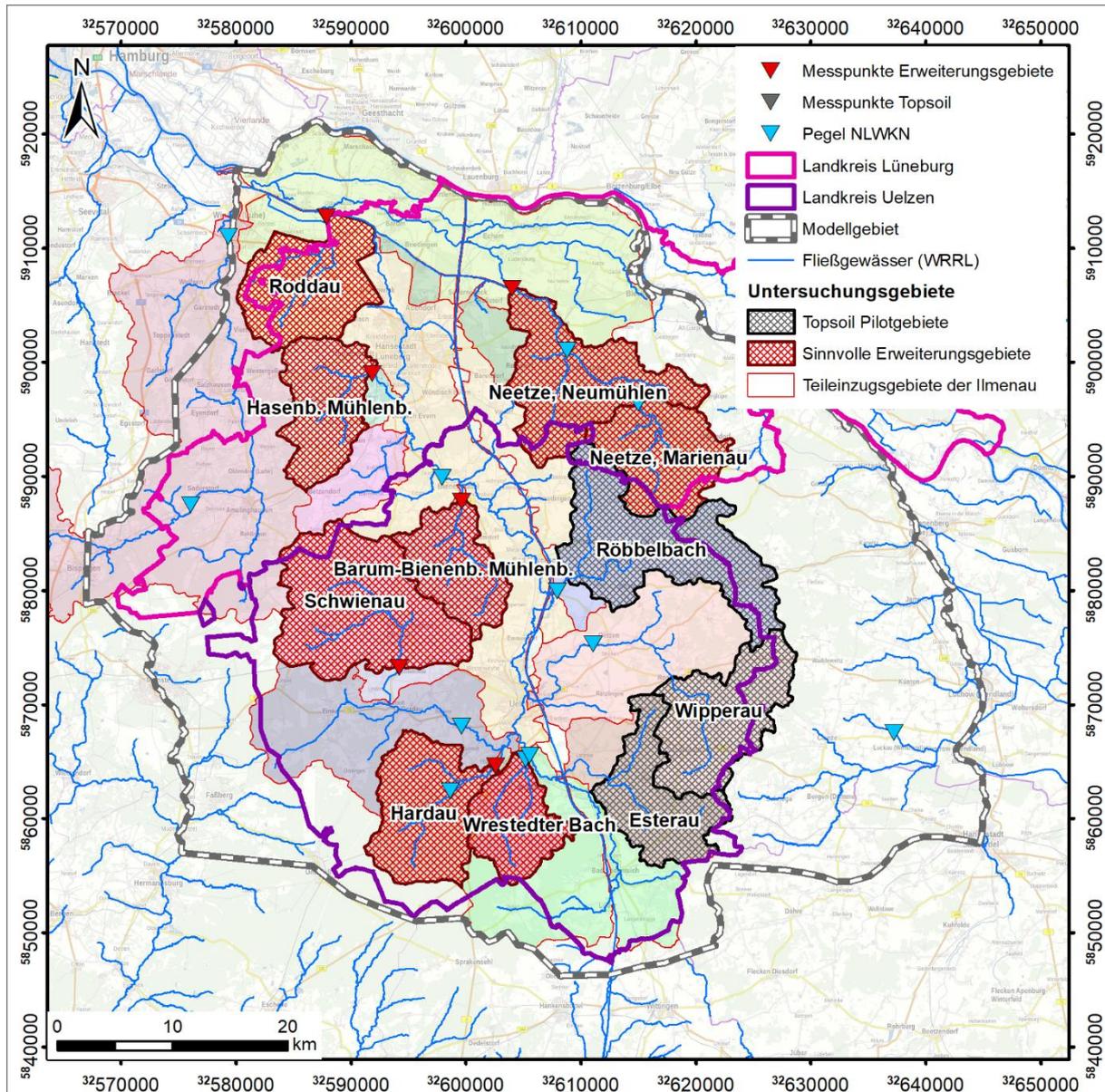


Abbildung 17: Gewässernetz (WRRL) und Teileinzugsgebiete der Ilmenau [18] mit Vorschlägen weiterer Monitoring-Gebiete [1]

3.3 Auswahl eines neuen Pilotgebietes

Mit der Fortführung des Projektes "AquaModul" sollte ein weiteres Pilotgebiet eingerichtet werden. Im Abschlussbericht [1] wurden hierzu bereits mehrere Vorschläge für weitere Monitoring-Gebiete unterbreitet (vgl. Abbildung 17). Nach Möglichkeit sollte sich der neue Standort von den bestehenden Pilotgebieten in verschiedener Hinsicht unterscheiden.

Mit dem Standort Oedeme (Hasenburger Mühlenbach) konnte erstmals ein Gebiet im Landkreis Lüneburg sowie im Grundwasserkörper „Ilmenau Lockergestein links“ gewählt werden.

Zudem herrscht vor Ort eine andere geologische Situation (Schichtenfolge) als in den bestehenden Pilotgebieten, da der Standort in einem sogenannten Plattenbereich liegt. Auf den oberflächennahen Grundwasserleiter (AQ2) folgt direkt die tertiäre Schichtenfolge, beginnend mit dem oberen Glimmerton (AT4), einer mächtigen Tonschicht, die als Grundwasserhemmer wirkt. Darunter folgen die beiden Grundwasserleiter "Obere Braunkohlensande" (AQ5) und "Untere Braunkohlensande" (AQ6), die wiederum durch eine grundwasserhemmende Tonschicht, den "Hamburger Ton" (AT5) voneinander getrennt sind.

Im Oberlauf des Hasenburger Mühlenbachs geht der Plattenbereich in einen Rinnenbereich über. Entlang der Ortschaften Embsen-Oerzen-Heiligenthal-Reppenstedt verläuft eine tiefe glaziale Rinne, entlang derer die beschriebenen tertiären Schichten erodiert wurden und sich neben gut durchlässigen quartären Schmelzwassersanden (AQ4) auch gering durchlässige Beckenschluffe und -tone abgelagert haben. Hierdurch wird die Verbreitung des Grundwasserhemmers "Hamburger Ton" (AT4) unterbrochen, sodass über die Rinnenflanken ein hydraulischer Kontakt zwischen AQ4, AQ5 und AQ6 besteht.

Im Einzugsgebiet des Hasenburger Mühlenbachs finden größere Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung statt. Aufgrund des komplexen Untergrundaufbaus lässt sich keiner der benannten Grundwasserleiter als Hauptförderhorizont für die Feldberegnung bezeichnen. Aufgrund des hydraulischen Kontakts über die glaziale Rinne kann stattdessen davon ausgegangen werden, dass sich die Grundwasserentnahmen auf den AQ4 (Rinnenbereich), als auch auf AQ5 und AQ6 (Plattenbereich) auswirken.

Für die Auswahl des Standortes Oedeme spricht, dass in unmittelbarer Nähe (rd. 120 m südwestlich) des anvisierten Abflussmesspunktes, drei Grundwassermessstellen von der Purena GmbH betrieben werden, die freundlicherweise mitgenutzt werden durften, sodass anders als bei den drei bereits bestehenden Pilotgebieten, keine Grundwassermessstellen neu errichtet werden mussten, um die Messstellengruppe zu vervollständigen. Die drei Grundwassermessstellen sind im oberflächennahen Grundwasserleiter (AQ2) sowie im Förderhorizont bzw. mit dem Förderhorizont interagierenden Grundwasserleitern (AQ5) und (AQ6) verfiltert.

Auf Basis des Differenzenplans aus Geländeoberfläche und Grundwasserdruckfläche (Abbildung 18) wurden die Gewässerabschnitte und Flächen mit Anschluss an den Haupt-Grundwasserleiter ermittelt. Dieser Differenzenplan entspricht näherungsweise einem Flurabstandsplan. Nur in den Bereichen, in denen der Flurabstand < 2 m bzw. < 5 m beträgt, können Grundwasserabsenkungen durch Wasserentnahmen Auswirkungen auf bestimmte Schutzgüter haben. Die Bereiche mit Flurabständen > 5 m können von einer potentiellen Betroffenheit ausgeschlossen werden.

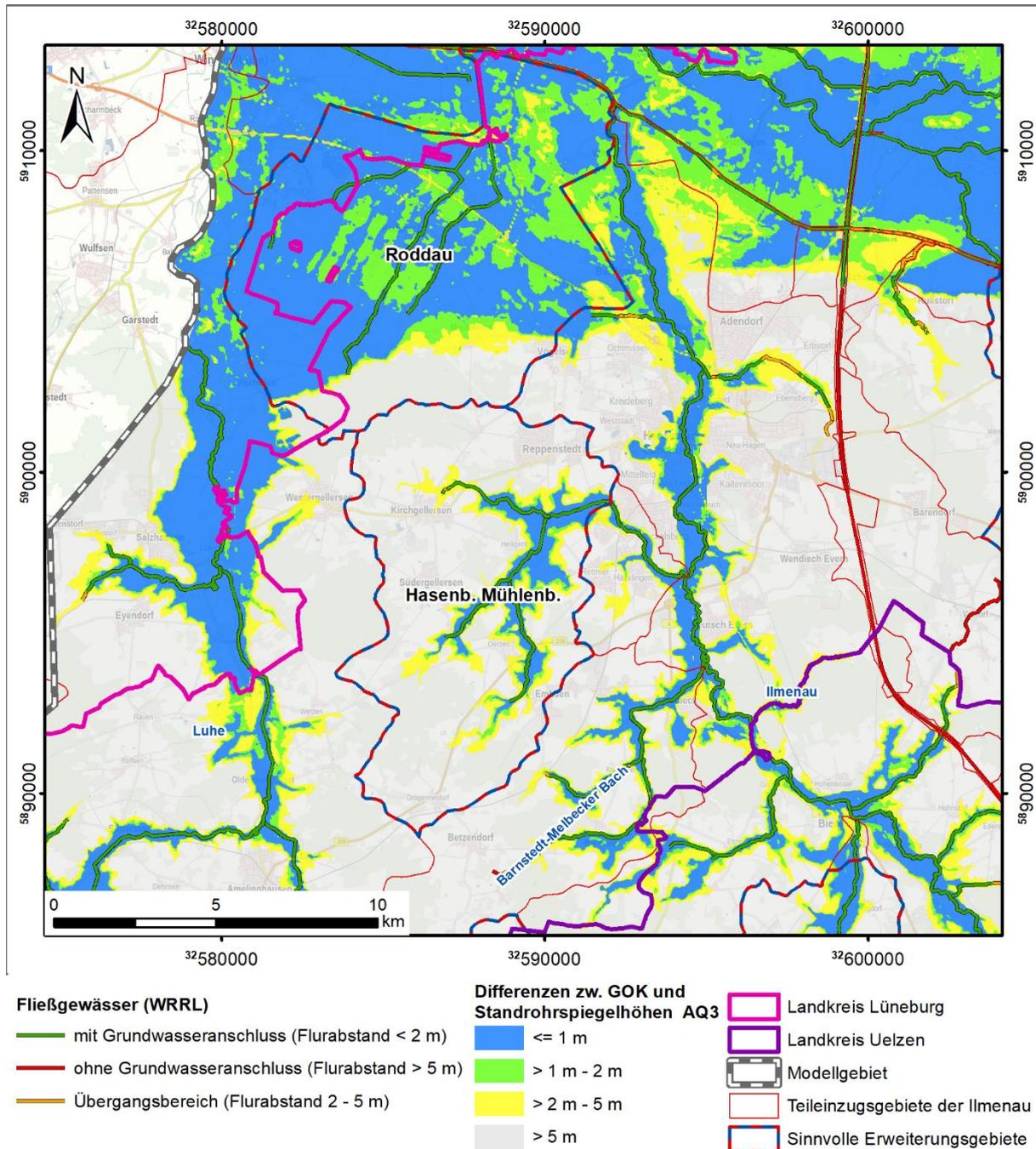


Abbildung 18: Differenz aus Geländeoberfläche und Grundwasserdruckfläche (Stichtagsmessung März 2018) [18]

Für den Standort Oedeme bzw. das Teileinzugsgebiet Hasenburger Mühlenbach liegt ein Grundwasseranschluss vor, sodass davon auszugehen ist, dass Grundwasserabsenkungen einen Einfluss auf die schutzwürdigen Landökosysteme haben können.

Im Einzugsgebiet des Hasenburger Mühlenbachs sind in Bereichen geringer Flurabstände viele gwaLÖS verbreitet. Zudem ist das Hasenburger Bachtal Teil des FFH-Gebiets "Ilmenau

mit Nebenbächen" (vgl. Abbildung 19). Vereinzelt sind gwaLÖS auch in Gebieten mit großen Flurabständen kartiert, dies ist ein Hinweis auf das mögliche Vorhandensein lokaler Stauwasserhorizonte, die hydraulisch nicht mit dem Haupt-Grundwasserleiter interagieren.

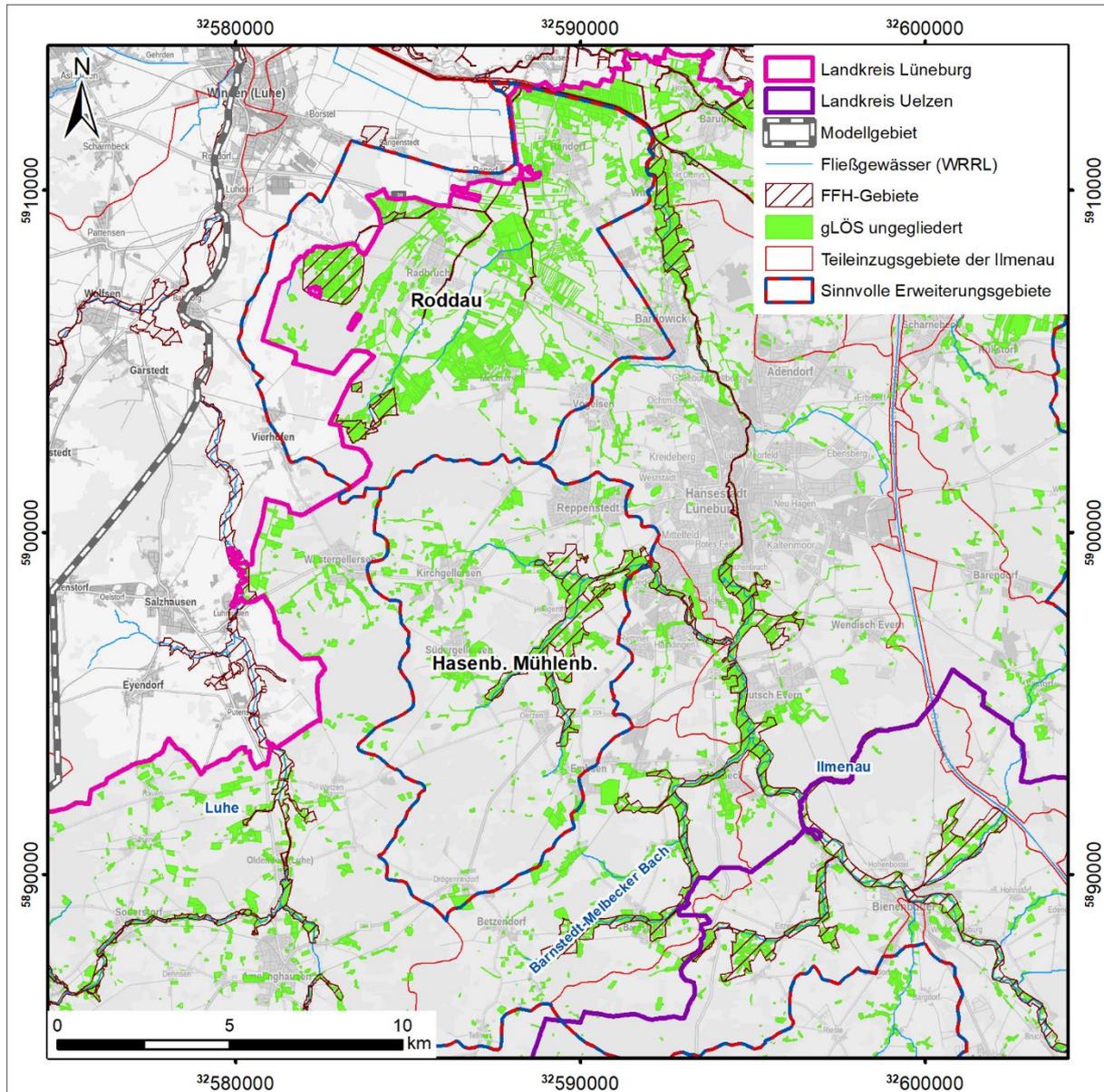


Abbildung 19: Grundwasserabhängige Landökosysteme (ungegliedert) und FFH-Gebiete im Landkreis Uelzen [18] [19] [20]

Um die durch Grundwasserentnahmen besonders beanspruchten Gebiete zu identifizieren, wurden die Entnahmemengen der Beregnungsbrunnen für den Zeitraum 2008 - 2019 ausgewertet. Aufgrund der stark differierenden Grundwasserentnahmen zwischen den einzelnen Beregnungsbrunnen kann die alleinige Anzahl an Beregnungsbrunnen in einem Gebiet, oder die Entnahmemenge einzelner Brunnen über die tatsächliche Betroffenheit täuschen. Daher

ist es notwendig, die Entnahmemengen aller Beregnungsbrunnen gebietsweise aufsummiert zu betrachten.

Als Gebietseinheit wurden hierfür die Basiseinzugsgebiete gewählt, welche die kleinste hydrographische Gliederungsebene der **oberirdischen** Einzugsgebiete Niedersachsens darstellen. Für die Beurteilung, ob ein oder mehrere Brunnen eine förderbedingte Basisabflussreduktion in einem Oberflächengewässer hervorrufen können, sind die wesentlich schwieriger zu ermittelnden **unterirdischen** Gewässereinzugsgebiete, die sich im Detail unterscheiden können, relevant. Für eine Erstbeurteilung sind die oberirdischen Einzugsgebiete völlig ausreichend. Bezogen auf die Flächengröße der einzelnen Basiseinzugsgebiete ergeben sich mittlere jährliche Gebiets-Entnahmemengen im mm/a, diese sind in Abbildung 20 dargestellt.

Für den Landkreis Uelzen finden die größten Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung in den Einzugsgebieten der Gewässer Röbbelbach, Wipperau, Esterau, Barum-Bienenbüttele-Mühlenbach, Schwienau sowie einzelner Gewässerabschnitte der Hardau (vgl. Abbildung 20) statt.

Im Landkreis Lüneburg befinden sich die größten Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung in den Einzugsgebieten der Gewässer Hasenburger Mühlenbach, Roddau, Neetze und Lopau statt (vgl. Abbildung 20).

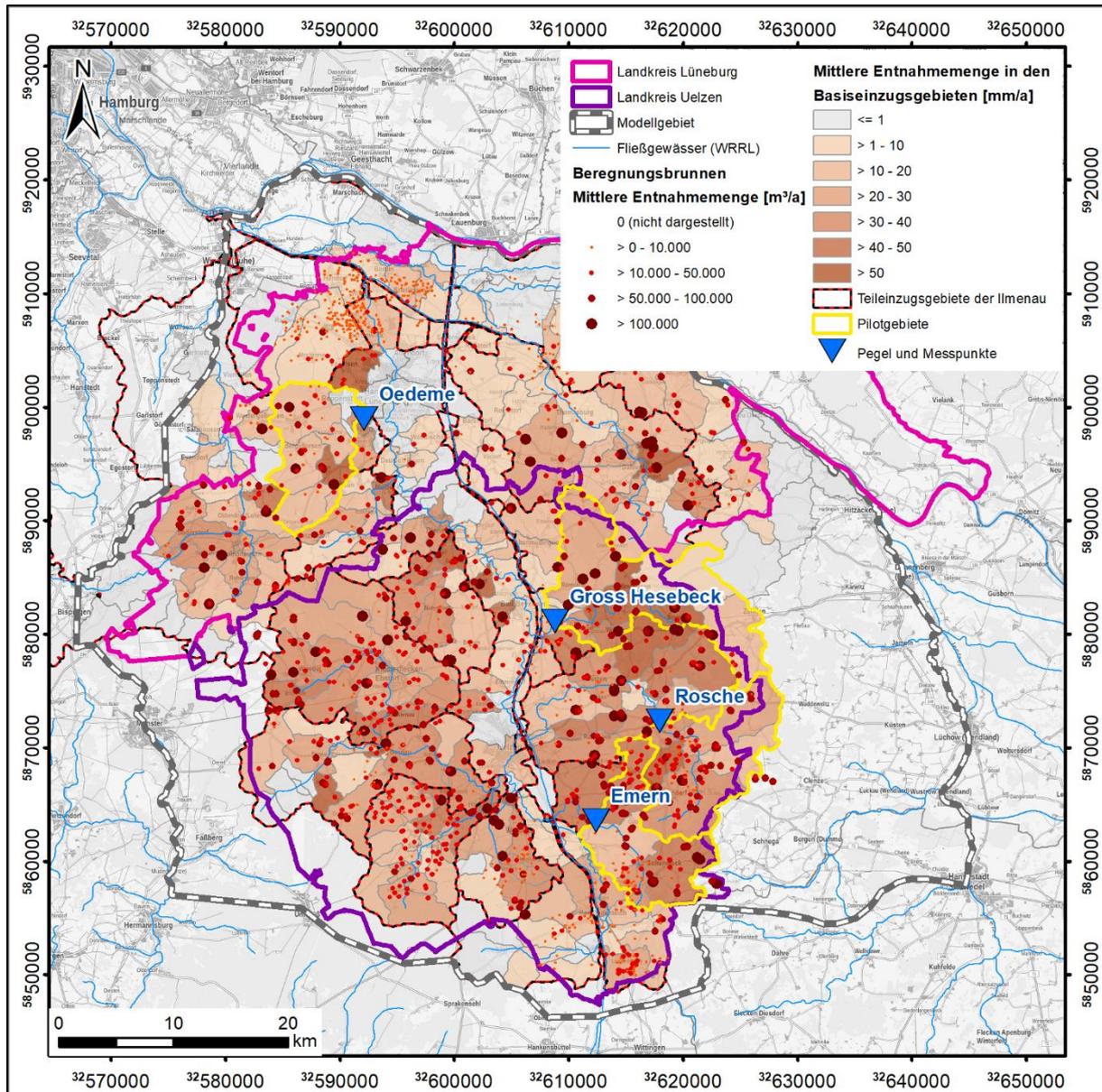


Abbildung 20: Wasserentnahmen (mittlere Entnahmemenge Zeitraum 2008 bis 2020) für die Feldberegnung in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg [18]

Mithilfe des numerischen Grundwasserströmungsmodells wurden anschließend die unterirdischen Einzugsgebiete der Messstellenstandorte ermittelt. Diese definieren die sogenannten Pilotgebiete (vgl. Abbildung 21). Als besonders relevant (Grundwasserabsenkung, Abflussminderung) wurden die Brunnen definiert, die sich innerhalb und im näheren Umfeld (1,5 km-Saum) der Pilotgebiete befinden.

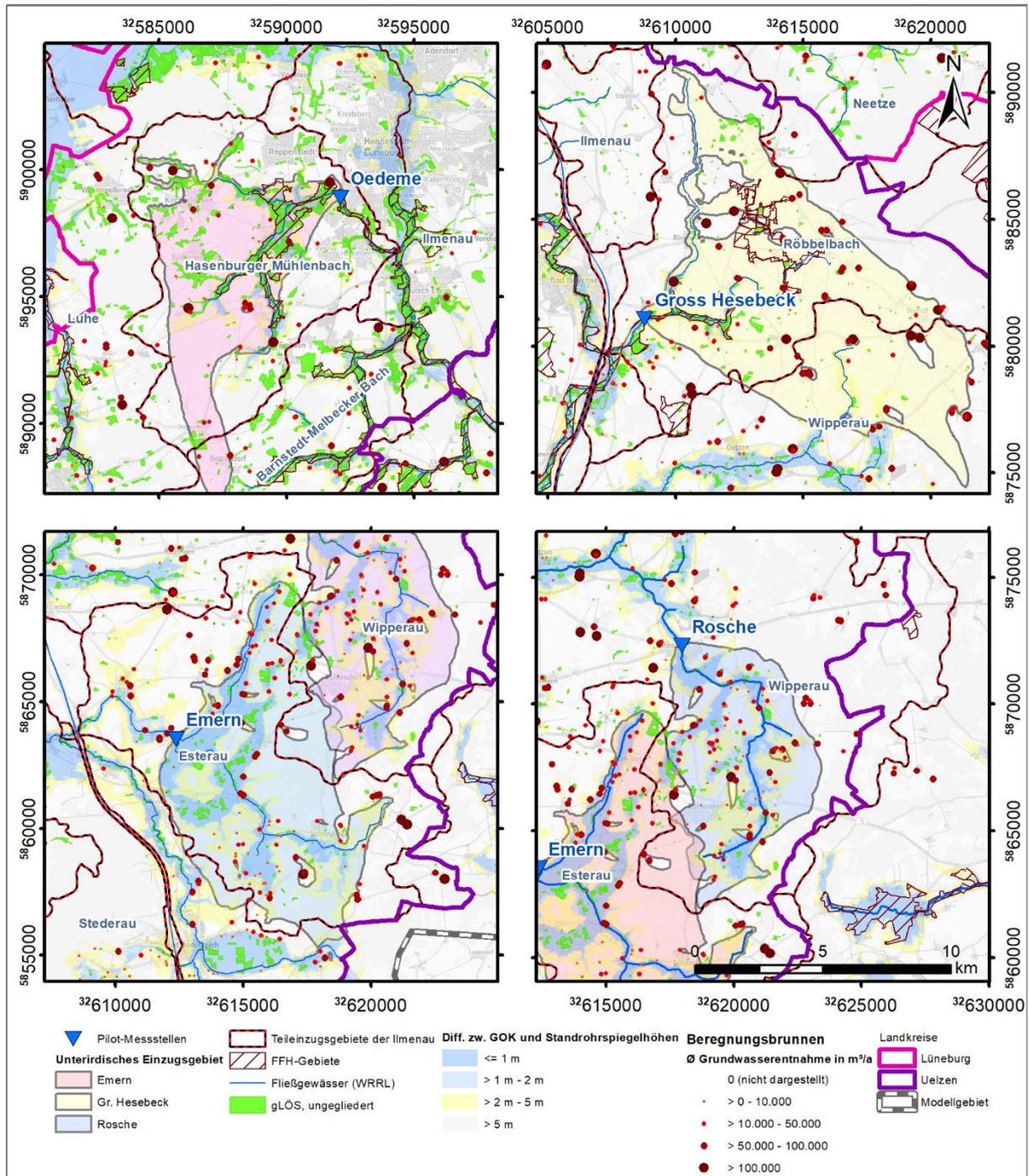


Abbildung 21: Lage der unterirdischen Einzugsgebiete mit den wichtigsten Kenndaten (Lage gwaLÖS, Grundwasseranschluss und mittleren Grundwasserentnahme (Zeitraum 2008-2020) [17])

Eine zusammenfassende Darstellung der bisher bestehenden Pilotgebiete und dem Erweiterungsgebiet Oedeme mit den wichtigsten Kennwerten befindet sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Kennwerte der Pilotgebiete

Ort	Gewässer	Pilotgebiete			GW-Anschlus s	FFH-Ge- biete	gwa- LÖS	Mittlere Grund- wasserentnah- men (2008-2020) / $A_{u(\text{Puffer})}$ [mm/a]
		A_o [km ²]	A_u [km ²]	$A_u + 500m$ ¹⁵ Puffer [km ²]				
Groß Hesebeck	Röbbelbach	146	86,1	119,7	+	+	++	45
Rosche	Wipperau	104	39,8	57,5	+	-	+	46
Emern	Esterau	84	66,8	91,4	+	-	+	43
Oedeme	Hasenburger Mühlenbach	78	45,4	71,7	+	+	++	25

3.4 Messstellenaufbau

Am Gewässerausfluss der jeweiligen Pilotgebiete wurde eine Messstellengruppe errichtet, bestehend aus:

1. Grundwassermessstelle im Förderhorizont (i.d.R. AQ3)
2. Grundwassermessstelle im oberflächennahen Grundwasserleiter (i.d.R. AQ2)
3. Abflussmessstelle im Gewässer

Durch die Messstellenkombination aus Grundwassermessstellen im Förderhorizont und im oberflächennahen Grundwasserleiter sowie einer Abflussmessstelle im Gewässer, ist der komplette Wirkungspfad von den Beregnungsbrunnen im Entnahmehorizont über die Auswirkungen im oberflächennahen Grundwasserleiter bis hin zu den Interaktionen mit dem Oberflächengewässer abgebildet (Abbildung 22).

Ziel dieser Messstellenkombination ist, in Verbindung mit den bereits vorhandenen Abfluss- und Grundwasserdaten, dezidierte Informationen zur Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser bzw. eine Gesetzmäßigkeit der jeweiligen Reaktionen auf die Beregnungsentnahmen ableiten zu können. Um diese von den meteorologisch bedingten Reaktionen zu separieren - fallende Wasserstände im Frühjahr überlagern sich mit dem Beginn der Beregnungsperiode – wird das instationäre Grundwassermodell in den Pilotgebieten verfeinert und regelmäßig nachkalibriert (vgl. Kapitel 7.2).

¹⁵ Unterirdisches Einzugsgebiet mit einem Puffer von 500 m.

Für den Standort Oedeme ist unter einer Straßenbrücke, analog zu den bestehenden Messstellen in Groß Hesebeck, Rosche und Emern, eine ADCP-Abflussmesssonde (Acoustic Doppler Current Profiler) im November 2020 installiert worden. Die Auslesestation ist am linken Ufer installiert worden (vgl. Abbildung 23).

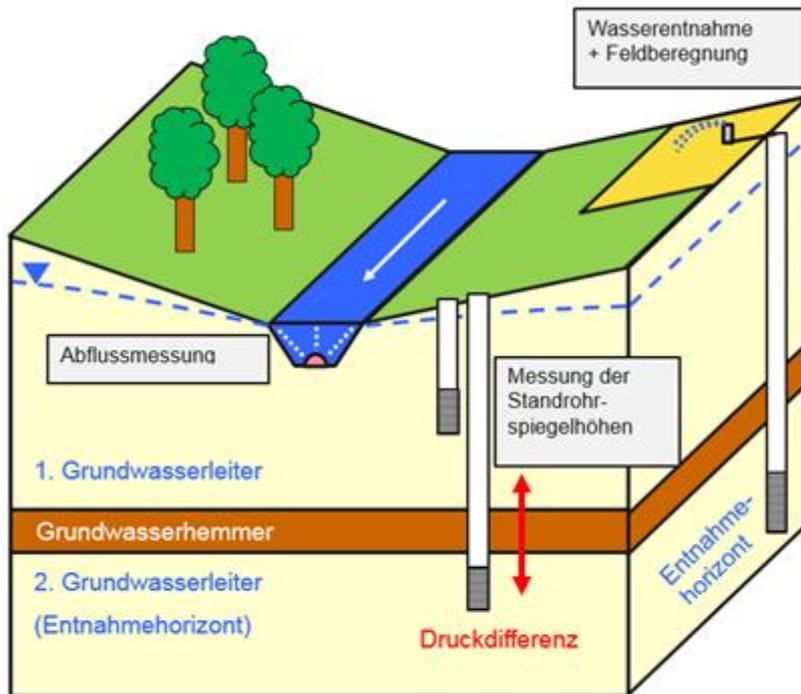


Abbildung 22: Aufbau einer Messstellengruppe (Prinzipische Skizze)

Für optimale Messbedingungen muss das Gewässer möglichst laminare Strömungsbedingungen und einen konstanten Gerinnequerschnitt aufweisen, hierzu wurde unterhalb der Straßenbrücke Kies in die Gewässersohle eingebracht, um vorhandene Auskolkungen auszugleichen.

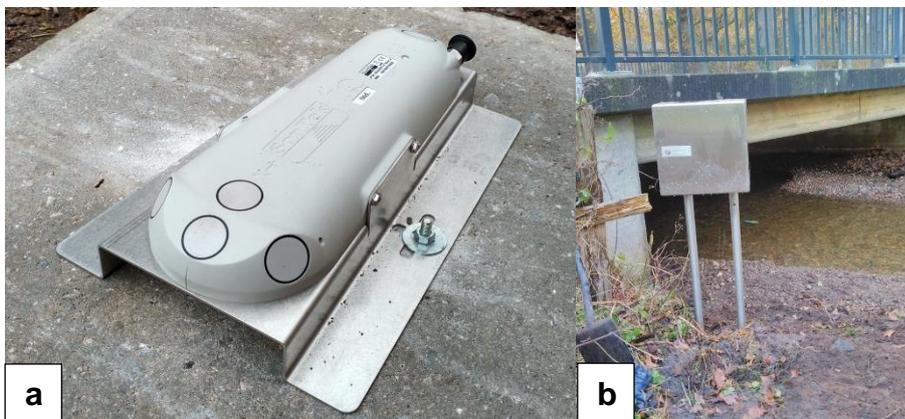


Abbildung 23: Abflussmesssonde (Sontec IQ) montiert auf einer Gehwegplatte (a); Pegelstandort Oedeme unter einer Straßenbrücke mit Auslesestation am Ufer (b)

Zusätzlich wurde am 05.10.2020 eine Abfluss-Stichtagsmessung an weiteren Gewässerpunkten im Einzugsgebiet des Hasenburger Mühlenbachs durchgeführt (Anlage 1). Analog zu den

Stichtagsmessungen der anderen „Pilot-Einzugsgebieten“ im November 2019 [1], ist auf einen geeigneten Zeitpunkt geachtet worden: Notwendig ist eine vorausgegangene Trockenwetterphase, sodass der vor Ort gemessene Abfluss als Basisabfluss angesehen werden kann. Aufgrund fehlender Wege zum Hauptlauf des Hasenburger Mühlenbachs oder zu schlechten Messbedingungen (nahezu stillstehendes Gewässer aufgrund eines großen Querschnitts) blieb ein längerer Gewässerabschnitt ohne Abflussmessung, sodass für diesen Bereich keine Aussage darüber getroffen werden kann, wie gleichmäßig oder ungleichmäßig der Zustrom aus dem Grundwasser in den Hasenburger Mühlenbach erfolgt.

Weiterhin wurde der Messbetrieb an den anderen Messstellen Groß Hesebeck, Rosche und Emern fortgeführt und umfasst auch die Beregnungsperiode 2020.

Ergänzend wurden an allen Abflussmessstellen und Grundwassermessstellen eine Datenfernübertragungstechnik installiert. Die Grundwassermessstellen wurden hierfür im Juli 2020 mit Grundwasserdatensammlern vom "Typ 255" (HT-Hydratechnik) ausgerüstet. Für die Abflussmessstellen sind Datensammler vom Typ "MRL-7" (Sommer Messtechnik) für den erweiterten Messstellenbetrieb ausgewählt und im Frühjahr 2021 installiert worden (vgl. Abbildung 24). Alle Datenlogger verfügen über ein Mobilfunkmodem und eine SIM-Karte sowie über eine externe Antenne.

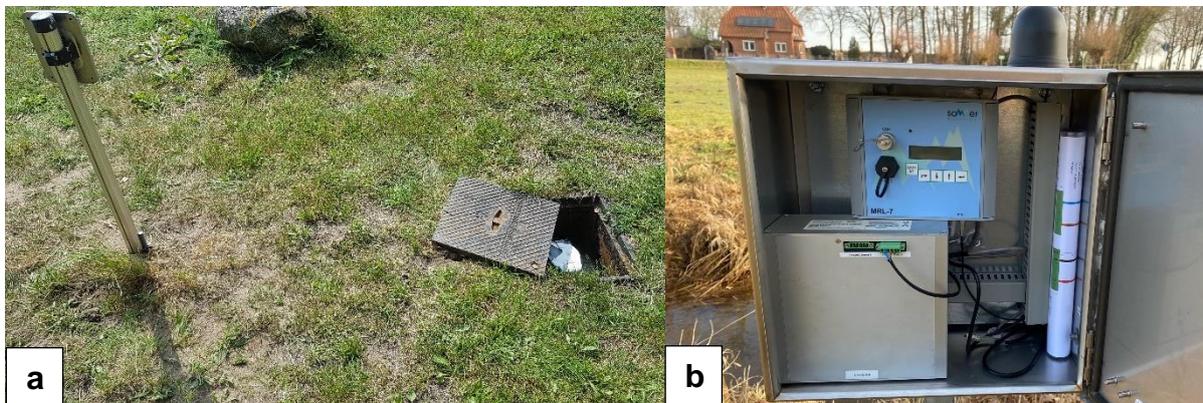


Abbildung 24: Grundwassermessstelle in Emern mit Antenne am Markierungspfosten (a), Schaltschrank in Emern mit Sommer-Logger (MRL-7) und Antenne (b)

Die aufgezeichneten Daten werden täglich auf einen File Transfer Protocol (FTP-)Server übermittelt. Eine automatisierte Datenverarbeitung sorgt dafür, dass alle Messdaten trotz unterschiedlicher Dateiformate in das Webportal "HT-Analytics" aufgenommen werden. Dort können die Daten der Standrohrspiegelhöhen in den Grundwassermessstellen und die Wasserstands- und Abflusswerte der Abflussmessstellen abgerufen und visualisiert werden (vgl. Abbildung 25).

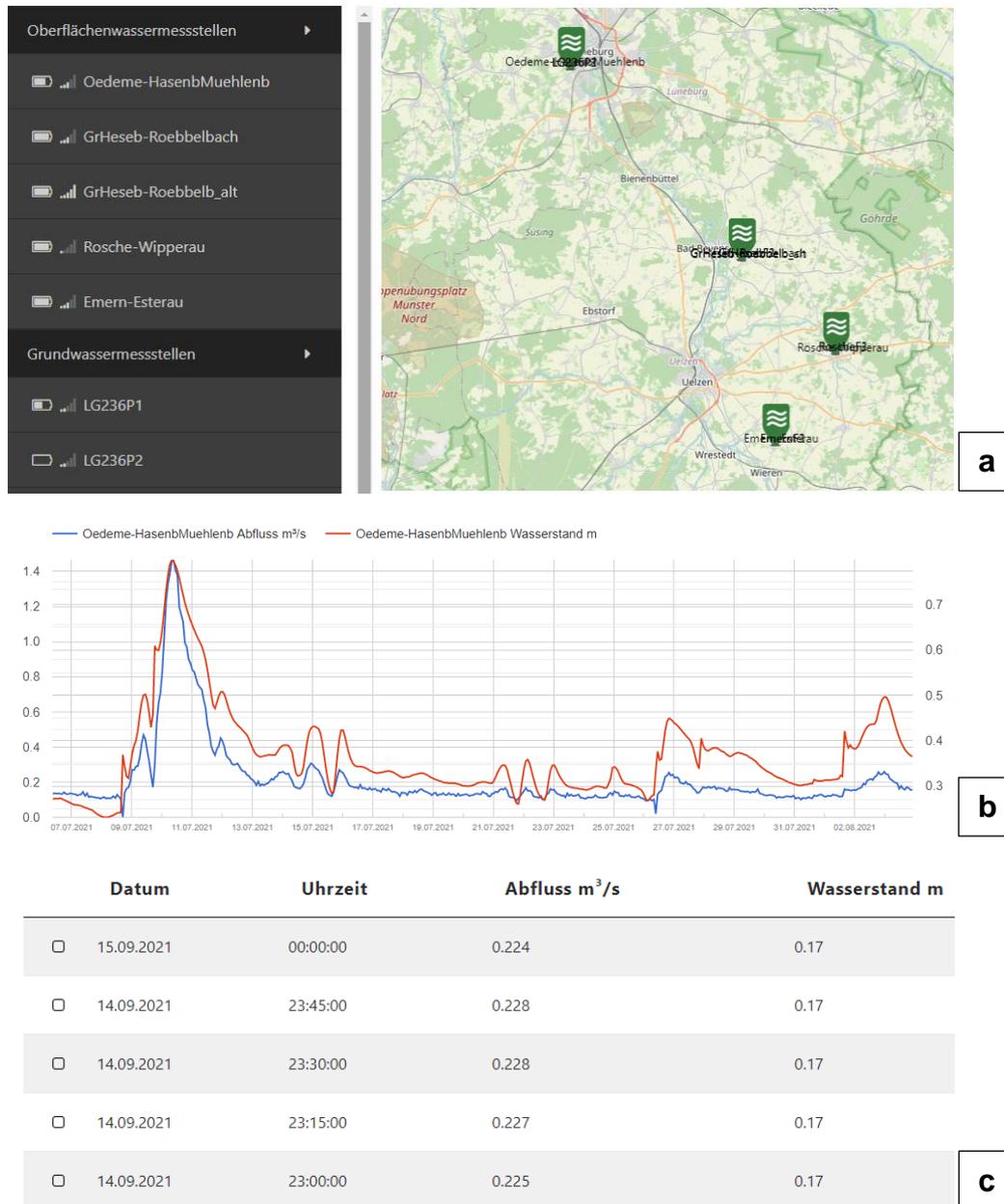


Abbildung 25: Oberfläche mit Lageübersicht der Messstandorte im Online-Portals HT-Analytics (a), Darstellung der Wasserstands- und Abflussdaten als Diagramm (b) und Tabelle (c) am Beispiel der Messstelle Oedeme

Während der Erprobungsphase steht neben der Erfassung der Messwerte vor allem auch der Erfahrungsgewinn durch den Betrieb der Messstellen im Mittelpunkt. Die Verlängerung des Probebetriebs bis zum Sommer 2021 soll zur Erfassung eines weiteren Wasserwirtschaftsjahres und der Erweiterung der Datenbasis für eine belastbarere Interpretation der Messdaten führen. Ziel ist ein zuverlässiges Messsystem, das zu belastbaren und nachvollziehbaren Aussagen mit einem überschaubaren Mess- und Wartungsaufwand führt.

Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei auch die Erprobung der Datenfernübertragung, die es ermöglichen soll auf tagesaktuelle Messwerte zurückzugreifen und mögliche Störungen frühzeitig zu erkennen und Messausfälle zu minimieren.

4 Probetrieb des Monitoringsystems

4.1 Abflussmesstechnik

Am neuen Standort Oedeme ist analog zu den drei Pilotgebieten ein ADCP (Modell: Sontec IQ) in der Gewässermitte eingebaut worden. Für eine detaillierte Beschreibung der Abflussmesstechnik wird auf den Abschlussbericht [1] und die Handbücher des Herstellers [15] verwiesen.

Da sich der Einbau des ADCP aufgrund von Lieferschwierigkeiten verzögert hat, sind vorübergehend nur Wasserstandsmessungen im Hasenburger Mühlenbach durchgeführt worden, die mithilfe einer Drucksonde kontinuierlich aufgezeichnet wurden.

Es wurde weiterhin ein Messzeitraum von 90 Sekunden bei einem Messintervall von 15 Minuten gewählt.

Im Messgerät werden sowohl sämtliche Rohdaten (Geschwindigkeiten, Signalstärke etc.), als auch intern berechnete Abflussdaten abgespeichert.

4.2 Kontrollmessungen und Kalibrierung

Zur Überprüfung der aufgezeichneten Abflusszeitreihen wurden in regelmäßigen Abständen Kontrollmessungen mit einem mobilen Ultraschall-Abflussmessgerät durchgeführt (Anlage 1).

Wie im Abschlussbericht [1] beschrieben, sind die intern berechneten Abflussmengen (Sontec IQ) nicht ohne zusätzliche Kalibrierung verwendbar. Für die Erfassung des Geschwindigkeitsprofils werden üblicherweise die Messergebnisse mehrerer akustischer „beams“ (Schallwandler) verwendet, die in die unterschiedlichen Raumrichtungen zeigen.

Die weiteren Erfahrungen aus dem Messbetrieb zeigten, dass die im Abschlussbericht [1] beschriebene Kalibrierung nicht praktikabel ist, da vor allem bei geringem Wasserstand oder geringer Fließgeschwindigkeit die (zumeist seitlichen) „beams“ unplausible Geschwindigkeitswerte liefert, oder diese gar nicht mehr aufzeichnen (untere Grenze des Messbereichs). Deutlich wird dies in der größeren Streubreite der Geschwindigkeits-Messwerte.

Die Geschwindigkeitsmesswerte des mittleren „beams“ zeigen hingegen eine geringere Streuung, eine geringere Ausfallquote und wirken insgesamt repräsentativer, sodass die zukünftige Kalibrierung nur noch auf dem Wasserstand, der Gerinnegeometrie sowie der Geschwindigkeit in der Gewässermitte basiert.

Die Messstellenkalibrierung verfolgt den Ansatz, das Index-Verfahren ($Q = A \cdot V \cdot k$) mit dem ETA-Verfahren zu kombinieren.

Beim Index-Verfahren wird die durchströmte Fläche anhand des Wasserstands und der Gerinnegeometrie berechnet und mit der Geschwindigkeit sowie einem Kalibrierfaktor multipliziert, woraus sich der Abfluss ergibt. Dieses Verfahren nutzt zwar neben dem Wasserstand die zusätzliche Messgröße „Geschwindigkeit“, reagiert allerdings auch sehr sensitiv auf Messungenauigkeiten (beschriebene Streuung). Die Erfahrung des Messbetriebs hat gezeigt, dass

im Tagesmittel plausible Messwerte entstehen, die einzelnen 15-Minuten-Werte teils unplausibel wirken.

Das ETA-Verfahren basiert auf der Wasserstands-(W)/Abfluss(Q)-Beziehung, berücksichtigt dabei aber die rückstauende Wirkung von Verkrautung in Form des Parameters η (ETA). Abhängig vom Grad der Verkrautung in einem Gewässer, ergibt sich für einen Abfluss jeweils ein minimaler (ungehinderter Abfluss im frei gemähten Gerinne (Winter); $\eta=0$) oder maximaler (aufgestauter Abfluss im verkrauteten Gerinne (Sommer); $\eta=1$) Wasserstand. Dadurch ergeben sich zwei „Hüllkurven/Schlüsselkurven“ vgl. [21]).

Der Parameter η (ETA) ist dabei wie folgt definiert:

$$\eta = 1 - \frac{(Q - Q_{min})}{(Q_{max} - Q_{min})}$$

Unter der Annahme, dass die Abflusswerte nach der Indexmethode im Tagesmittel stimmen, kann ein W-Q-Diagramm mit den Hüllkurven ($\eta=0$; $\eta=1$) gezeichnet werden, woraus wiederum tagesaktuelle ETA-Werte berechnet werden können.

Über die mittlere Steigung (k) der linearen Trendlinie zwischen stationärer Messung und Kontrollmessung, wurde der Abfluss zunächst vorkalibriert (sog. Indexmethode). Da k allerdings nicht konstant über das Jahr verteilt ist, wurde eine Korrektur in Anlehnung an das ETA-Verfahren angewandt. Hierbei findet ein gleitender Übergang von k zwischen den einzelnen Kontrollmessungen (= Stützpunkte für k) statt.

Wenn die Wassertiefe den kritischen Wert von 8 cm unterschreitet, kann die Fließgeschwindigkeit nicht mehr erfasst werden. Entsprechend kann der Abfluss bei nicht gemessener Fließgeschwindigkeit nicht mehr berechnet werden. Um durchgängige Datenzeitreihen für die weitere Auswertung zu erhalten, sind fehlende Abflüsse über die W-Q- η -Beziehung abgeleitet worden.

Dazu wurden zunächst die W-Q-Beziehung für jeden Standort ermittelt. Diese sind in den Abbildung 26 bis Abbildung 29 (jeweils linkes Diagramm) visualisiert.

Am Standort Groß Hesebeck (vgl. Abbildung 26) ist anhand des rechten Diagrammes erkennbar, dass die Messungen aufgrund der sehr geringen Wasserstandsschwankungen, extrem sensitiv sind. Die Indexmethode (siehe linkes Diagramm) ist an diesem Standort grundsätzlich vertrauenswürdiger, da sich der Wasserstand und damit die Querschnittsfläche nur minimal ändern.

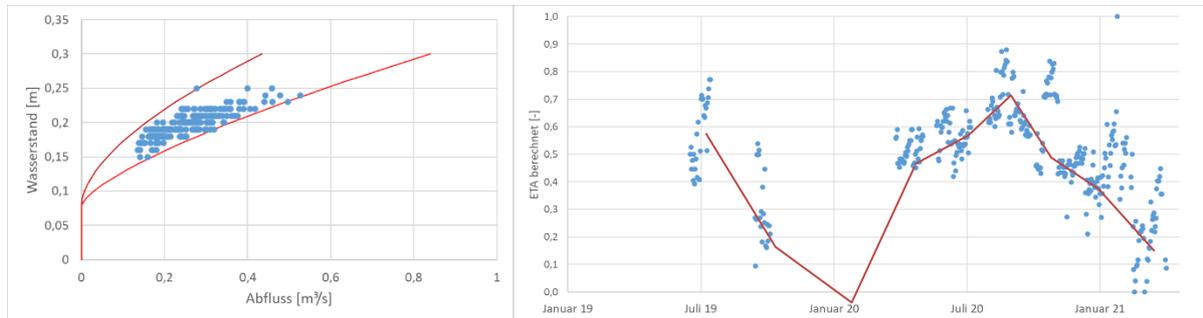


Abbildung 26: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Groß Hesebeck (nach Umbau)

Das ETA-Verfahren am Standort Rosche (vgl. Abbildung 27, rechtes Diagramm) ist im Jahr 2019 aufgrund der fehlenden Messwerte [1], sowie der Niedrigwassersituation, im Vergleich zu den Jahren 2018 und 2020 weniger gut anwendbar. Das Indexverfahren kann ebenso wie am Standort Groß Hesebeck für weitere Abflussberechnungen bevorzugt herangezogen werden.

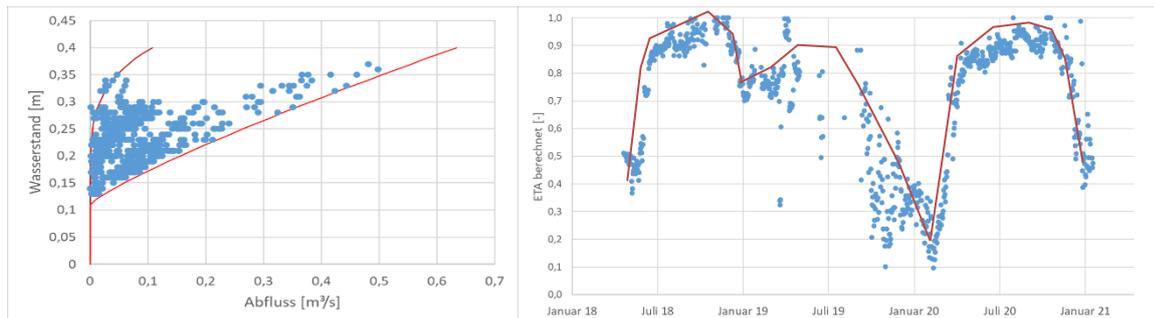


Abbildung 27: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Rosche

Mit wenigen Ausnahmen in 2019 und im Januar 2021 bildet der ETA-Parameter am Standort Emern die Situation mit jahreszeitlichen Schwankungen plausibel ab.

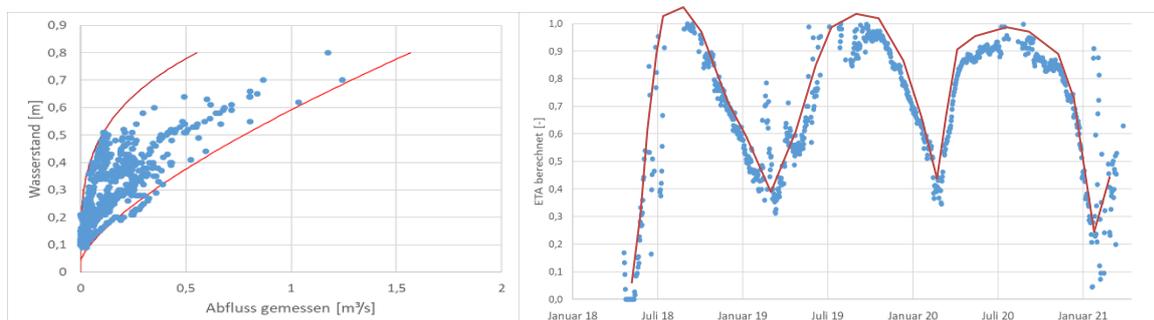


Abbildung 28: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Emern

Am Standort Oedeme ist die Datengrundlage zu gering, um eine belastbare Berechnung des ETA-Parameters durchführen zu können. Die beiden Ausreißer im Januar und März 2021 sind nach Starkregenereignissen entstanden und nach der Indexmethode (vgl. Abbildung 29, linkes Diagramm) nahe der oberen Schlüsselkurve, d.h. $\eta=1$, aufgetragen. Laut zu Grunde liegender

Annahme des ETA-Verfahrens lag ein Zustand mit aufgestautem Abfluss im verkrauteten Gerinne vor. Aufgrund der Jahreszeit ist allerdings nicht von vermehrter Verkrautung auszugehen. Mit weiterer Datensammlung sollte die Auswertung kritisch geprüft und ggf. angepasst werden.

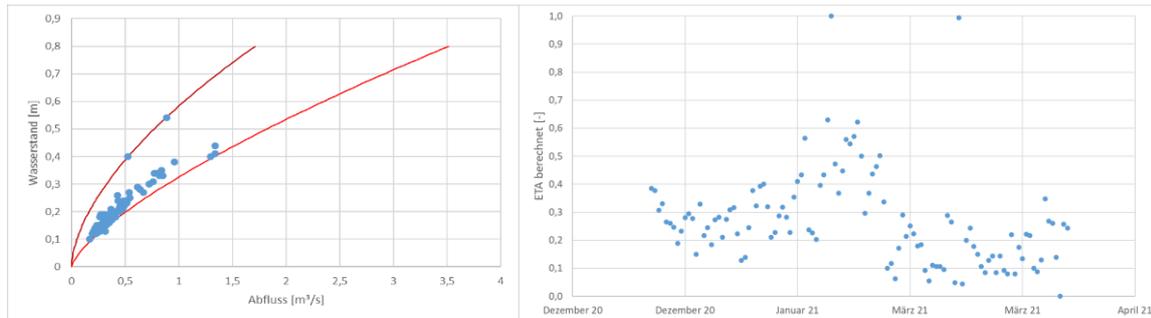


Abbildung 29: Schlüsselkurve und ETA-Parameter Oedeme

Der Zustand eines jeden Gerinnes kann jeweils individuell über den Parameter η abgeleitet werden. Dieser ist über die Zeit visualisiert für die vier Standorte in den Abbildung 26 bis Abbildung 29 (jeweils rechtes Diagramm) dargestellt. An den Standorten Rosche und Emern ist dabei eine deutliche jahreszeitliche Abhängigkeit ersichtlich. In Frühjahr nimmt η bis zum Sommer zu und fällt im Herbst Richtung Winter wieder deutlich ab.

Anhand der Schlüsselkurve sind mit Kenntnis der W-Q- η -Beziehung die nicht berechneten Abflüsse ergänzt worden.

4.3 Ableitung des Basisabflusses

Die Zerlegung der gemessenen Abflussmengen in die einzelnen Abflusskomponenten Direkt-, Zwischen-, und Basisabfluss stellt insbesondere bei sehr kurzen Abflusszeitreihen eine große Herausforderung dar. Da der Fokus des Monitoringsystems auf dem Nachweis möglicher förderbedingter Reduktionen des grundwasserbürtigen Basisabflusses liegt, wurde zur modellunabhängigen Separierung des Basisabflusses vom Gesamtabfluss das Verfahren nach WITTENBERG [4] gewählt. Dieses berücksichtigt die Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser in einem besonderen Maße. Es handelt sich um ein nicht-lineares Speichermodell, d.h. es geht von einer festen, aber nicht-linearen Beziehung zwischen der Wassermenge im Grundwasserspeicher und der daraus resultierenden grundwasserbürtigen Abflussmenge (Basisabfluss) aus. Für die Anwendung dieses Modells müssen lediglich zwei Parameter (a , b) anhand von Trockenwetterfalllinien auf die spezifischen Gegebenheiten des Gewässers ermittelt und kalibriert werden. Der Parameter a repräsentiert die Größe des Grundwasserspeichers. Der Parameter b beschreibt die nicht-lineare Beziehung zwischen Speicherinhalt und Basisabfluss, dieser kann im Regelfall als 0,5 angenommen werden (vgl. [4]).

Ein weiterer Vorteil des Speichermodells ist, dass neben der Basisabflussganglinie auch eine quantitative Abschätzung über die Wassermenge im Grundwasserspeicher und damit über den zeitlichen Verlauf der Grundwasserneubildung getroffen werden kann. Dieses Verfahren

wurde für das instationäre Grundwasserströmungsmodell genutzt, um die mittlere Grundwasserneubildung nach mGROWA18 (Durchschnitt der Periode 1981 - 2010) an die tatsächlichen Bedingungen des Modellzeitraums anzupassen (siehe Kapitel 7.2.2).

4.4 Erfahrungen aus dem Messbetrieb

Während der Erprobungsphase haben verschiedenste Umstände den Messbetrieb erschwert. Einige der Widrigkeiten wurden bereits ausführlich im Abschlussbericht beschrieben, auf welchen an dieser Stelle verwiesen wird [1].

Nachfolgend werden Probleme sowie Lösungsstrategien und ergriffene Maßnahmen beschrieben, die zusätzlich seit dem Sommer 2019 aufgetreten sind.

- Am Standort Rosche haben anthropogene Einflüsse (vermutlich spielende Kinder) erneut zu Problemen bei der Messwertaufzeichnung geführt. Es kam zu leichtem Vandalismus in Form von einem herausgezogenen und am Verbindungsstück beschädigten Kabel. Außerdem wurden die für die händischen Kontrollmessungen angebrachten Ösen an der Berme für das Spannen einer Leine umfunktioniert.

Das beschädigte Kabel wurde ersetzt. Anschließend musste festgestellt werden, dass der MRL-7 (Datensammler), wie auch bei den anderen Messstellen, defekt war und eingeschickt werden musste. Aufgrund der Zeitverzögerungen durch die Lieferzeiten sind Messlücken von Anfang Mai bis Ende Oktober 2021 am Standort Rosche entstanden.

- Der Messbetrieb der Abflussmessstellen ist durch die schnelle Entladung der Akkus erschwert worden. Ein regelmäßiger Tausch der Akkus sichert einen geregelten Messbetrieb, ist jedoch mit einem höheren zeitlichen Aufwand verbunden. Der Batteriestatus wird über das Online-Portal HT-Analytics angezeigt, sodass die Akkus bei geringem Akkustand getauscht werden, um das Messsystem weiterhin zu gewährleisten.

Zur Optimierung der Stromversorgung sollen die Messstellenstandorte mit Solarpanels ausgestattet werden, um den Aufwand zu verringern.

- Die Datenfernübertragung setzt bei einer Minimalspannung von 12,5 V aus, um die weitere Datenerfassung sicherzustellen. Die Daten werden weiterhin gemessen und intern gespeichert. Die gespeicherten Daten werden bei erneutem Überschreiten der Grenzspannung nachträglich übermittelt. Alternativ können die Daten vor Ort manuell vom internen Speicher ausgelesen werden.
- Geringe Sendeleistung an den Messstandorten, führte zum Teil zum Ausbleiben der Datenfernübertragung. Eine zuverlässige Fernübertragung konnte nur bedingt gewährleistet werden. Außerdem ist das Antennenkabel sehr sensibel und führte zu leichten mechanischen Beschädigungen. Das Kabel wurde ersetzt.

- Am Standort Oedeme werden die Abflussmessungen durch jahreszeitlich bedingte Wasserstandsänderungen stark beeinflusst. Unterstrom der Abflussmessung (östlich der Brücke in Richtung Lüneburg) verkrautet das Gerinne im Sommer stark, sodass ein Rückstau auftritt und die Wasserstände im Sommer höher sind, als im Winter. Im Herbst wird das Gerinne unterhalten und das Kraut gemäht, sodass der Abfluss wieder gewährleistet werden kann. In Folge der Mahd kann es lokal zu Änderungen der Strömungsbedingungen kommen. Am linken Ufer findet eine Rückströmung / Strudelbildung mit Umkehr der Fließrichtung statt, die die Strömungsbedingungen weiterhin beeinflusst.

5 Implementierung externer Daten

Neben den selbst erhobenen Daten sind weitere Daten von externen Quellen für die Auswertungen notwendig. Für ein funktionierendes Entscheidungs- und Unterstützungssystem müssen diese Daten dazu noch zeitnah verfügbar sein.

5.1 Wetterdaten (DWD)

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt eine große Auswahl an Wetterdaten über das Climate Data Center (CDC) online und kostenlos zur Verfügung. Über das CDC lassen sich daher stets aktuelle Niederschlagsdaten herunterladen und auswerten. Es stehen sowohl Stations-, als auch regionalisierte Flächendaten in diversen zeitlichen Auflösungen zur Verfügung. Für die Auswertungen wurde auf die Messwerte der DWD-Station Uelzen, Wendisch Evern und Lüneburg zurückgegriffen.

5.2 Abfluss- und Grundwasserganglinien (NLWKN)

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) betreibt ein landesweites Messnetz an Grundwasser- und Abflussmessstellen. Diese Daten sind für das Systemverständnis von enormer Bedeutung, da meist sehr lange Zeitreihen vorliegen.

Die geprüften Abflussdaten des laufenden Jahres liegen in der Regel nicht vor März/April des Folgejahres vor, sodass eine zeitnahe Zustandsbewertung und eine daraus resultierende Entnahmeempfehlung für die kommende Berechnungsperiode auf dieser Basis nicht möglich sind.

Der Nutzen dieser Daten liegt unter diesen Voraussetzungen vor allem in der nachträglichen Validierung der eigenen Mess-, und Modellergebnisse.

Da die Abflussmessungen eine wichtige Bilanzgröße darstellen, wäre zumindest eine zeitnah vom NLWKN geprüfte Ganglinie des Pegels Bienenbüttel wünschenswert, da dieser aufgrund seines Einzugsgebietes als Leitpegel für den gesamten Landkreis Uelzen angesehen werden kann. Sollte dies nicht möglich sein, muss auch die Verwendung ungeprüfter Rohdaten der NLWKN-Pegel in Betracht gezogen werden, sofern diese Daten herausgegeben werden können.

5.3 Wasserentnahmen

Die Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung sind für die Jahre 2018 bis 2020 für den Landkreis Uelzen, als auch den Landkreis Lüneburg monatsweise vorliegend. Differenziert nach Einzelbrunnen, konnte aufgrund der Ortslage, die Entnahmemenge dem jeweiligen unterirdischen Einzugsgebiet (plus 500 m Puffer) zugeordnet werden.

Da für den Abschlussbericht [1] die monatliche Entnahmemenge nur über den Stromverbrauch überschlägig angenommen wurde, bestehen Differenzen zwischen den angesetzten und tatsächlichen Entnahmemengen für 2018.

6 Ergebnisse aus dem Messbetrieb

6.1 Groß Hesebeck

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Groß Hesebeck sind in Abbildung 30 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen der beiden Grundwassermessstellen und Wasserstände im Röbbelbach, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet des Röbbelbachs im Zeitraum von Mitte März 2018 bis Ende Mai 2021. Zusätzlich ist im unteren Diagramm die Abflussmenge des Pegels Klein Hesebeck, welcher Luftlinie rd. 1,4 km stromabwärts Richtung Südwesten liegt, mit dargestellt.

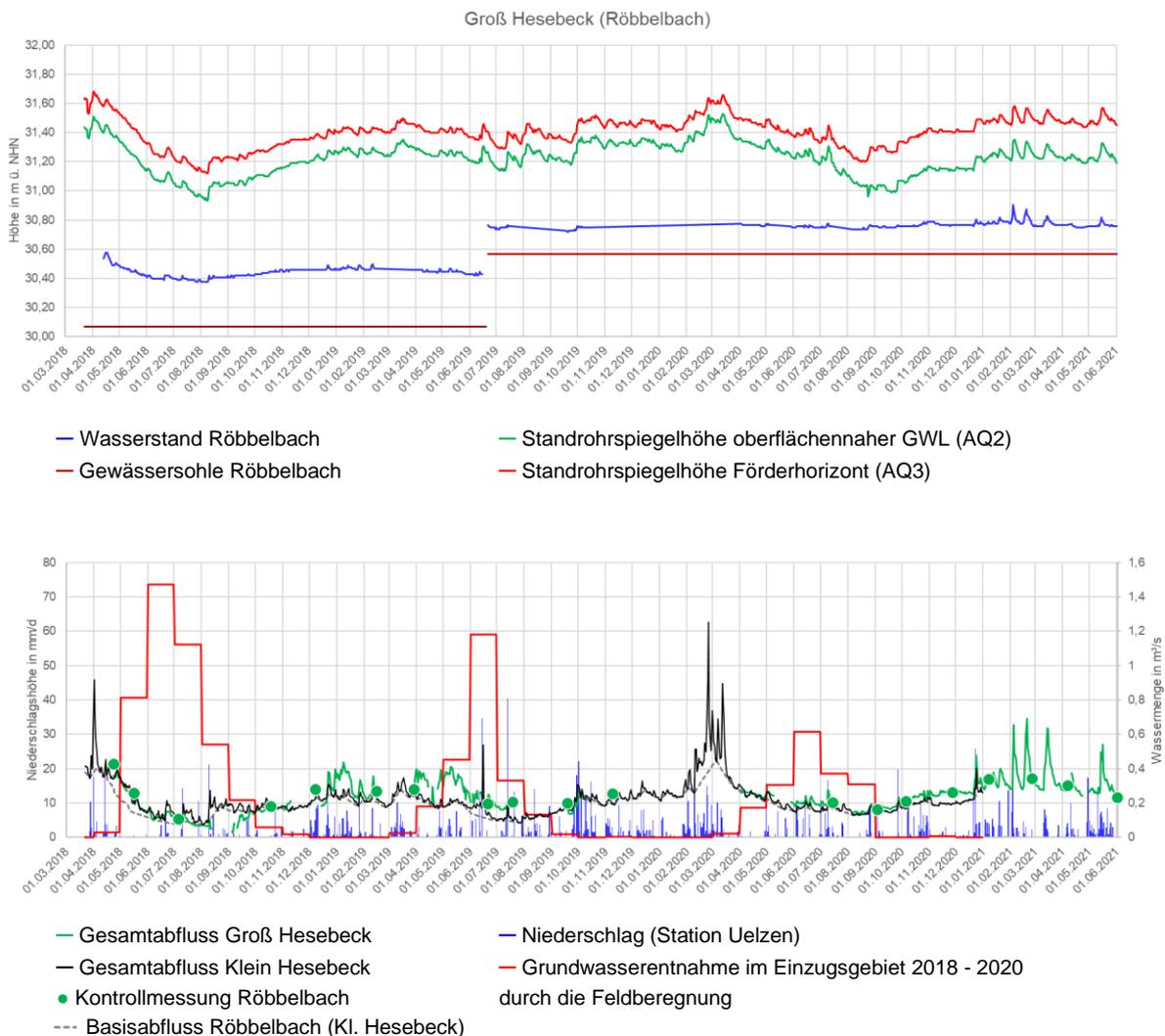


Abbildung 30: Ergebnisse der Messstellengruppe Groß Hesebeck

Zu beachten ist, dass die Abflussmessstelle im Juni 2019 um etwa 20 m verlegt wurde, woraus sich eine neue Sohlhöhe sowie eine andere Dynamik in den Wasserständen ergibt (vgl. Abbildung 30, Versatz im oberen Diagramm). Durch die ergänzende Darstellung des Pegels Klein

Hesebeck (schwarze Ganglinie) werden die unzureichenden Messbedingungen (zu großer Querschnitt angenommen, obwohl die Wassermengen am Rande über das ADCP nicht miterfasst werden) noch einmal verdeutlicht. Von Ende Dezember 2018 bis Ende Januar 2019 sowie zwischen Ende März bis zum Umbau Mitte Juni 2019 werden phasenweise am Pegel Groß Hesebeck deutlich größere Abflüsse gemessen, als am Vergleichspegel in Klein Hesebeck. Aus den Geländebegehungen ist bekannt, dass auf der Strecke zwischen den Pegeln, keine größeren Wassermengen abgeleitet bzw. entnommen werden, sodass der Abfluss am Pegel Groß Hesebeck ungefähr dem Abfluss am Pegel Klein Hesebeck entsprechen muss.

Nach dem Umbau der Messstelle Groß Hesebeck weisen sowohl die Kontrollmessungen, als auch die regelmäßigen Loggerdaten, geringere Differenzen zum Pegel Klein Hesebeck auf. Weiterhin bestehende Abweichungen können u.a. durch Messungenauigkeiten hervorgerufen werden, welche sich bei relativ hohen Fließgeschwindigkeiten und geringen Wasserständen ergeben. Beide Faktoren werden zusätzlich durch Wellenbildung im Messprofil beeinflusst. Nach Durchführung der Umbaumaßnahme am Pegel Groß Hesebeck konnte die messtechnische Erfassung der Abflussverhältnisse, aufgrund der vergleichsweise besseren Standortigenschaften (u.a. definierter Querschnitt), verbessert werden.

Die Phase im November / Dezember 2020, in der wiederum eine deutliche Abweichung zwischen den Ergebnissen an den Pegeln Groß Hesebeck und Klein Hesebeck besteht, kann möglicherweise durch eine unplausible Kontrollmessung (Ende November 2020) verursacht worden sein. Wie in Kap. 4.2 beschrieben, werden die Kontrollmessungen zur Kalibrierung der Loggerdaten verwendet.

Die detaillierte Betrachtung des Zeitraumes zwischen Oktober und Dezember 2020 (vgl. Abbildung 31) zeigt die Unterschiede der Datenreihen auf. Dargestellt ist neben dem Gesamt- und Basisabfluss am Pegel Klein Hesebeck (schwarze und grau gestrichelte Ganglinien) und dem kalibrierte Gesamtabfluss am Pegel Groß Hesebeck (grüne Ganglinie), auch der gemessene Gesamtabfluss am Pegel Groß Hesebeck (hellblaue Ganglinie). Die Kontrollmessung ist als grüner Punkt dargestellt. Am 27.11.2020 wurde durch die Kontrollmessung ein Abfluss von 0,263 m³/s ermittelt. Der am Pegel Klein Hesebeck Gesamtabfluss von 0,197 m³/s wurde um rd. 34 % überschätzt. Der gemessene Gesamtabfluss am Pegel Groß Hesebeck zeigt – auch vor und nach der Kontrollmessung am 27.11. 2020 – nur geringe Abweichungen zum Abfluss in Klein Hesebeck. Es ist davon auszugehen, dass durch Messungenauigkeiten, wie oben beschrieben, die Kontrollmessung den Abfluss nicht korrekt erfasst hat.

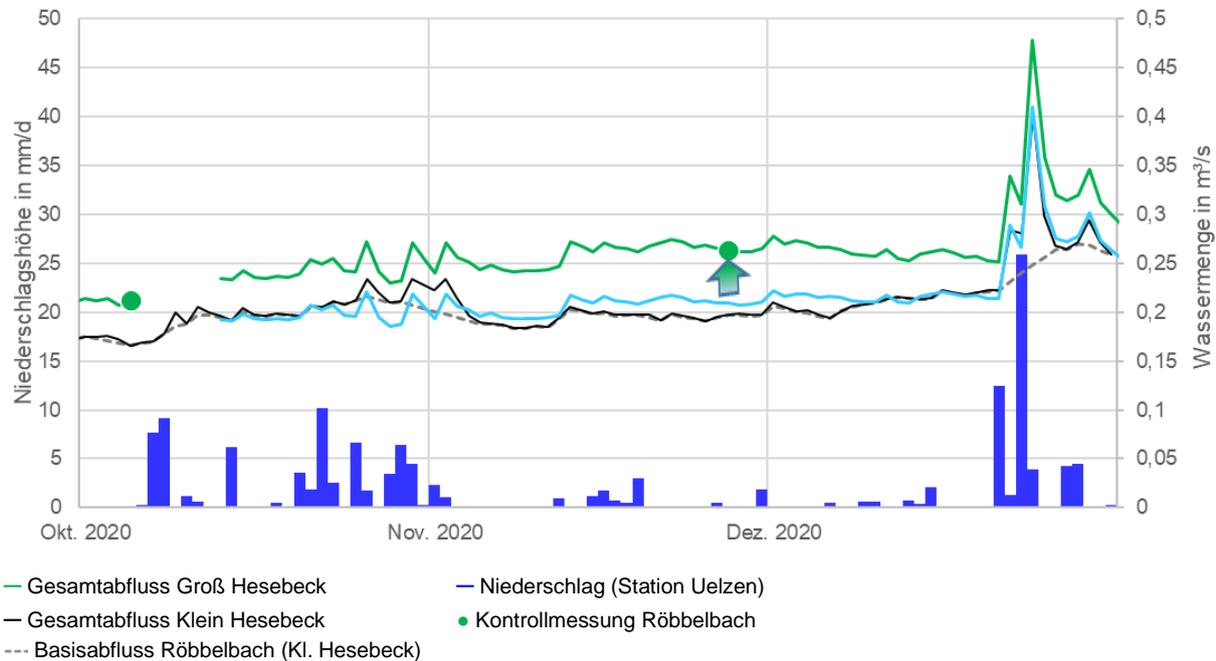


Abbildung 31: Detailbetrachtung der Messstellengruppe Groß Hesebeck von Oktober bis Dezember 2020

Die Ganglinien der beiden Grundwassermessstellen korrelieren stark miteinander (vgl. Abbildung 30, oberer Teil). Die Standrohrspiegelhöhe im Förderhorizont (AQ3) liegt in einem konstanten Abstand von 10 cm oberhalb des oberflächennahen Grundwasserleiters (AQ2). Die starke Korrelation zwischen den Messwerten zeigt, dass im Bereich der Messstelle kein hydraulisch wirksamer Hemmer vorhanden ist, obwohl in der Messstellenbohrung geringdurchlässige Schichten zwischen AQ2 und AQ3 angetroffen wurden. Unter Berücksichtigung benachbarter Bohrungen und dem hydrogeologischen Strukturmodell lässt sich festhalten, dass der Untergrund im Bereich Groß Hesebeck ausgesprochen komplex aufgebaut ist, da im Umfeld mehrere Hemmer in unterschiedlicher Tiefenlage vorkommen und dabei hydraulische Fensterstrukturen aufweisen.

Der Überdruck des AQ3 von 10 cm Wassersäule gegenüber dem AQ2 zeigt, dass in diesem Bereich eine aufwärts gerichtete Strömungskomponente existiert, die mit hoher Wahrscheinlichkeit den Röbbelbach speist. Diese Annahme wird durch das Abflussverhalten des Röbbelbachs gestützt, dessen Wasserstands- und Abflussganglinien, abgesehen von Abflussspitzen infolge von Niederschlag, einen sehr ähnlichen Verlauf nehmen. Dies ist besonders im Frühjahr 2021 als Reaktion auf die großen Niederschlagsmengen erkennbar (vgl. Abbildung 30).

Die Ganglinien zeigen keine starken Ausschläge, auch wenn aufgrund der großen Grundwasserentnahmen im Trockenjahr 2018 von einer förderbedingten Beeinflussung ausgegangen werden muss. Da in unmittelbarer Umgebung keine aktiv genutzten Beregnungsbrunnen existieren, setzen sich die förderbedingten Auswirkungen aus der summarischen Wirkung der wei-

ter entfernten Brunnen zusammen. Dieser Effekt wirkt wie eine gleichmäßige großflächige Absenkung mit längerer Reaktionszeit. Im Sommer 2019 sinken die Standrohrspiegelhöhen immer wieder phasenweise, aber nicht so stark, wie im Sommer 2018 ab.

Obwohl die Beregnungsmenge im Sommer 2020 mit ca. 4,77 Mio. m³/a rd. 25 % geringer als im Vorjahr 2019 (rd. 6,11 Mio. m³) und rd. 130 % geringer als im Sommer 2018 (rd. 11,3 Mio. m³) ist, fallen die Standrohrspiegelhöhen während der Beregnungsphase 2020 auf ein ähnlich geringes Niveau, wie 2018.

Da die monatliche Verteilung der Entnahmemengen jahresweise sehr individuell ist, sind auch die Entwicklungen der Standrohrspiegelhöhen jahresweise sehr unterschiedlich. Weiterhin ist die Niederschlagsentwicklung als Einflussfaktor mit zu berücksichtigen. Sowohl im Jahr 2019 als auch in 2020 wurden im Monat Juni die größten Entnahmemengen des jeweiligen Jahres erfasst. In 2020 wurden jedoch im Juli und besonders im August größere Entnahmemengen erfasst. Zusätzlich sind im August 2020 mit rd. 26 mm etwa die Hälfte der Niederschlagsmenge aus dem August 2019 gemessen worden (Aug. 2019: 50 mm) (vgl. Kapitel 2.4).

Auffällig ist, dass der Wiederanstieg der Abflussmengen im September 2018 (als auch im Sommer 2020) gegen Ende der Beregnungsperiode sehr rasch erfolgt, obwohl bedeutsame Niederschlagsmengen erst im Dezember 2018 auftreten (vgl. Kapitel 2.4). Dies lässt den Schluss zu, dass die förderbedingten Auswirkungen sowohl Komponenten mit langen, als auch mit kürzeren Reaktionszeiten besitzen.

6.2 Rosche

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Rosche sind in Abbildung 32 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen der beiden Grundwassermessstellen und Wasserstände in der Wipperau, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet der Wipperau im Zeitraum von Mitte März 2018 bis Ende Mai 2021.

Die Ganglinien der beiden Grundwassermessstellen korrelieren stark miteinander und zeigen einen deutlichen Fördereinfluss während der Beregnungsphasen. Die teils sehr starken Absenkungen der Standrohrspiegelhöhen im AQ3 in Folge der Grundwasserentnahmen sind in der flachen Grundwassermessstelle ebenfalls, allerdings gedämpfter, zu sehen. Ein Indikator für den Füllstand des Grundwasserspeichers sind die Standrohrspiegelhöhen im Frühjahr, jeweils bevor die Beregnungsperiode beginnt. Auffällig ist das hohe Niveau der Standrohrspiegelhöhen im März 2018, verglichen mit dem Niveau vom März 2019. Hier paust sich möglicherweise das sehr starke Neubildungs-Winterhalbjahr 2017 / 18 durch. Nach der Absenkung durch die Grundwasserentnahmen im Sommer 2018, haben die geringen Niederschläge im Winterhalbjahr und die daraus folgende reduzierte Grundwasserneubildung nicht ausgereicht, das Vorjahresniveau wieder zu erreichen (vgl. Kapitel 2.4). Dadurch beginnt die Beregnungsperiode 2019 mit weniger Grundwasser im System und die Standrohrspiegelhöhen unterschreiten im Sommer 2019 sogar die Werte des Trockenjahres 2018. Ab September 2019

erfahren die Standrohrspiegelhöhen einen stärkeren Anstieg, als im Herbst 2018. Auch aufgrund des extrem niederschlagsreichen Februars 2020 (vgl. Kapitel 2.4), liegen die Standrohrspiegelhöhen im Frühjahr 2020 oberhalb des Vorjahres 2019, erreichen jedoch nicht das Niveau vom Frühjahr 2018. Mit Beginn der Beregnung im Jahr 2020, ist phasenweise immer wieder ein sehr starkes Absinken der Standrohrspiegelhöhen von Mitte April bis Mitte Juli erkennbar. Ab Mitte Juli 2020 ist aufgrund des Anstiegs der Beregnung, bei den Standrohrspiegelhöhen der flachen Grundwassermessstelle als auch im AQ3, ein deutliches Fallen zu erkennen.

Im Jahr 2020 fiel die Beregnungsmenge mit 2,32 Mio. m³ im Vergleich zu den beiden Vorjahren 2018 (6,18 Mio. m³) und 2019 (3,24 Mio. m³) geringer aus. Außerdem ist zu erkennen, dass sich die Aufteilung der Beregnungsmengen auf die einzelnen Monate, aufgrund der jahresspezifischen Niederschlagsverteilung, jahresweise deutlich unterscheidet. Dabei ist auffällig, dass trotz der Gesamtdifferenz von 0,92 Mio. m³ der Beregnungsmengen zwischen 2020 und 2019 die minimale Standrohrspiegelhöhe im Sommer 2020 in der flachen Grundwassermessstelle nur 2 cm höher lag als im Sommer 2019 und im Förderhorizont (AQ3) 3 cm unterhalb des Wertes aus dem Vorjahr. Im August 2020 wurden jedoch noch rd. 110 % mehr Wasser für die Beregnung entnommen, als im August 2019. Zusätzlich sind die Niederschlagsmengen im August 2019 (rd. 50 mm) um den Faktor 2 größer, als im August 2020 (rd. 26 mm) (vgl. Kapitel 2.4).

Die Wasserstandsganglinie der Wipperau unterliegt hingegen kaum Schwankungen und zeigt – bis auf den Februar 2021 – keine Korrelationen zu den Grundwasserstandsganglinien. Gleichwohl zeigen sich dieselben saisonalen Ausprägungen; so steigt der Wasserstand nach den Beregnungsperioden 2018 bis 2020 nur unwesentlich wieder an. Im Juli 2019 erreicht der Wasserstand der Wipperau seinen Tiefstand.

Die Ergebnisse der Messstellenbohrung zeigt, dass die Umgebung der Messstellen von einem mächtigen Hemmer (Geschiebemergel) geprägt ist, und ein oberflächennaher Grundwasserleiter (AQ2) de facto nicht existiert [1]. Bereits die Auswertungen bis August 2019 zeigten, dass die geringmächtige Sandschicht, in der die flache Grundwassermessstelle verfiltert ist, stärker mit dem Förderhorizont (AQ3) zu interagieren scheint (Ganglinienkorrelation), als mit dem Oberflächengewässer. Die Auswertung des fortgeführten Berichtszeitraums bis Ende Mai 2021 bestätigt diese Beobachtungen.

Aus den Ganglinien zwischen März 2018 und Ende Mai 2021 und der Bohrbefunde der Messstellenbohrung kann geschlossen werden, dass die Wipperau im Bereich Rosche kaum mit dem Grundwasser interagiert, sondern über die geringdurchlässige Schicht aus Geschiebemergel hinwegfließt.

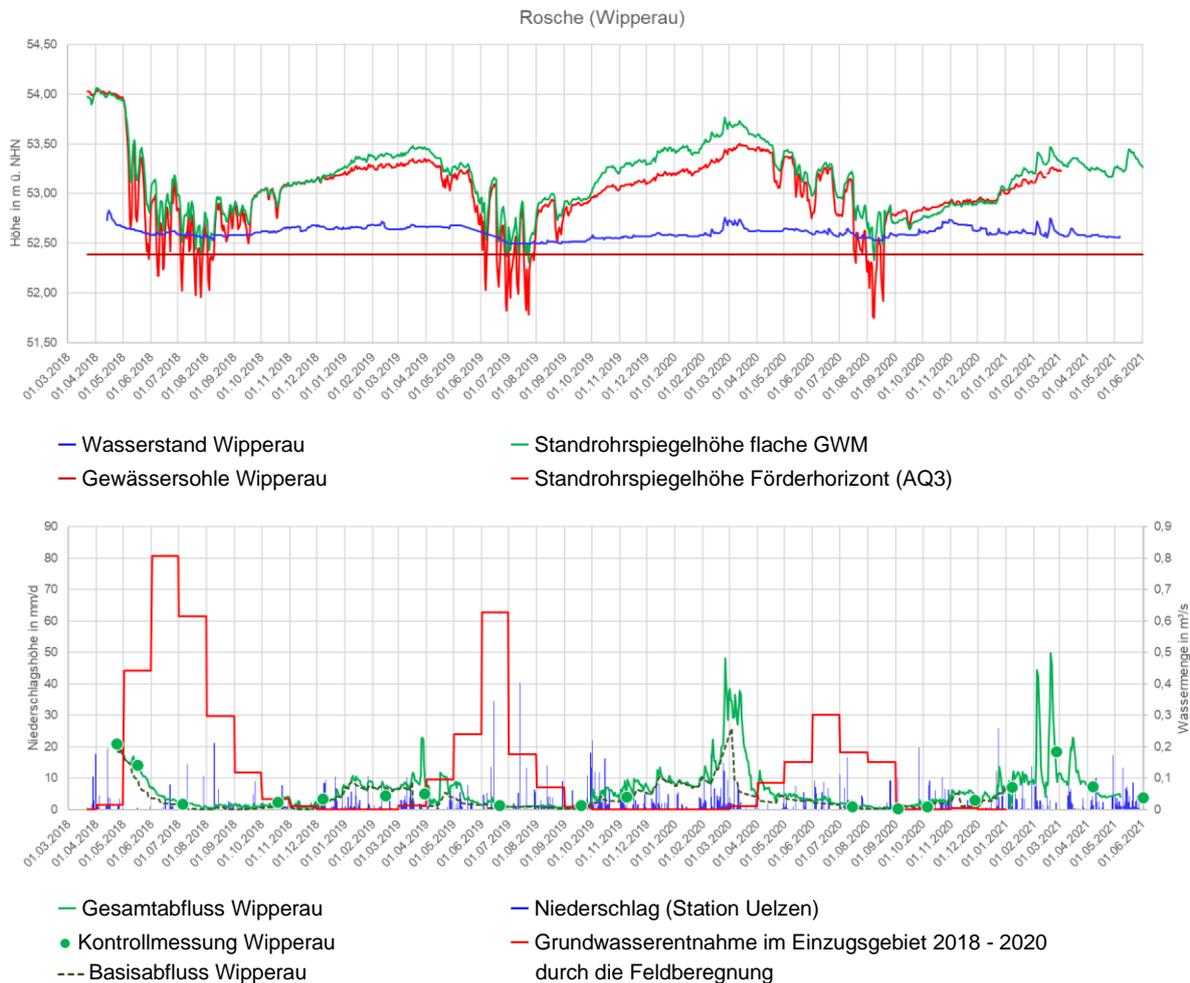


Abbildung 32: Ergebnisse der Messstellengruppe Rosche

6.3 Emern

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Emern sind in Abbildung 33 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen der beiden Grundwassermessstellen und Wasserstände der Esterau, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet der Esterau im Zeitraum von Mitte März 2018 bis Ende Mai 2021.

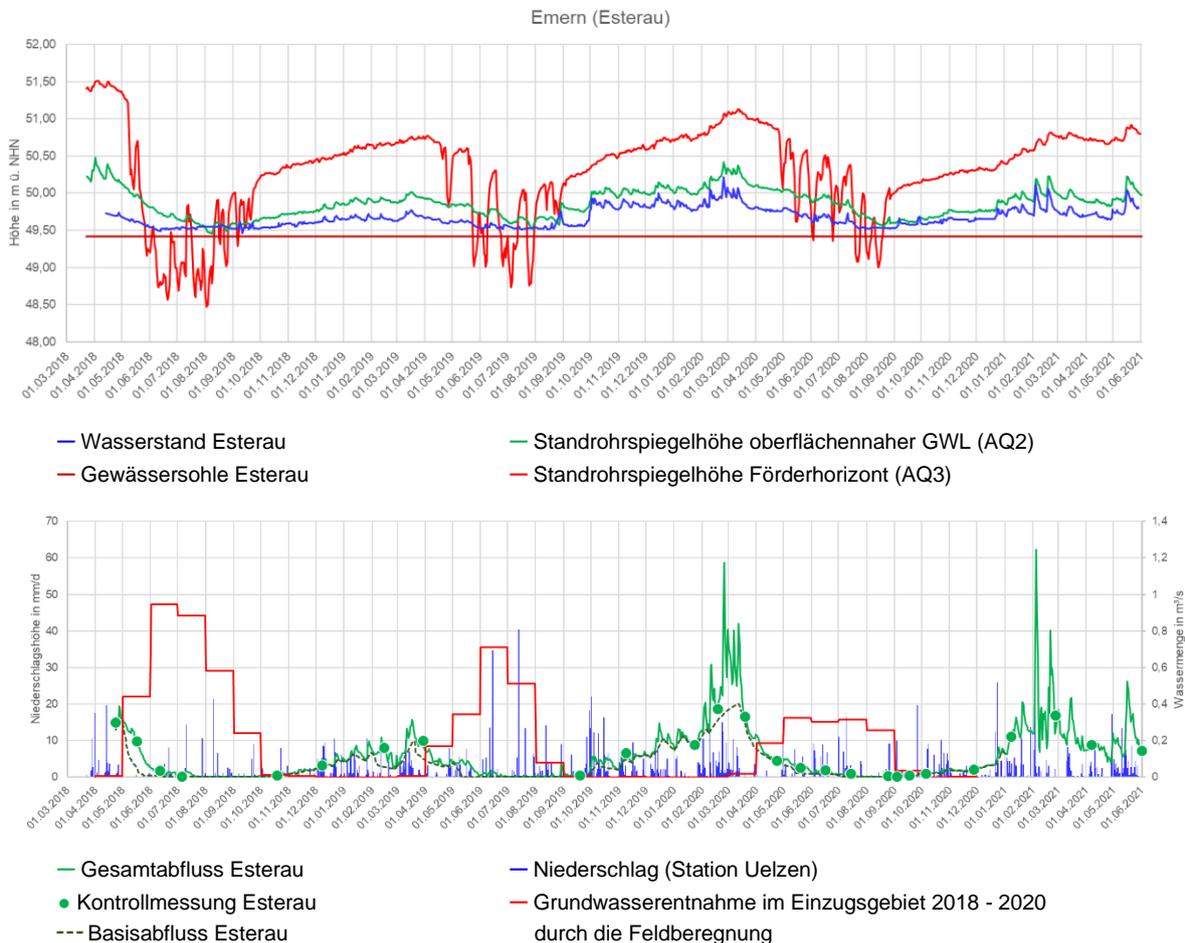


Abbildung 33: Ergebnisse der Messstellengruppe Emern

Die Grundwasserganglinien des Förderhorizontes (AQ3) und des oberflächennahen Grundwasserleiters (AQ2) verlaufen unterschiedlich, was einen hydraulisch wirksamen Hemmer als Trennschicht belegt, wie er auch in der Messstellenbohrung angetroffen wurde [1]. Die Standrohrspiegelhöhe des AQ2 korrespondiert vielmehr mit dem Wasserstand der Esterau, was auf einen guten hydraulischen Kontakt zwischen Gewässer und oberflächennahen Grundwasser hindeutet. Während der Beregnungsperioden kommt es zu starken Absenkungen der Standrohrspiegelhöhen im AQ3. Im näheren Umfeld der Messstelle befinden sich gleich mehrere Beregnungsbrunnen. Im AQ2 lassen sich diese Absenkungen bei genauer Betrachtung zumindest qualitativ erkennen, wenn auch in stark gedämpfter Ausprägung.

Nach der Beregnungsperiode 2019 erfahren die Standrohrspiegelhöhen im Herbst / Winter 2019 / 2020 bis zum März 2020 einen deutlichen Anstieg. Besonders aufgrund des niederschlagsreichen Februars 2020 (vgl. Kapitel 2.4), befinden sich die Standrohrspiegelhöhen bei der Grundwassermessstellen auf einem höheren Niveau, als im Vorjahr 2019, erreichen jedoch nicht das Niveau vom Frühjahr 2018.

Die Absenkung der Standrohrspiegelhöhen des AQ3 ist, aufgrund der unterschiedlichen Beregnungsmengen und der jahresspezifischen Monatsverteilung, zwischen 2018 und 2020 jahresweise individuell ausgeprägt. Im Jahr 2018 ist die Absenkung im AQ3 am deutlichsten und rd. einen Monat länger erkennbar als in den nachfolgenden Jahren 2019 und 2020. Die Beregnungsmenge war mit ca. 8,23 Mio. m³ rd. 40 % bzw. 54 % höher als in 2019 (ca. 4,8 Mio. m³) und 2020 (ca. 3,8 Mio. m³).

Auffällig am Abflussverhalten der Esterau ist die große Dynamik und damit die Amplitude der gemessenen Abflussmengen. Während im Winter teilweise Mengen von > 0,3 m³/s erreicht wurden, fiel die Esterau sowohl im Sommer 2018 als auch im Sommer 2019 für mehrere Wochen trocken. Im Sommer 2020 ist ebenso nahezu ein Trockenfallen erfasst worden. Besonders im Frühjahr 2020 und 2021, fielen aufgrund der großen Niederschlagsmengen (vgl. Kapitel 2.4), auch die Abflussmengen entsprechend höher aus. Die Abflussspitzen erreichten Werte von > 0,8 m³/s und sinken nach Erreichen des Peaks in relativ kurzer Zeit wieder ab. Diese Dynamik weist darauf hin, dass die Esterau vornehmlich den oberflächennahen Grundwasserleiter entwässert, welcher ein relativ kleines Reservoir mit kurzen Aufenthalts- und Reaktionszeiten darstellt.

6.4 Oedeme

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Oedeme sind in Abbildung 34 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen der drei Grundwassermessstellen und Wasserstände des Hasenburger Mühlenbachs, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet des Hasenburger Mühlenbachs im Zeitraum von Januar bzw. Oktober 2020 bis Ende Mai 2021.

In den Grundwassermessstellen, welche im AQ2, AQ5 und AQ6 verfiltert sind, sind am 14. Juli 2020 Datenlogger eingesetzt worden, welche nachfolgend die Standrohrspiegelhöhen erfassen. Bis dahin sind die Standrohrspiegelhöhen über monatliche Stichtagsmessungen erfasst worden. Der Messstellenausbau im Hasenburger Mühlenbach erfolgte erst Ende November. Die Abflüsse zwischen dem 05.10.2020 und dem 26.11.2020 wurden über die Messung der Wasserstände mittels Drucklogger und der W-Q-Beziehung bzw. der Schlüsselkurve berechnet (vgl. Kap. 4.2).

Die Ganglinien der beiden tiefen Grundwassermessstellen (lila und rot), welche im AQ5/6 verfiltert sind, korrespondieren stark miteinander und zeigen einen deutlichen Fördereinfluss während der Beregnungsphase 2020 (Entnahmemenge 2020: 2,15 Mio. m³). Die Standrohrspiegelhöhe, der im oberflächennahen Grundwasserleiter AQ2 verfilterten Messstelle, korreliert dahingegen nicht mit denen der beiden tieferen Messstellen. Auch eine eindeutige Korrelation zum Wasserstand des Hasenburger Mühlenbachs ist nicht gegeben. Die Reaktionen des Wasserstandes sind nur sehr gedämpft in der Ganglinie des AQ2 erkennbar.

Auffällig ist der große Versatz des Wasserstandes Anfang November 2020 von rd. 40 cm. Dies kann auf die Mahd der Gewässerpflanzen als Gewässerunterhaltungsmaßnahme, zur Gewährleistung des Abflusses, zurückgeführt werden.

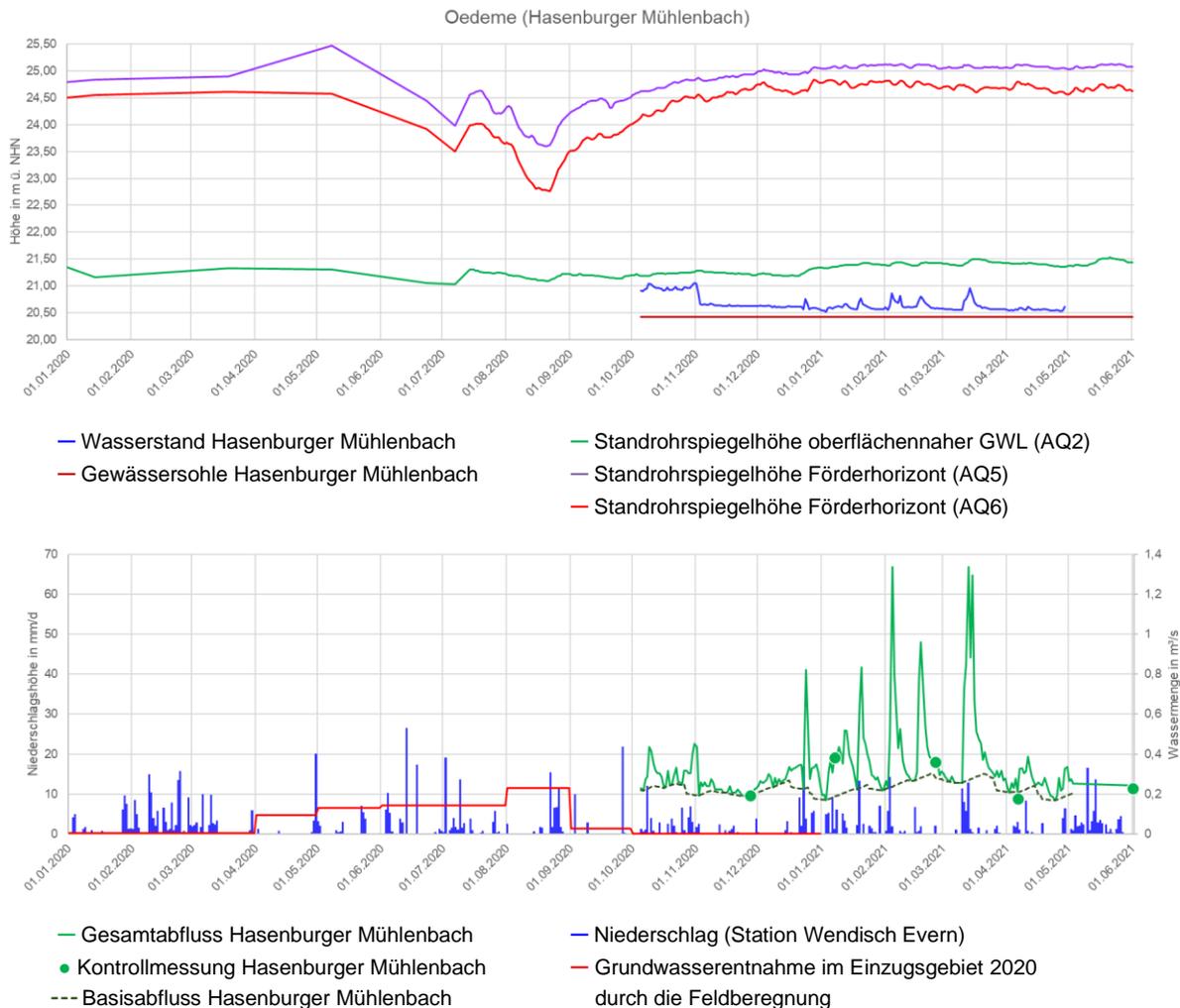


Abbildung 34: Ergebnisse der Messstellengruppe Oedeme

Auffällig am Abflussverhalten des Hasenburger Mühlenbachs ist die große Dynamik und damit die Amplitude der gemessenen Abflussmengen. Der Abfluss schwankt zwischen rd. $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ und – mit Reaktion auf Niederschlagsmengen – $> 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Ein Trockenfallen im Sommer 2021 wurde nicht beobachtet, da mit Zunahme des Pflanzenbewuchses unterstrom der Messstelle, der Rückstau im Frühjahr / Sommer zunimmt.

Aufgrund der kurzen Zeitreihen der Grund- und Oberflächenwasserstände, als auch des zeitlichen Versatzes zur Beregnungsperiode 2020, können abschließend noch keine abschließenden Aussagen über das Verhalten und die Zusammenhänge der Grundwasserspeicher bzw. des Systems im Bereich des Standortes Oedeme getroffen werden.

Die zusätzlich durchgeführte Abfluss-Stichtagsmessung am 05.10.2020 im Einzugsgebiet von Oedeme ist in Abbildung 35 dargestellt. Der Gesamtabfluss am Stichtag kann aufgrund der vorangegangenen Witterungsverhältnisse näherungsweise als Basisabfluss angenommen

werden. Es wird deutlich, in welchen Gewässerabschnitten die Zuströme aus dem Grundwasser stattfinden.

Es zeigt sich, dass die größten Grundwasserzutritte zwischen Oerzen bzw. Südergellersen (Graben) und südlichen Heiligenthal stattfinden. Im von Westen kommenden Osterbach, wurde in Böhmsholz hingegen keine Strömung festgestellt. Die von Norden (Kranker Heinrich) und im Osten (Oelze Bach) in den Hasenburger Mühlenbach mündenden Gewässer, sind nur geringe Wassermengen erfasst worden.

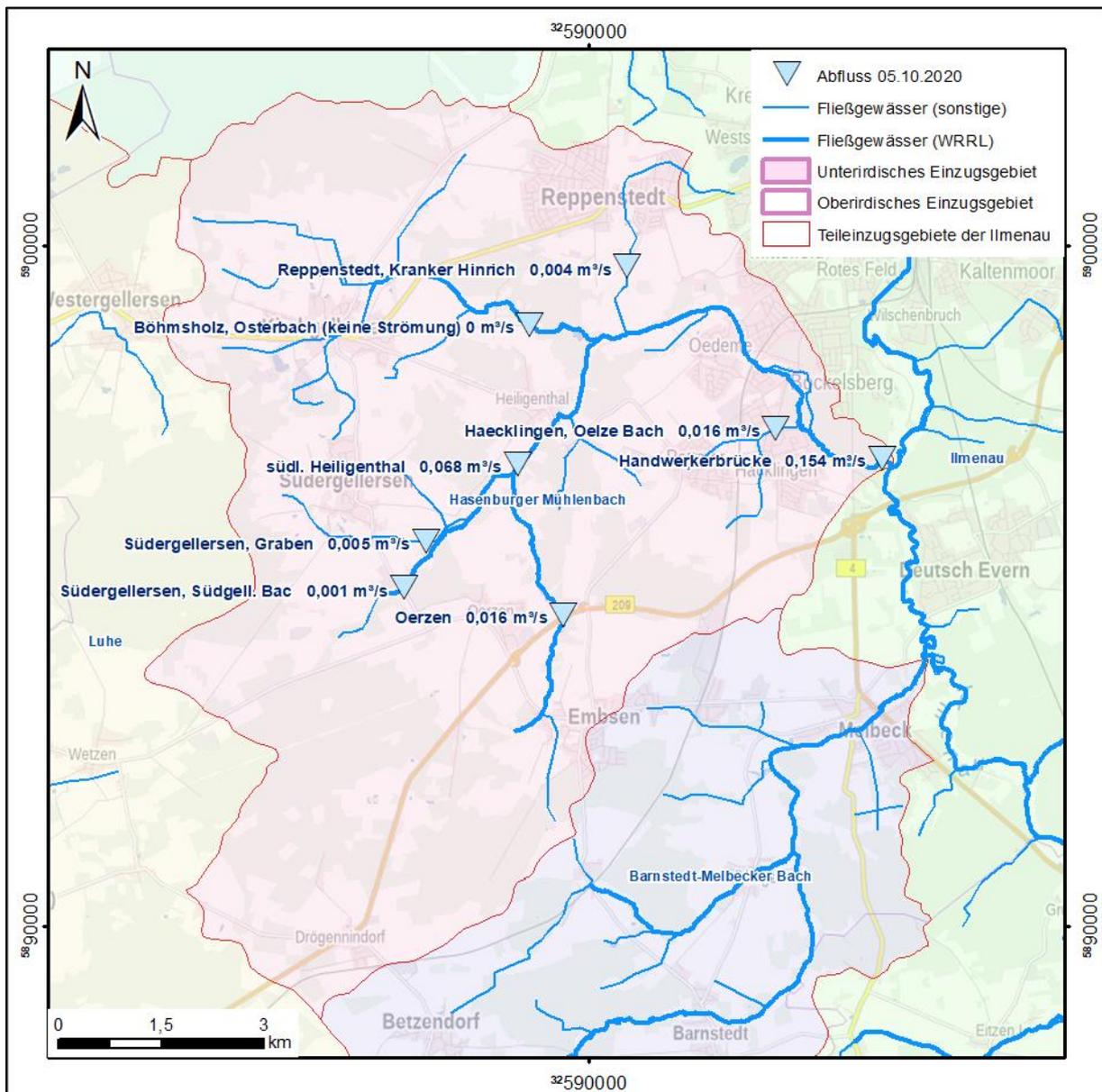


Abbildung 35: Abfluss-Stichtagsmessung Hasenburger Mühlenbach

6.5 Zwischenfazit Monitoring-System

Die Kombination von Pegelmessstelle (Wasserstands- und Abflussverhalten im Gewässer) und Grundwasserdoppel- bzw. -dreifachmessstelle (Standrohrspiegelhöhen) stellt in Verbindung mit weiteren Daten (Grundwasserentnahme im Einzugsgebiet und Niederschlägen) die Grundlage dar, das jeweilige System an den vier Standorten zu beschreiben und die Zusammenhänge grundlegend zu verstehen.

Um das Monitoringsystem als funktionsfähiges Entscheidungs- und Unterstützungssystem zu nutzen, bedarf es jedoch längere Zeitreihen über mehrere Jahre, die nicht nur Trockenjahre beinhalten. Die aktuelle Datengrundlage zeigt mit drei aufeinanderfolgende Trockenjahre, bedingt durch die innerjährliche Verteilung der Niederschläge, bereits eine hohe Variabilität der Entnahmemenge (Gesamtentnahmemenge und jahresspezifische Monatsverteilung).

Die zeitnahe Bereitstellung der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung vor Beginn der Modellberechnung ist essentiell, um für das Folgejahr Empfehlungen zu geben und ein adäquates Entscheidungs- und Unterstützungssystem aufzubauen.

Das eingesetzte Monitoringsystem stellt sich, sowohl im laufenden Messbetrieb, als auch in der nachträglichen Verarbeitung der Daten, insgesamt als pflegeintensiver dar als erhofft. Es ist für die kontinuierliche Messung von Standrohrspiegelhöhen in den Grundwassermessstellen sowie Abflüssen und Wasserständen in den Fließgewässern trotz der benannten Einschränkungen gut geeignet.

7 Entscheidungs- und Unterstützungssystem

Neben dem dargestellten Monitoring-Ansatz wird ein ergänzendes Entscheidungs- und Unterstützungssystem verwendet. Dieses System basiert auf einem numerischen Grundwasserströmungsmodell, welches den Landkreis Uelzen sowie Teile der Landkreise Lüneburg, Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Celle, Heidekreis und Harburg abbildet. Die aus dem Betrieb des Monitorings gewonnenen Erkenntnisse sollen mit dem Grundwassermodell nachvollzogen werden, was die Vorstellung über die Wirkungszusammenhänge zwischen Grundwasserentnahmen, Standrohrspiegelhöhen und grundwasserbürtigen Basisabflüssen weiter verbessert. Wenn diese Zusammenhänge im Modell umgesetzt worden sind, können daraus Szenarien zur Auswirkungsprognose von Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung bei unterschiedlichen Füllständen des Grundwasserspeichers berechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass dies als ein iterativer Prozess zu sehen ist, in dem die jährlich gewonnenen Datenreihen der Messwerte mit dem Grundwassermodell nachgebildet werden, um eine Vielzahl an Systemzuständen von Grundwasserdargebot, Feldberechnung und dem daraus resultierenden Systemverhalten zu generieren.

Die Zielsetzung des Grundwasserströmungsmodells kann in den folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Werkzeug zur Überwachung und Bewertung der Auswirkungen, welche durch (zukünftig veränderte) Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung auf den Grundwasserhaushalt und damit auf nach EU-WRRL relevante Schutzgüter eintreten (Grundwassermonitoring).
- Werkzeug zur Quantifizierung des für die folgende Berechnungsperiode zur Verfügung stehenden Grundwasserdargebots und der damit einhergehenden mengenmäßigen und räumlichen Bewertung der Berechnungsmöglichkeiten, basierend auf den im Rahmen des Monitorings gewonnenen Ergebnissen.

Um das numerische Grundwasserströmungsmodell für die genannten Anwendungen einsetzen zu können, muss das Modell nach DVGW W 107 [12] den Status eines Aquifersimulators aufweisen.

Aus der bisherigen Kalibrierung und Anwendung des Modells in [13] und [1] kann dieses Kriterium als erfüllt angesehen werden.

Die Beschreibung der Datengrundlagen des Grundwassermodells, das Modellierungskonzept, der Aufbau, sowie die verschiedenen Schritte der Kalibrierung sollen nachfolgend kurz zusammenfassend erläutert werden. Detaillierte Beschreibungen der bisherigen Bearbeitung und der angewandten Methoden sind in [13] dokumentiert.

7.1 Aufbau Grundwassermodell

Für das abgegrenzte Modellgebiet wurde ein dreidimensionales, numerisches Grundwasserströmungsmodell mit der Software *FEFLOW*® 7.2 aufgebaut [14]. Das Grundwassermodell

bildet „freie“ („phreatische“) Grundwasserverhältnisse an der Grundwasseroberfläche ab, sofern entsprechende Verhältnisse vorliegen (keine Überdeckung durch Grundwasserhemmer).

Entsprechend der Beschreibungen in [13] ist das Modell anhand gemessener Standrohrspiegelhöhen für den Zeitraum Januar 2008 bis einschließlich März 2018 an 249 Grundwassermessstellen stationär und instationär kalibriert bzw. verifiziert worden. Im Anschluss erfolgte eine instationäre Modellkalibrierung für den Zeitraum von April 2018 bis März 2019, welche in [1] dokumentiert ist. Nach Abschluss dieser weiterführenden Kalibrierung sind mit dem Grundwassermodell instationäre Variantenuntersuchungen durchgeführt worden.

Im Nachgang der Bearbeitung in [1] musste das Modellnetz und damit das gesamte Grundwassermodell neu aufgebaut werden. Die Ursachen dafür sind:

- eine Datenabfrage innerhalb der Mitglieder der Dachverbände Feldberegnung Lüneburg und Uelzen zeigte, dass Beregnungsbrunnen vorliegen, welche bisher noch nicht im Modellnetz berücksichtigt wurden
und
- eine weitere Datenabfrage zur Präzisierung der Entnahmen in den umliegenden Landkreisen zeigte, dass dort Entnahmebrunnen ebenfalls vorliegen, welche im Modellnetz zu berücksichtigen sind.

Um die fehlenden Beregnungsbrunnen und Entnahmen Dritter in den umliegenden Landkreisen lagertreu in das Modell aufzunehmen, ist das Modellnetz neu aufgebaut worden. Alle bisherigen Belegungen von Modellparametern und -randbedingungen sind aus dem bestehenden in das neu aufgebaute Grundwassermodell übernommen worden (vgl. Kap. 7.1 in [1]).

Aufgrund von zwischenzeitlich präzisierten sowie neu gewonnenen Datengrundlagen ist das Modell zusätzlich in den folgenden Punkten angepasst bzw. erweitert worden:

- die Verbreitung des oberen Glimmertons (hydrostratigraphische Einheit H5, vgl. Abbildung 4) ist nun als separater Layer in das numerische Grundwassermodell aufgenommen worden.
- Zur Beschreibung der Grundwasserneubildung ist für die bisherigen Modelluntersuchungen der Datensatz nach mGROWA verwendet worden. Seit Juni 2019 sind Ergebnisse der Berechnung mit dem neuen Grundwasserhaushaltsmodell mGROWA18 verfügbar [17]. Diese wurden als Grundlage für den Neuaufbau des Grundwassermodells verwendet.
- die bisher angenommenen Grundwasserentnahmen für das Jahr 2018 (vgl. [1]) wurden von den Dachverbänden Feldberegnung Lüneburg und Uelzen als reale Entnahmen zur Verfügung gestellt.
- Durch Abfrage von Informationen bei lokalen und regionalen Wasserversorgern ist der Datensatz zur Modellkalibrierung um insgesamt weitere 90 Grundwassermessstellen angewachsen (vgl. Kap. 2.7).

Das dreidimensionale numerische Grundwasserströmungsmodell ist ein großskaliges Regionalmodell mit einer Gesamtfläche von rd. 3.828 km² und beinhaltet die hier betrachteten Landkreise Uelzen und Lüneburg sowie das Stadtgebiet Lüneburg (vgl. Abbildung 36). Die generelle Gebietsausdehnung blieb durch den Neuaufbau des Modells unverändert.

Aufgrund der neu zu implementierenden Grundwasserentnahmen sowie zusätzlicher Verfeinerungen entlang einiger Fließgewässer ist das horizontale Diskretisierungsnetz gegenüber der Beschreibung in [1] vergleichsweise dichter geworden. Es besteht pro Knotenschicht (Slice) aus insgesamt 295.506 Netzknoten bzw. pro Modellschicht (Layer) aus 588.210 Elementen. Die hydrogeologische Modellvorstellung (vgl. Kap. 2.3) wird im numerischen Grundwassermodell anhand von insgesamt 13 Schichten abgebildet (vgl. Abbildung 4). Daraus ergeben sich für das Gesamtmodell 4.137.084 Knoten und 7.646.730 Elemente.

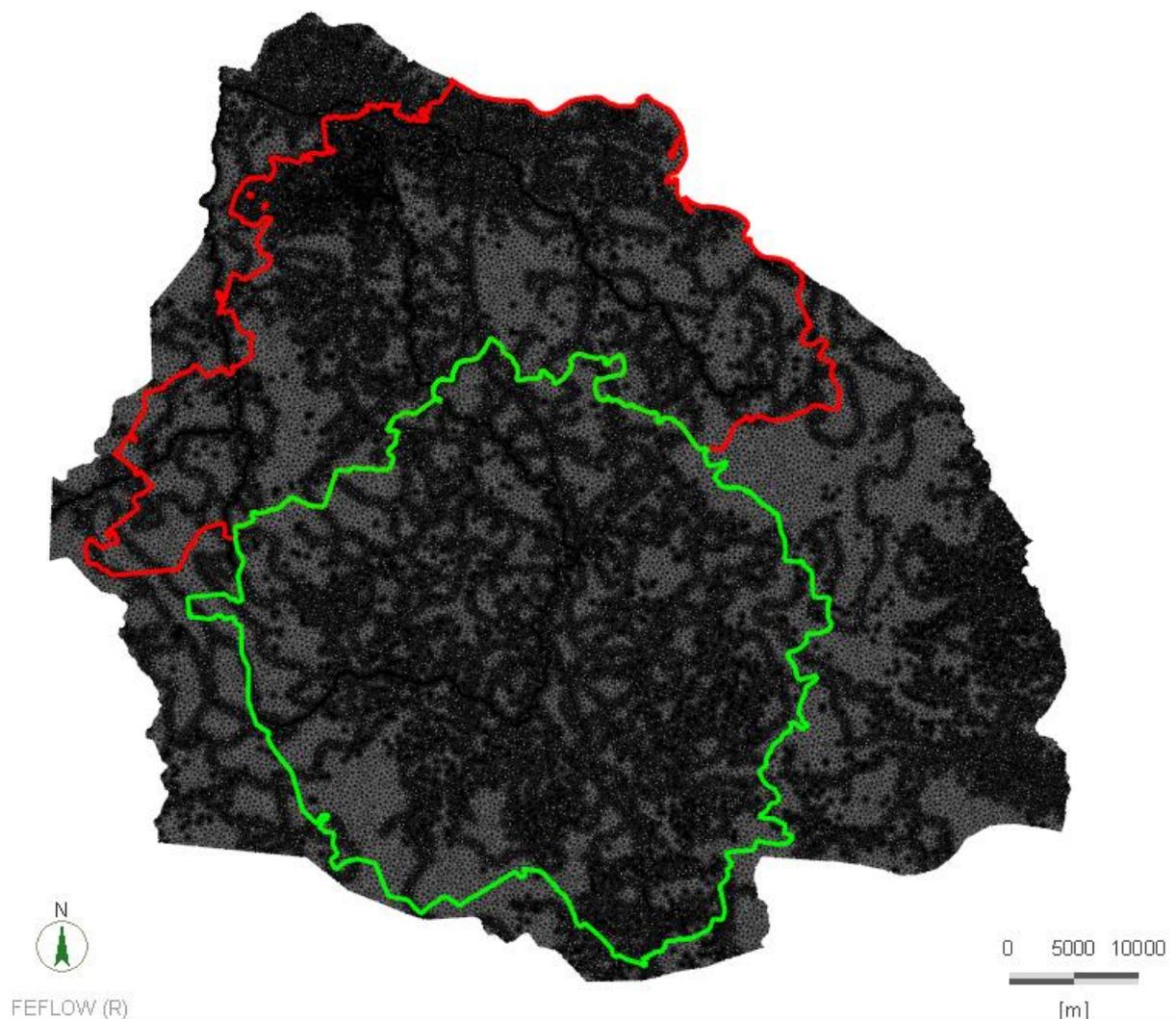


Abbildung 36: Modellnetz mit LK Uelzen (hellgrün) und LK Lüneburg (rot, dargestellt nur der Bereich innerhalb des Modellgebiets)

7.2 Kalibrierung und Verifizierung des numerischen Modells

7.2.1 Stationäre Modellkalibrierung

Die stationäre Kalibrierung des Modells wurde für den Zeitraum 2008 bis 2012 durchgeführt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da er einen näherungsweise mittleren Grundwasserströmungszustand abbildet und über eine ausreichende Datendichte aller relevanten Eingangsdaten verfügt (vgl. [13]).

Die Kalibrierung wurde anhand von Monatsmittelwerten der gemessenen Standrohrspiegelhöhen von 347 Grundwassermessstellen sowie Monatsmittelwerten der nach WUNDT ausgewerteten Basisabflüsse von elf Oberflächengewässerpegeln durchgeführt (vgl. Kap. 2.7 u. 2.9).

Zur Kalibrierung wurden die Modellparameter hydraulische Leitfähigkeit, Anisotropie der hydraulischen Leitfähigkeit, Transferraten (Leakagefaktoren) an den Oberflächengewässern sowie die Grundwasserneubildung in plausiblen Größenordnungen variiert.

Das Grundwassermodell kann mit einer guten Wiedergabetreue und einer ausgeglichenen Wasserhaushaltsbilanz als stationär hinreichend genau kalibriert bezeichnet werden kann.

7.2.2 Instationäre Modellkalibrierung / Sensitivitätsanalyse / Modelltest

Mit dem numerischen Grundwassermodell in seinem in [1] beschriebenen Zustand konnte anhand von instationären Modellkalibrierungen für die Zeiträume vom 01.01.2012 bis 31.12.2016 und 01.04.2018 bis 31.03.2019 sowie einem instationären Modelltest für den Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 31.03.2018 gezeigt werden, dass das Grundwassermodell in der Lage ist, unterschiedliche Systemzustände nachzubilden (vgl. Kap. 7.2 in [1] sowie [13]).

Zusätzlich sind die aus der stationären Modellkalibrierung abgeleiteten Modellparameter hydraulische Leitfähigkeit der Grundwasserleiter u. -stauer, Transferraten der Oberflächengewässer und Grundwasserneubildung mittels einer Sensitivitätsanalyse verifiziert worden (vgl. [13]).

Aufgrund der in Kap. 7.1 beschrieben, notwendigen Anpassungen am Modellnetz zur Implementierung zusätzlicher Grundwasserentnahmen ist das Grundwassermodell neu aufgebaut worden. Mit dem neu aufgebauten Grundwassermodell konnte aus zeitlichen Gründen bisher nur, wie in Kap. 7.2.1 beschrieben, eine stationäre Modellkalibrierung durchgeführt werden. Nach Abschluss der stationären Modellkalibrierung zeigte ein Vergleich der Modellanpassungen der stationären Kalibrierung von bisherigem und neu aufgebautem Modell nicht nur eine Bestätigung, sondern auch eine Verbesserung der Anpassungsgüte.

Die ursprüngliche instationäre Kalibrierung des Zeitraums vom 01.01.2012 bis 31.12.2016 wurde mit dem neu aufgebauten Modell bisher noch nicht wiederholt. Aufgrund der mit der stationären Kalibrierung erzielten Anpassungsgüte sowie der Ergebnisse der im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung durchgeführten instationären Modellkalibrierung für den Zeitraum vom 01.04.2018 bis zum 31.03.2021, kann davon ausgegangen werden, dass das Modell das Kriterium erfüllt verschiedene Systemzustände hinreichend genau abbilden zu können.

7.3 Modellberechnung für den Zeitraum April 2018 bis April 2021

Mit dem kalibrierten und verifizierten Grundwasserströmungsmodell wurden für den Zeitraum vom 01.04.2018 bis 31.03.2021 instationäre Berechnungen durchgeführt. Der Zeitraum erweitert den in [1] gewählten Zeitraum bis zum 31.03.2019 somit um zwei weitere Jahre. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da er:

- direkt an die bestehenden Modelluntersuchungen, inkl. des Abschluss der Grundwasserneubildungsphase im Frühjahr 2019 und des zu diesem Zeitpunkt vorliegende Füllstand des Aquifersystems, anknüpft
und
- die gesamte Berechnungsperiode der Jahre 2019 und 2020 sowie das anschließende Auffüllen des Aquifersystems im Winter 2020/21 bis zu Beginn der Berechnungsperiode abbildet.

Die räumliche Betrachtung der Auswirkungen erfolgte für die drei definierten Pilotgebiete zusätzlich eines „Puffer-Bereichs“ von 1.500 m (vgl. Kap. 3.2 u. Abbildung 37).

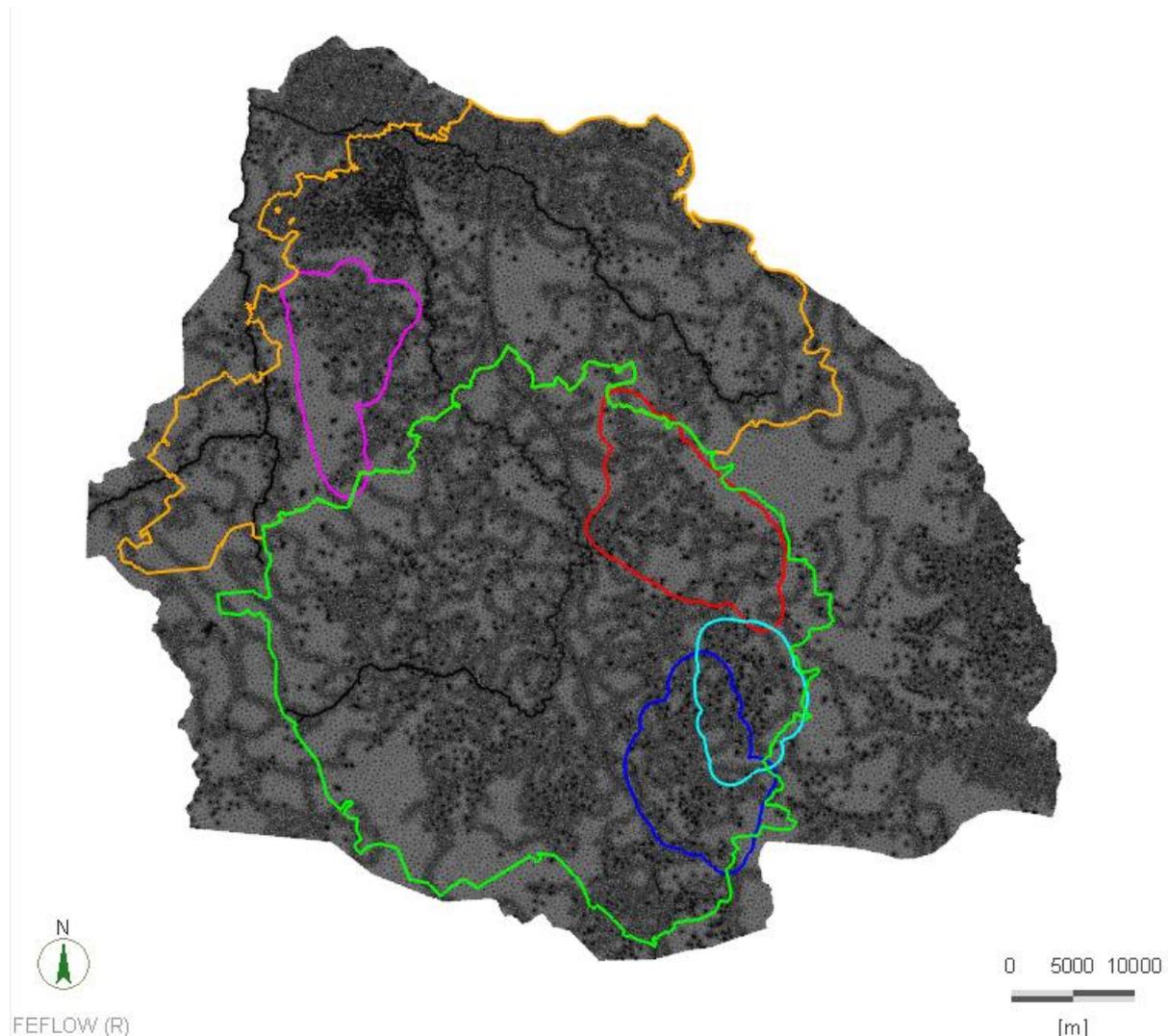


Abbildung 37: Modellnetz mit den drei Pilotgebieten mit einem Puffer von 1500m (Groß He-sebeck: rot, Emern: dunkelblau, Rosche: hellblau) im LK Uelzen (hellgrün) sowie dem neuen Pilotgebiet Oedeme (pink) im LK Lüneburg (orange)

Um den genannten Zeitraum mit dem Grundwassermodell berechnen zu können, waren zunächst die zeitlich variablen Randbedingungen der Grundwasserentnahmen, der Wasserstände in den Oberflächengewässern sowie der Grundwasserneubildung im Modell bis zum 31.03.2021 fortzuschreiben. Alle übrigen Randbedingungen und Modellparameter sind mit den Werten der stationären Modellkalibrierung übernommen worden.

Anschließend erfolgte eine instationäre Kalibrierung des Modells. Aufgrund der Anpassungen einiger Modellinhalte (vgl. Kap. 7.1) ist der in [1] kalibrierte Zeitraum neu berechnet worden. Es zeigte sich, dass aufgrund der beschriebenen Anpassungen für diesen Zeitbereich eine Nachkalibrierung durchgeführt werden musste, was zu einer Veränderung der erzielten Ergebnisse geführt hat.

Die Zielgrößen der Modellkalibrierung sind weiterhin die messwertbasierten monatlichen Mittelwerte der Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen sowie die nach WITTENBERG ausgewerteten Basisabflüsse an Oberflächengewässerpegeln im Modellgebiet (vgl. Kap. 4.3).

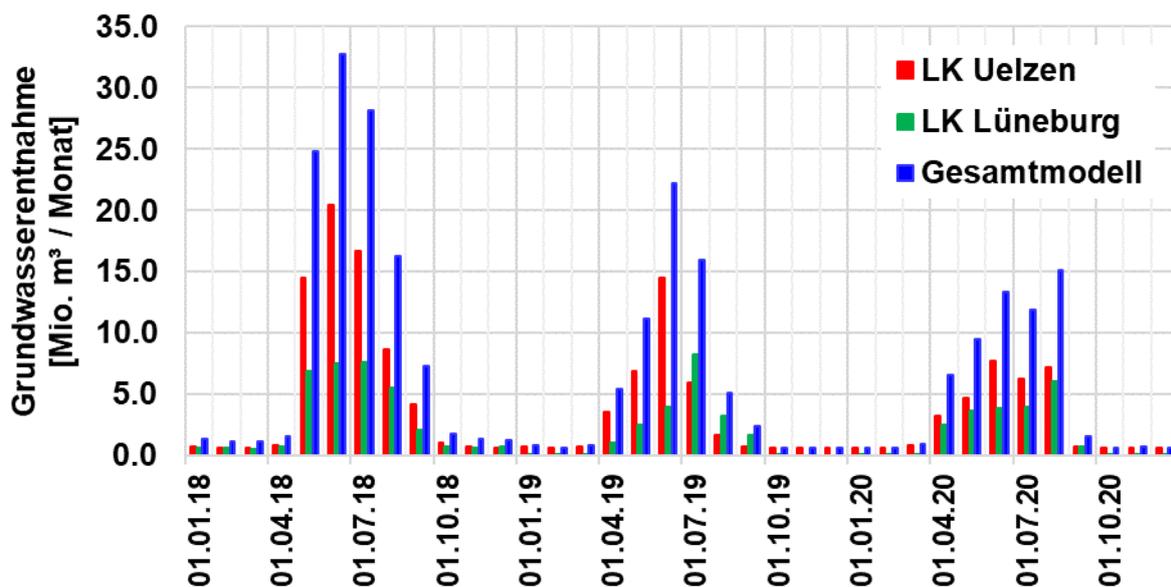
Um die Interaktion zwischen den Grundwasserentnahmen, den gemessenen Standrohrspiegelhöhen und den gemessenen Basisabflüssen mit dem Modell abbilden zu können, sind zusätzlich zu den in [1] beschriebenen Gruppen aus Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegeln in den drei Pilotgebieten insgesamt drei zusätzliche Grundwassermessstellen sowie ein zusätzlicher Oberflächengewässerpegel für das Pilotgebiet Oedeme in das Modell implementiert worden. Bei den drei Grundwassermessstellen handelt um eine dreifach ausgebaute Messstelle, welche durch die Purena GmbH gemessen wird.

Im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Kalibrierung (vgl. Kap. 7.4) wurde der Fokus speziell auf die Messstellengruppen und Oberflächengewässerpegel in den vier Pilotgebieten gelegt. Die übrigen Grundwassermessstellen und Pegel wurden im Rahmen der Kalibrierung zwar berücksichtigt, sollen aber im Rahmen der Dokumentation nicht näher erläutert werden.

7.3.1 Datengrundlagen

Zur Beschreibung der **Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung und zur Trink- und Brauchwasserversorgung** lagen den Dachverbänden Feldberegnung Uelzen für die instationäre Modellierung des Zeitraums Januar 2018 bis März 2021 Daten in monatlicher Auflösung vor.

Entsprechend der Daten ergeben sich für das Modellgebiet, die beiden LK Lüneburg und Uelzen sowie die vier Pilotgebiete die nachfolgenden Monatsentnahmen.



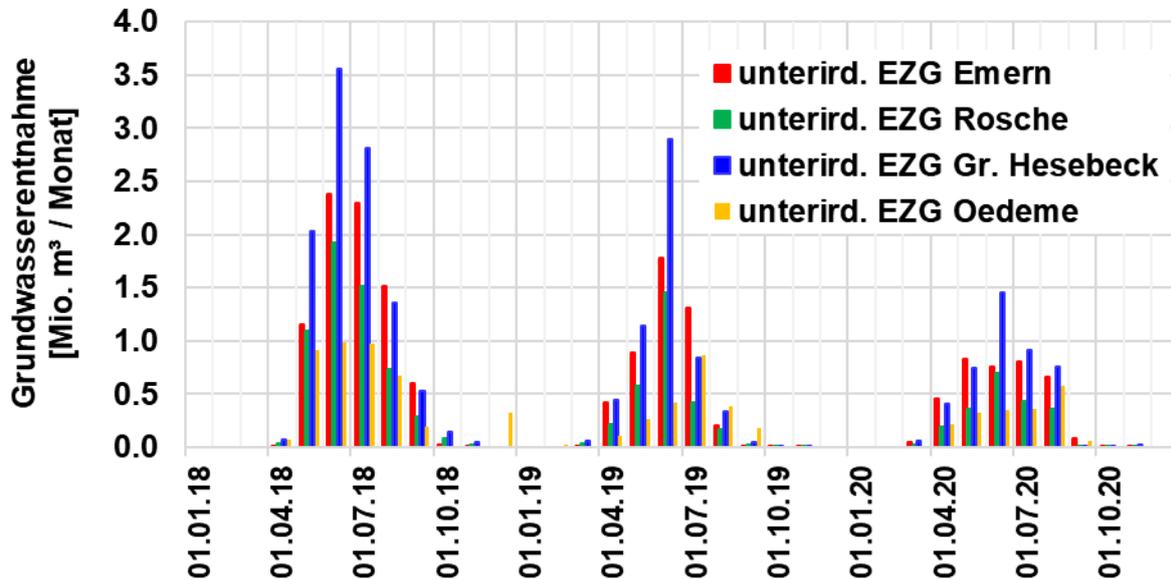


Abbildung 38: Monatliche Grundwasserentnahmen für den Zeitraum 2018 bis 2021; für das Modellgebiet und die beiden LK Lüneburg und Uelzen (obere Abbildung); für die unterirdischen Einzugsgebiete der vier Pegel (untere Abbildung)

Für das Jahr 2018 zeigen sich gegenüber den Auswertungen in [1] deutliche Unterschiede zwischen den monatlichen Grundwasserentnahmen. Dies begründet sich u.a. auf dem in [1] gewählten Ansatz zur Verteilung der Jahresentnahmemengen auf die einzelnen Monate. Für die drei bestehenden Pilotgebiete ergibt sich in Summe ein Unterschied von ca. 12 Mio. m³/a. Aufgrund dieser deutlichen Unterschiede ist die Modellkalibrierung für das Jahr 2018 präzisiert worden, da sich die lokale Modellanpassung verschlechtert hat.

LK Uelzen

Für das Jahr 2018 ergibt sich eine Gesamtsumme der Grundwasserentnahmen zur Feldberegung von rd. 28,8 Mio. m³ in den drei Pilotgebieten (inkl. Pufferzonen) bzw. 43,3 Mio. m³ für den übrigen LK Uelzen. Addiert man dazu die Entnahmen zur Trink- und Brauchwasserversorgung ergibt sich für 2018 eine Jahressumme von rd. 84,4 Mio. m³ (vgl. Tabelle 6). In den beiden nachfolgenden Jahren 2019 und 2020 verringern sich die Entnahmen wieder. Sie liegen dann in der Größenordnung der Jahre vor 2018 (vgl. Abbildung 12).

Tabelle 6: Grundwasserentnahmen im LK Uelzen sowie den drei Pilotgebieten für die Jahre 2018 bis 2020

Entnahme	2018	2019	2020
Feldberegnung Pilotgebiete inkl. Pufferzone	28,8	15,6	12,2
Feldberegnung Restlicher LK Uelzen	43,3	19,8	18,7
Trink- u. Brauchwasserversorgung LK Uelzen	7,3	7,1	7,4
Jahresumme	84,4	44,8	40,5

LK Lüneburg

Für das Jahr 2018 ergibt sich für das Pilotgebiet Oedeme (inkl. Pufferzone) eine Grundwasserentnahme zur Feldberegnung von ca. 4,9 Mio. m³/a. Für den übrigen LK Lüneburg liegt dieser Wert bei rd. 21,0 Mio. m³/a. Addiert man dazu die Entnahmen zur Trink- und Brauchwasserversorgung ergibt sich für 2018 eine Jahressumme von rd. 35,8 Mio. m³ (vgl. Tabelle 7). Analog zu den Daten im LK Uelzen nehmen die Entnahmen in den beiden Folgejahren ab. Sie liegen dann in der Größenordnung der Jahre vor 2018 (vgl. Abbildung 12).

Tabelle 7: Grundwasserentnahmen im LK Lüneburg sowie dem Pilotgebiet Oedeme für die Jahre 2018 bis 2020

Entnahme	2018	2019	2020
Feldberegnung Pilotgebiet inkl. Pufferzone	4,9	2,9	2,4
Feldberegnung Restlicher LK Lüneburg	21,0	10,7	9,8
Trink- u. Brauchwasserversorgung LK Lüneburg	9,9	8,0	8,4
Jahresumme	35,8	21,6	20,6

Der Rückgang der Entnahmen zur Feldberegnung in den Jahren 2019 und 2020 ist auf eine Aufforderung der Genehmigungsbehörden in den Landkreisen Lüneburg und Uelzen sowie dem Stadtgebiet Lüneburgs an die Landwirte zurückzuführen. Aufgrund der teils deutlichen Überschreitung der jährlich genehmigten Entnahmemengen sind die Landwirte zur Einsparung von Beregnungswasser aufgefordert worden.

Für die Beschreibung der **Wasserstände an den Oberflächengewässerpegeln** erfolgte für die drei bestehenden und dem neuen Pegel der Pilotgebiete eine kontinuierliche Datenaufzeichnung mittels ADCP-Messgerätes.

Für alle übrigen Pegel im Modellgebiet sind die Pegeldata für die Jahre 2019 und 2020 vom NLWKN bezogen worden (vgl. Kap. 2.9).

Nachfolgend sind die Ganglinien der Wasserstände an den Pegeln Emern, Rosche und Groß-Hesebeck sowie Oedeme dargestellt.

Für den Pegel **Groß Hesebeck** konnte für Dezember 2018 kein Mittelwert berechnet werden, da es am Datenlogger über mehrere Tage zu einem Messausfall gekommen war. Aus diesem Grund ist für die Belegung der Transferrandbedingungen im Modell der Wert 29,65 m als lineare Interpolation zwischen den Werten im November 2018 und Januar 2019 verwendet worden. Im Juni 2019 wurde die Abflussmessstelle um ca. 20 m flussaufwärts verlegt (vgl. Kap. 6.1). Der neue Standort unterscheidet sich vom alten durch veränderte Höhe der Gewässersohle sowie einen veränderten Fließquerschnitt, was in vergleichsweise höheren Wasserständen und einer veränderten Dynamik der Wasserstände im Fließgewässer resultiert. Auch im Zeitbereich nach der Standortveränderungen ergeben sich temporäre Messlücken. Diese wurden entsprechend der o.g. Vorgehensweise geschlossen.

Für das neue Pilotgebiet am Pegel **Oedeme** wurden kontinuierliche Aufzeichnungen der Wasserstände ab Oktober 2020 durchgeführt (vgl. Kap. 6.4). Das deutliche Absinken der gemessenen Wasserstände im Fließgewässer ist auf Unterhaltungsmaßnahmen im Oktober 2020 zurückzuführen (vgl. Abbildung 42). Für den Zeitraum vor Oktober 2020 lagen keine Messwerte der Wasserstände am Pegel Oedeme vor. Zur Ableitung einer Randbedingungsfunktion von April 2018 bis einschließlich September 2020 ist daher die Ganglinie der gemessenen Wasserstände des Pegels Bienenbüttel verwendet worden. Die Werte sind in Ihrer Höhe an die o.g. Messwerte des Pegels Oedeme angeglichen worden. Zusätzlich wurde die Amplitude etwas verringert.

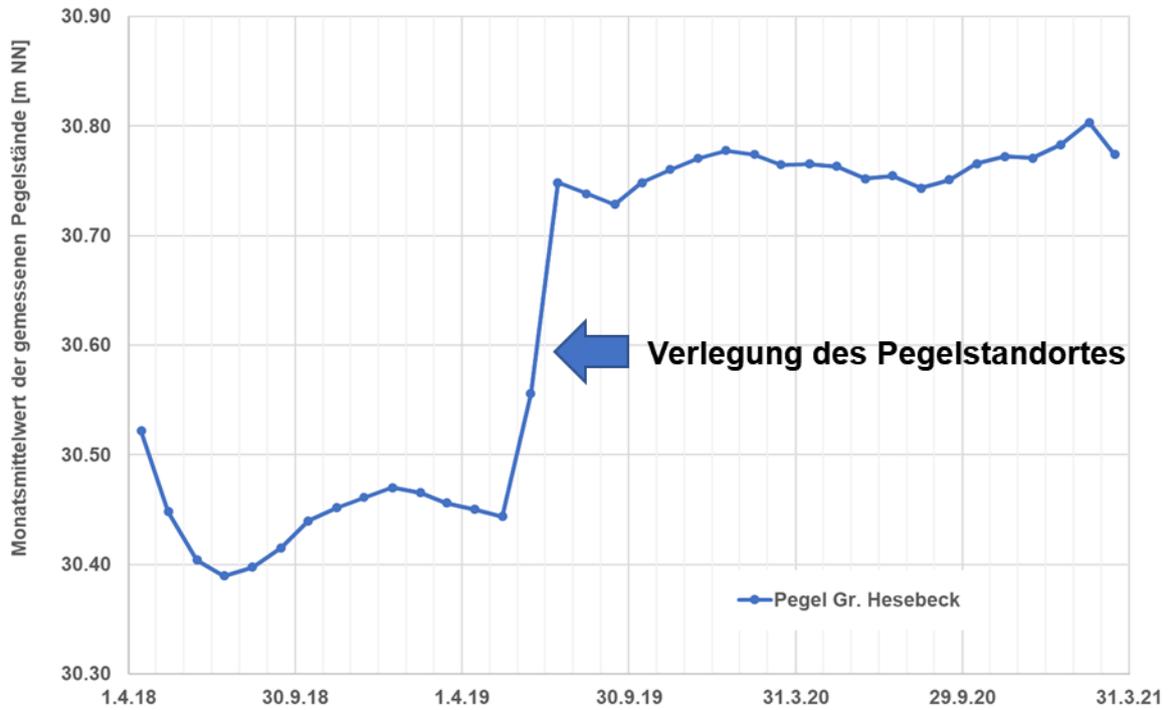


Abbildung 39: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Groß Hesebeck

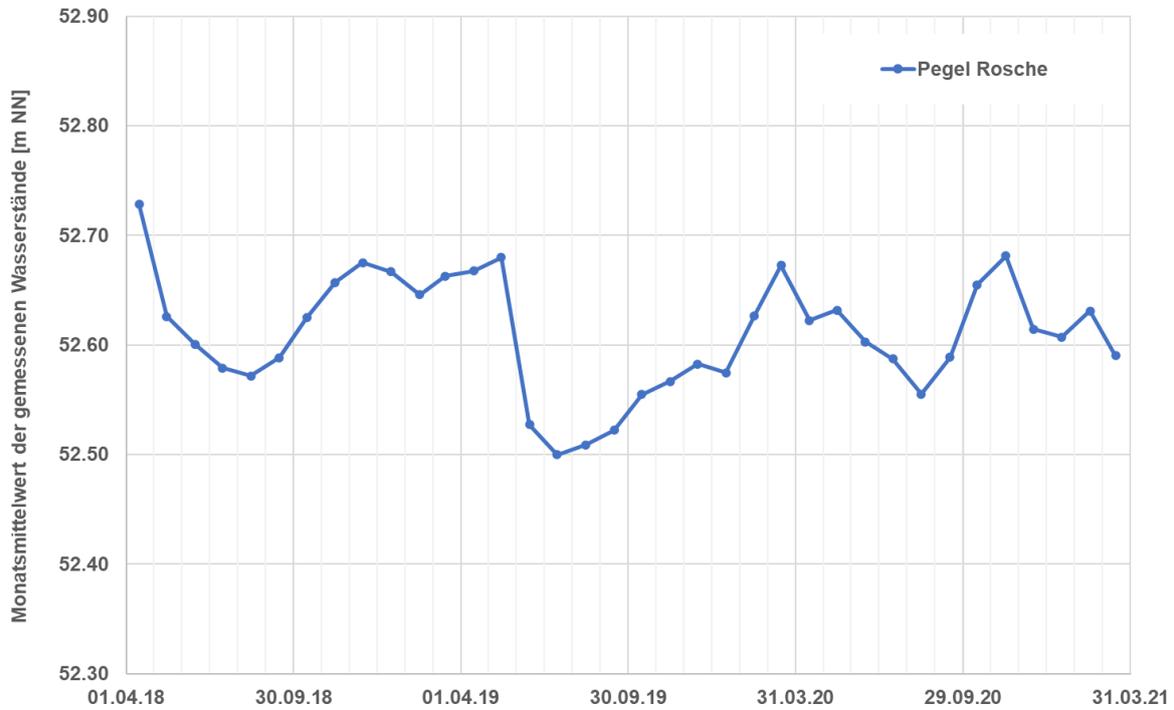


Abbildung 40: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Rosche

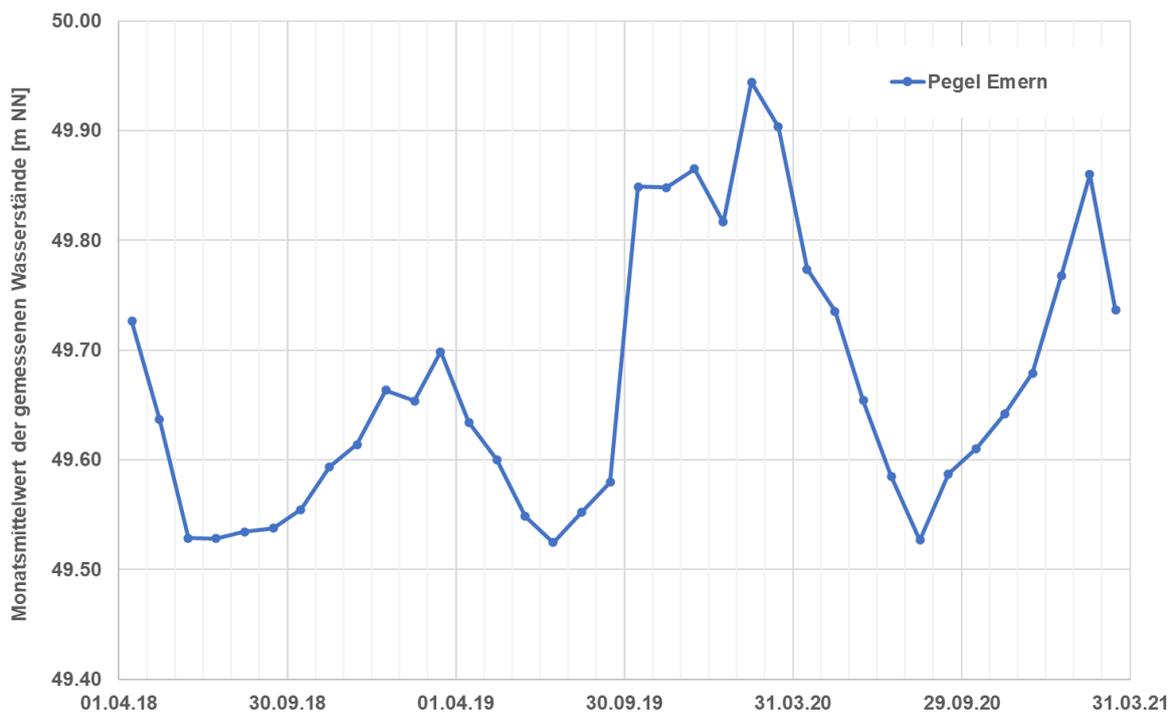


Abbildung 41: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Emern

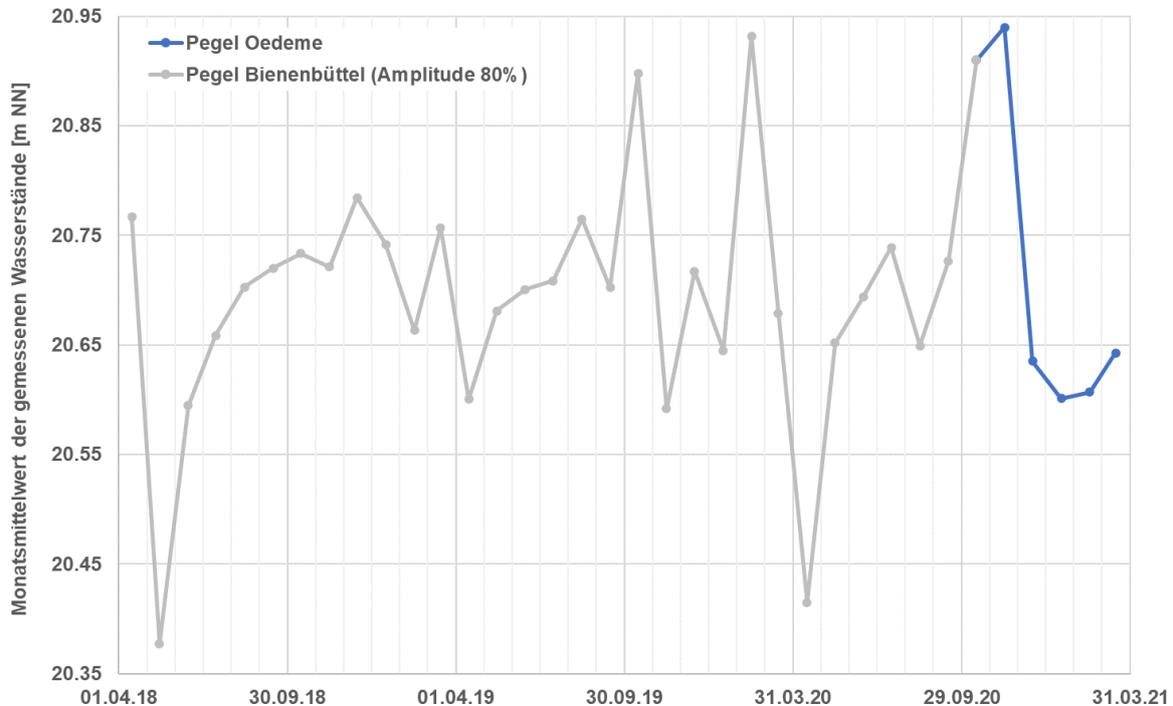


Abbildung 42: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Oedeme

Die Belegung der Randbedingungen im Modell erfolgte nach der in [1] bzw. [13] dokumentierten Vorgehensweise. Gewässerabschnitte, welche in den Einzugsgebieten der drei zusätzlich betrachteten Pegel liegen, wurden entsprechend mit der Pegelganglinie unter Verwendung der in [13] beschriebenen Vorgehensweise linear interpoliert.

Randbedingungen, deren Ganglinien auf den Daten des NLWKN beruhen, sind für die Jahre 2018 bis 2020 entsprechend fortgeschrieben worden. Für das Jahr 2021 lagen vom NLWKN zum Zeitpunkt des Modellaufbaus keine Daten vor. Die Randbedingungen sind in diesem Fall mit dem Mittelwert aus der stationären Modellkalibrierung belegt worden.

Zur Beschreibung der **Grundwasserneubildung** im Modell wurde weiterhin der im Rahmen der stationären Modellkalibrierung verwendete Datensatz nach mGROWA18 als Ausgangsverteilung verwendet. Zunächst sind die im Rahmen der in [1] durchgeführten Kalibrierung für den Zeitraum vom 01.04.2018 bis 31.03.2019 erarbeiteten Faktoren verwendet worden. Dabei zeigte sich allerdings, dass diese Faktoren einer erneuten Anpassung bedurften, da sich die bisher erzielten Modellergebnisse nicht rekonstruieren ließen. Eine weitere Ursache ergibt sich aus dem Wechsel der Datenbasis von mGROWA auf mGROWA18. Die im Datensatz von mGROWA18 zu Grunde liegenden Monatsmittelwerte der Grundwasserneubildung stimmen nicht notwendigerweise mit den Monatsmittelwerten von mGROWA überein, sodass es bei einer entsprechenden Faktorisierung zur Berechnung im Grundwassermodell zu unterschiedlichen Werten kommen kann.

Für den Zeitraum ab dem 01.04.2019 sind die Faktoren zur Anpassung der monatlichen Grundwasserneubildung in den drei Pilotgebieten sowie im restlichen Modellgebiet zunächst mit dem Wert 1 (100 %) belegt worden. Im Rahmen der Nachkalibrierung des Modells für diesen Zeitraum sind diese Faktoren variiert worden.

7.4 Kalibrierung des Zeitraums von 01.04.2018 bis 31.03.2021

Die Kalibrierung des instationären Modells für den Zeitraum 01.04.2018 bis 31.03.2021 erfolgte anhand der monatlichen Faktoren der Grundwasserneubildung.

Als Zielgrößen zur Kalibrierung dienten die messwertbasierten Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen bzw. die Basisabflüsse an den Oberflächengewässerpegeln. Besonderer Fokus wurde an dieser Stelle auf die im Rahmen des Projektes gemessenen Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegel in den vier Pilotgebieten gelegt.

Nach Abschluss der instationären Kalibrierung ergibt sich für den Simulationszeitraum für die drei Pilotgebiete im LK Uelzen (inkl. Pufferzonen) eine mittlere Grundwasserneubildung von rd. 27,2 Mio. m³/a bzw. für den LK Uelzen insgesamt von ca. 131,1 Mio. m³/a. Betrachtet man nur die drei Pilotgebiete inkl. der Pufferzonen bedeutet dies, dass im Mittel ca. 69 % der Grundwasserneubildung durch die Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung genutzt werden. Dies scheint plausibel, da nach Abbildung 20 eine hohe Dichte der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung vorliegt.

Für das Pilotgebiet Oedeme im LK Lüneburg ergibt sich eine mittlere Grundwasserneubildung von rd. 16,4 Mio. m³/a bzw. für den LK Lüneburg insgesamt von ca. 93,2 Mio. m³/a. Für das Pilotgebiet Oedeme inkl. der Pufferzone bedeutet dies, dass im Mittel ca. 21 % der Grundwasserneubildung durch die Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung genutzt werden.

Die Werte der mittleren Grundwasserneubildung für den Kalibrierungszeitraum liegen in beiden Landkreisen deutlich unter den langjährigen Mittelwerten. Für den LK Lüneburg liegt der Wert bei ca. 57 %, für den LK Uelzen bei ca. 50 %. Die Ursache hierfür ergibt sich aus den stark defizitären Niederschlägen in den drei Jahren (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9 in Kap. 2.4), welche zu einer deutlichen Verminderung der Grundwasserneubildung geführt haben.

In den nachfolgenden Darstellungen (Abbildung 45 bis Abbildung 53) findet die Ganglinien der Monatsmittelwerte messwertbasierter Standrohrspiegelhöhen und modellberechneter Standrohrspiegelhöhen der bestehenden Grundwassermessstellen in den drei Pilotgebieten im LK Uelzen sowie dem neu hinzugekommenen Pilotgebiet im LK Lüneburg (vgl. Kap. 3.3). Eine Übersicht zur Lage der Grundwassermessstellen geben Abbildung 43 und Abbildung 44.

Weitere Ganglinienvergleiche der übrigen Grundwassermessstellen in den vier Pilotgebieten sind in Anlage 3 dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass die gemessenen Standrohrspiegelhöhen der GWMS, sofern diese vom NLWKN bezogen wurden, nur bis Ende 2020 vorliegen. Entsprechend hört die Gangliniendarstellung der messwertbasierten Monatsmittelwerte im Dezember 2020 auf.

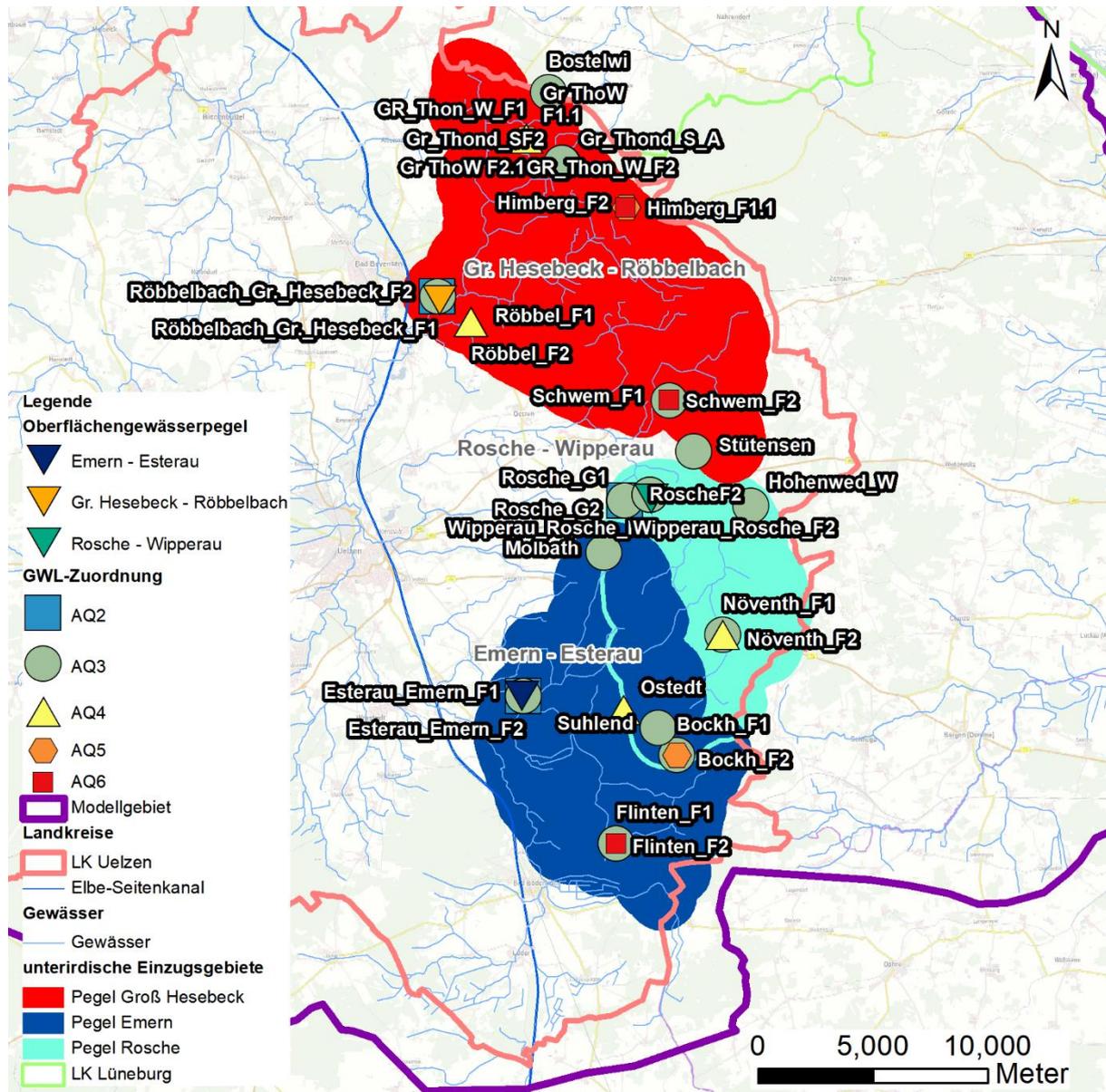


Abbildung 43: Lage der Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegel im LK Uelzen, die für die Kalibrierung des Modells für den Zeitraum Januar 2018 bis März 2021 verwendet wurden

Aufgrund der Überarbeitung des numerischen Grundwassermodells hat sich die Größe der unterirdischen Pegel Einzugsgebiete gegenüber den Darstellungen in [1] verändert. Für den Pegel Groß Hesebeck ergibt sich eine größere Ausdehnung nach Südosten, sodass das Einzugsgebiet des Pegels an das des Pegels Rosche angrenzt. Für die Pegel Rosche und Emern fallen die Veränderungen deutlich geringer aus.

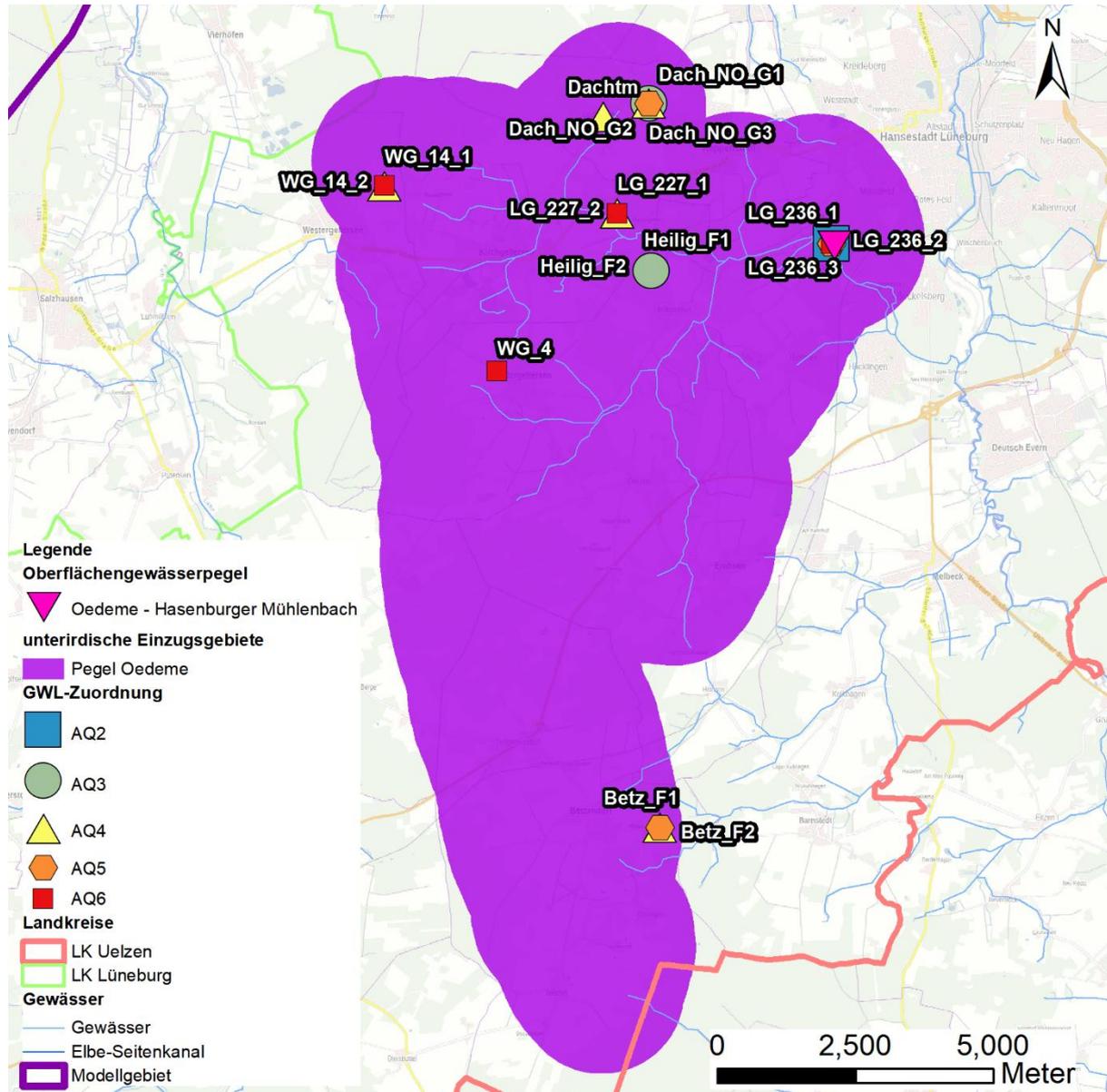


Abbildung 44: Lage der Grundwassermessstellen und des Oberflächengewässerpegel im LK Lüneburg, die für die Kalibrierung des Modells für den Zeitraum Januar 2018 bis März 2021 verwendet wurden

7.4.1 Kalibrierung der Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Modellkalibrierung anhand des Ganglinienvergleichs gemessener Mittelwerte sowie Modellwerte der Standrohrspiegelhöhen dargestellt. Bei den Darstellungen ist die Vorgehensweise bei der Implementierung der Grundwasserentnahmen im Modell zu beachten. Die Monatsmengen werden als Tageswerte über den gesamten Monat

verteilt. Daraus folgt, dass sich die maximale Wirkung der Grundwasserentnahme auf die modellberechneten Grundwasserstände immer zum Ende eines jeden Monats abbildet. Im Vergleich dazu werden für die gemessenen Grundwasserstände an den Grundwassermessstellen Monatsmittelwerte gebildet. Die Monatsmittelwerte werden in den Darstellungen auf den 15. jeden Monats gelegt. Entsprechend ergibt sich in den Darstellungen daraus eine Verschiebung der Minima von einem halben Monat.

LK Uelzen

Für die beiden Grundwassermessstellen **Groß Hesebeck F1 und F2** zeigt sich, dass das Grundwassermodell die messwertbasierten Monatsmittelwerte zunächst überschätzt. Die Differenzen verringern sich mit dem Anstieg der Standrohrspiegelhöhen ab etwa September 2018. Im Verlauf des Frühjahrs / Sommers 2019 wird das Absinken der Standrohrspiegelhöhen in beiden Grundwasserleitern überschätzt, sodass ab Juli 2019 die modellberechnete Ganglinie unter den messwertbasierten Monatsmittelwerten liegt. Im Verlauf des Jahres 2020 unterschätzt das Modell den Wiederanstieg der Grundwasserstände. Zum Zeitpunkt höchster Grundwasserstände an beiden Messstellen unterschätzt das Modell die entsprechenden Werte um ca. 0,15 m. Das Minimum im August / September 2020 bildet das Modell im oberflächennahen Grundwasserleiter AQ2 sehr gut ab. Im Hauptförderhorizont AQ3 werden die messwertbasierten Monatsmittelwerte etwas unterschätzt. Dies gilt an beiden Messstellen auch für den Wiederanstieg der Standrohrspiegelhöhen im Winter / Frühjahr 2020 / 21. Der in [1] beschriebene Zeitversatz zwischen modellberechnetem und messwertbasiertem Minimum im Jahr 2018 ist wiederzuerkennen.

Aus dem Vergleich der modellberechneten Ganglinien im AQ2 und AQ3 über den Simulationszeitraum kann festgestellt werden, dass bedingt durch die förderbedingten Absenkungen eine innerjährliche Amplitude der Standrohrspiegelhöhen in identischer Größe abgebildet wird. Ebenfalls identisch sind die Zeitpunkte der höchsten und geringsten mittleren Standrohrspiegelhöhen. Beides scheint vor dem Hintergrund einer fehlenden hydraulischen Trennschicht zwischen dem Hauptgrundwasserleiter (AQ3) und dem hangenden oberflächennahen Grundwasserleiter (AQ2) plausibel (vgl. Kap. 6.1).

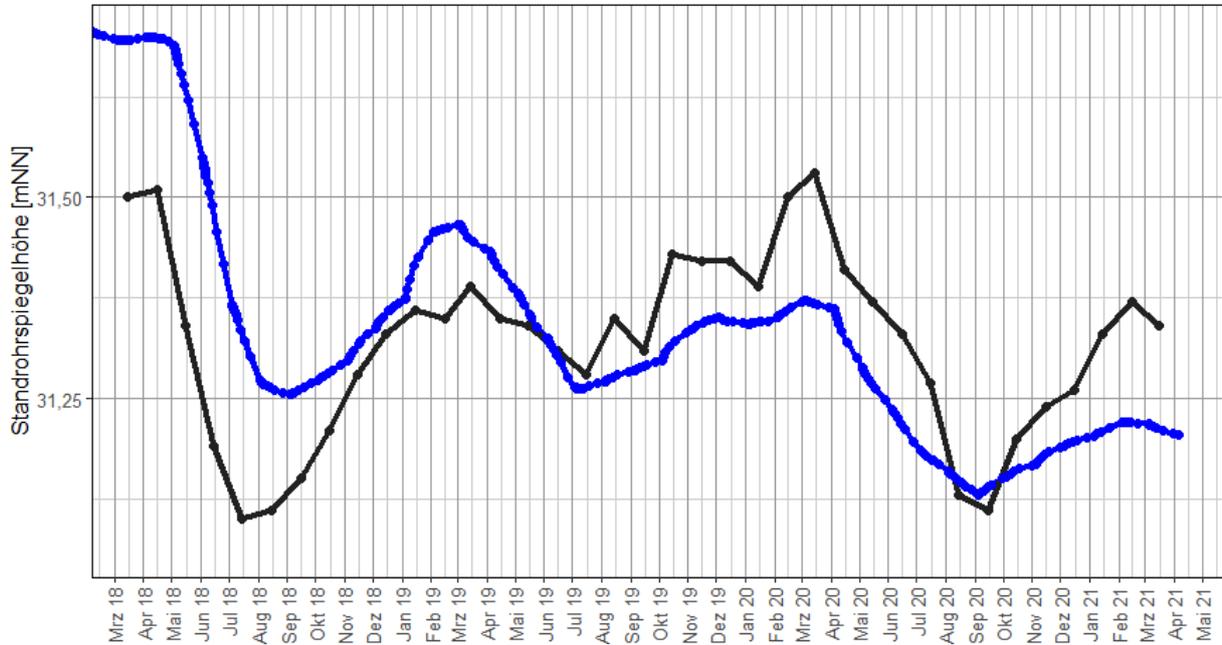


Abbildung 45: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2)

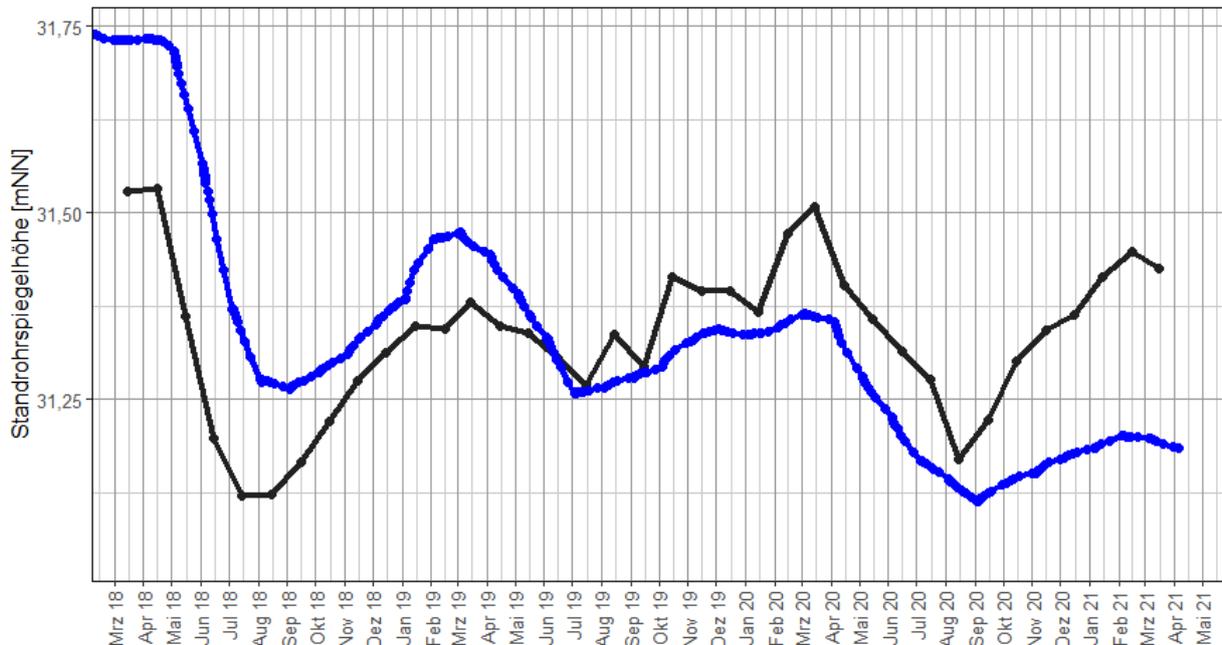


Abbildung 46: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Hesebeck F2 (AQ3)

Für die Grundwassermessstelle **Emern F1** zeigt sich eine sehr gute Abbildung der messwertbasierten Monatsmittelwerte durch das Grundwassermodell (s. Abbildung 47). Allerdings zeigt

sich auch, dass das Modell die Zeitabschnitte mit ansteigenden bzw. hohen Standrohrspiegelhöhen in Herbst / Winter 2019 und 2020 etwas überschätzt. Gleiches gilt auch für das Minimum in den Sommermonaten 2020. Hier wird die messwertbasierte Absenkung durch das Modell gegenüber den beiden vorherigen Jahren etwas unterschätzt. Bis zum Ende des Simulationszeitraums nimmt diese Differenz ab. Gegenüber den Ergebnissen in [1] bildet das Grundwassermodell die Absenkung im Sommer 2018 vergleichsweise deutlicher ab.

An der Messtelle **Emern F2** werden die mittleren Messwerte durch das Modell etwas überschätzt (vgl. Abbildung 48). Differenzen zeigen sich vor allem in den Sommermonaten, da das Modell die tatsächlichen Grundwasserabsenkungen unterschätzt. Gegenüber den Ergebnissen in [1] bildet das Grundwassermodell die Absenkung im Sommer 2018 ähnlich ab.

Aus dem Vergleich der modellberechneten Ganglinien im AQ2 und AQ3 kann festgestellt werden, dass bedingt durch die förderbedingten Absenkungen eine innerjährliche Amplitude der Standrohrspiegelhöhen für die Jahre 2018 bis 2020 in unterschiedlicher Größe abgebildet wird. Im Hauptgrundwasserleiter AQ3 liegt der Wert in 2018 bei ca. 2,1 m. Für die Jahre 2019 und 2020 ergibt sich mit ca. 1,2 m bzw. ca. 1,0 m etwa eine Halbierung der Amplitude. Dies erscheint vor dem Hintergrund der vergleichsweise deutlich geringeren Grundwasserentnahmen in den beiden Jahren gegenüber 2018 plausibel (vgl. Abbildung 38). Im Vergleich dazu sind die Amplituden im oberflächennahen Grundwasserleiter AQ2 etwa halb so groß wie im Hauptförderhorizont AQ3. Die Wirkung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung wird durch die vorhandene Trennschicht im AQ2 etwas gedämpft. Dieser Effekt zeigt sich ebenfalls in den Ergebnissen des Monitoringsystems (vgl. Kap. 6.3).

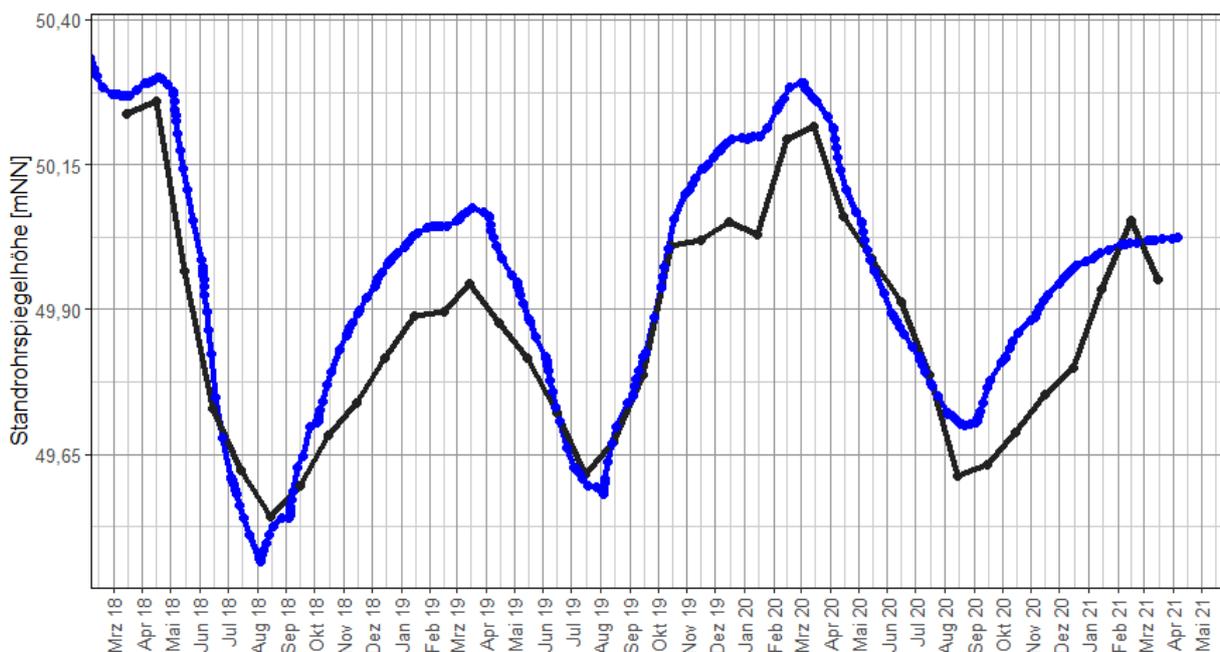


Abbildung 47: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)

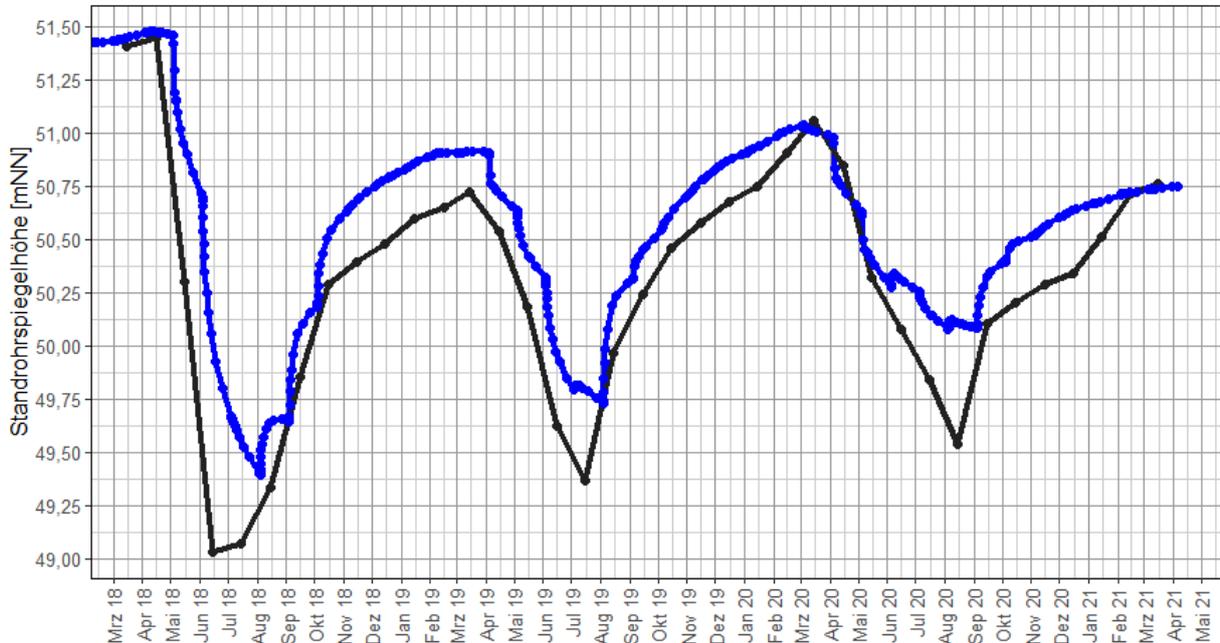


Abbildung 48: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)

Die Grundwassermessstellen **Rosche F1 und F2** wurden beide modelltechnisch im AQ3 umgesetzt, wobei die Verfilterung des Pegels F1 im oberen Teil und die Verfilterung des Pegels F2 im unteren Teil des AQ3 angenommen wurde. Diese Vorgehensweise leitet sich aus den in Kap. 6.2 beschriebenen Ergebnissen des Monitoringsystems ab.

Im Vergleich zu den Ergebnissen in [1] zeigt sich in den vorliegenden Ergebnissen nur noch ein sehr geringer Zeitversatz zwischen den beiden Ganglinien (s. Abbildung 49 und Abbildung 50).

Die messwertbasierten Monatsmittelwerte der Standrohrspiegelhöhen werden zu Beginn der Messreihe plausibel durch das Modell abgebildet. Analog zu der Messstelle Emern F2 werden die Absenkungen während der Vegetationsperiode (hier: Monate Mai bis August) durch das Grundwassermodell unterschätzt. Insgesamt bildet das Modell den Gang der messwertbasierten Ganglinie sehr gut nach, allerdings wird die Amplitude der Messwerte etwas unterschätzt. Aus dem Vergleich der modellberechneten Ganglinien im AQ3 kann festgestellt werden, dass bedingt durch die förderbedingten Absenkungen eine innerjährliche Amplitude der Standrohrspiegelhöhen für die Jahre 2018, 2019 und 2020 in unterschiedlicher Größe abgebildet wird. Im Hauptgrundwasserleiter AQ3 beträgt der Wert an beiden Messstellen in 2018 rd. 1,2 m sowie in 2019 und 2020 je ca. 0,6 m. Dies erscheint vor dem Hintergrund der vergleichsweise deutlich geringeren Grundwasserentnahmen in den beiden Jahren gegenüber 2018 plausibel (vgl. Abbildung 38).

Das Grundwassermodell bildet an den beiden Messstellen die in Kap. 6.2 beschriebene starke Korrelation der Ganglinien ab.

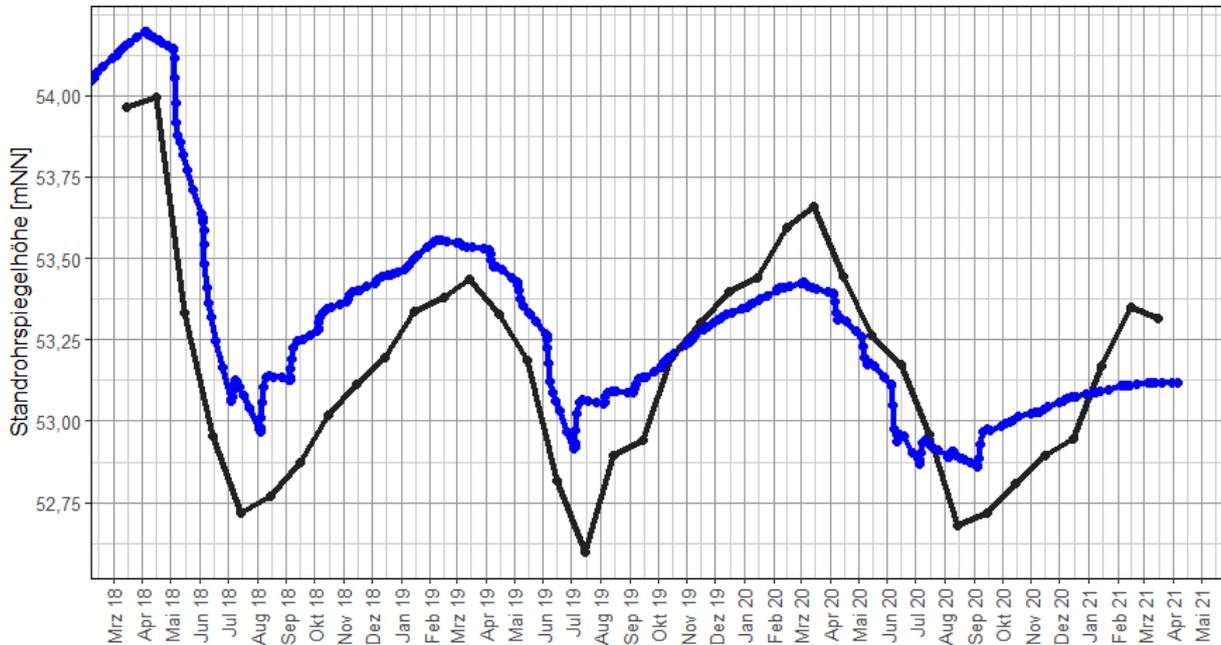


Abbildung 49: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3)

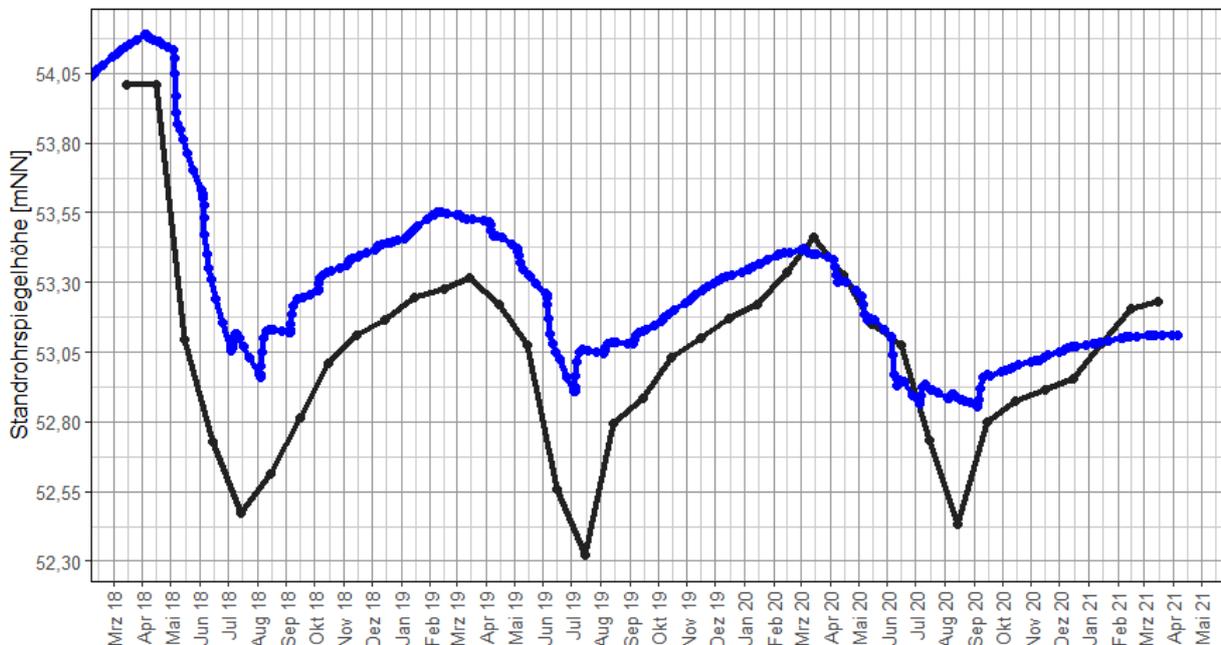


Abbildung 50: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3)

Generell zeigt sich anhand aller sechs dargestellten Ganglinienvergleiche, dass zu Beginn der Berechnungsperiode 2018 ein hoher Füllstand des Grundwasserspeichers vorliegt, welcher mit geringen Abweichungen durch das Grundwassermodell abgebildet wird. Diese Speicherfüllung lässt sich u.a. auf die starken Niederschläge im Winterhalbjahr 2017 / 18 zurückführen.

Bedingt durch die Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 und die damit verbundenen Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung wird der Speicherinhalt vermindert. Die geringen Niederschläge des nachfolgenden Winterhalbjahres 2018 / 19 führen wiederum zu einer geringen Auffüllung des Speichers. Vergleicht man den Füllstand zu Beginn der Beregnungsperiode 2019 mit dem des Jahres 2018 (jeweils die Monatsmittelwerte der Standrohrspiegelhöhen im März) zeigen sich Differenzen zwischen ca. 0,3 m (Groß Hesebeck F1 u. F2) und ca. 0,7 m (Emern F2). Auch hierbei zeigt sich der Einfluss einer hydraulisch trennenden Schicht AT2 zwischen dem AQ2 und dem AQ3. Dies zeigt sich besonders am Standort Emern. Hier fallen die Differenzen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Standrohrspiegelhöhen im oberflächennahen Grundwasserleiter nur etwa halb so groß aus wie im Hauptförderhorizont. Die Ursache hierfür ergibt sich u.a. daraus, dass die Grundwasserneubildung im unbedeckten oberflächennahen Grundwasserleiter direkt zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels führen kann. Zu beachten ist dabei, dass bedingt durch die weiträumige Verbreitung des AT2 im AQ3 i.d.R. gespannte Verhältnisse vorherrschen. Die dargestellten Ganglinien bilden bei gespannten Verhältnissen somit die Veränderungen in den Drucklinien und nicht in den tatsächlichen Wasserständen ab.

LK Lüneburg

Am neuen Standort Oedeme im LK Lüneburg werden die Grundwasserverhältnisse an der dreifach ausgebauten Grundwassermessstelle **LG 236** gemessen. Die Filterlagen **P1, P2 und P3** sind modelltechnisch im AQ2, AQ5 und AQ6 umgesetzt (vgl. Kap. 6.4).

Zwischen dem oberflächennahen Pegel P1 und den beiden, in den oberen und unteren Braunkohlensanden (AQ5 / AQ6) verfilterten Pegeln P2 und P3 bilden die beiden Grundwasserhemmer AT2 und AT3 hydraulische Barrieren, welche den Druckunterschied der messwertbasierten Ganglinien erklärt. Zwischen den Pegeln P2 und P3 ist ebenfalls ein Grundwasserhemmer ausgebildet. Dieser liegt allerdings nicht flächenhaft verbreitet vor, sodass sich nur geringe Druckunterschiede einstellen. Diese lassen sich u.a. an den Minima der messwertbasierten Monatsmittelwerte in den Sommermonaten erkennen. Gegenüber den anderen drei Standorten im LK Uelzen ist hier keine Grundwassermessstelle im Hauptförderhorizont AQ3 verfiltert. Im Bereich des Standortes Oedeme finden zusätzlich zum AQ3 auch deutliche Entnahmen zur Feldberegnung in den oberen und unteren Braunkohlensanden statt. Dies zeigen die Ganglinien der beiden Pegel P2 und P3.

Die modellberechneten Ganglinien der Grundwassermessstellen LG 236 P1, P2 und P3 zeigen im Vergleich mit den messwertbasierten Monatsmittelwerte, dass das Modell die Standrohrspiegelhöhen mehrheitlich unterschätzt. Dabei zeigt sich an der Messstelle LG 236 P1 im Mittel die höchste Übereinstimmung zwischen den Ganglinien (s. Abbildung 51). Erkennbar ist, dass hier die Amplitude der modellberechneten Ganglinie vielfach deutlich zu gering ist. Gleiches gilt auch für die tiefer verfilterten Messstellen LG 236 P2 und P3 (vgl. Abbildung 52 u. Abbildung 53). An beiden ist ein typischer innerjährlicher Gang der Standrohrspiegelhöhen (Maxima zum Ende des Frühjahrs vor Beginn der Feldberegnung, Minima im Sommer in der Hauptzeit der Feldberegnung) erkennen, allerdings unterschätzt das Modell die messwertbasierten Monatsmittelwerte.

Für die Differenzen der modellberechneten und messwertbasierten Ganglinien an den drei Grundwassermessstellen lassen sich mehrere Faktoren ausmachen. Die Messstelle P1 ist im oberflächennahen Grundwasserleiter AQ2 verfiltert. Aufgrund der räumlichen Nähe zum Hasenburger Mühlenbach ist zunächst von einer Korrelation zwischen den Standrohrspiegelhöhen und den Wasserständen im Vorfluter auszugehen. Allerdings zeigen die aus dem Messbetrieb gewonnenen Daten, dass ein solcher Zusammenhang nur sehr gedämpft erkennbar ist. Hier ist denkbar, dass die modellhafte Anbindung des Fließgewässers überschätzt wird, sodass die modellberechneten Standrohrspiegelhöhen zu stark vom Gang des Wasserstands im Fließgewässer überprägt werden. Dies kann potenziell auch auf die Wirkung umliegender Grundwasserentnahmen auf die Standrohrspiegelhöhen in der Messstelle beeinflussen. Ebenfalls nicht auszuschließen ist die Tatsache, dass sich im Umfeld der Messstelle Grundwasserentnahmen befinden, welche zwar eine Wirkung auf die gemessenen Standrohrspiegelhöhen haben, aber aktuell nicht im Modell abgebildet werden.

Eine weitere Erklärung für die Differenzen begründet sich aus den geologischen Gegebenheiten am Standort. Hier scheint die hydrogeologische Modellvorstellung am Standort nicht den realen Gegebenheiten zu entsprechen. Dabei können kleinräumig auftretende geologische Effekte eine Rolle spielen, welche im Grundwassermodell aktuell nicht implementiert sind. Hier könnte sich eine Verfeinerung des Modellnetzes als sinnvoll erweisen, sofern relevante geologische Informationen in einer Auflösung vorliegen, welche aufgrund der derzeitigen Elementgröße nicht im Modell abgebildet werden können.

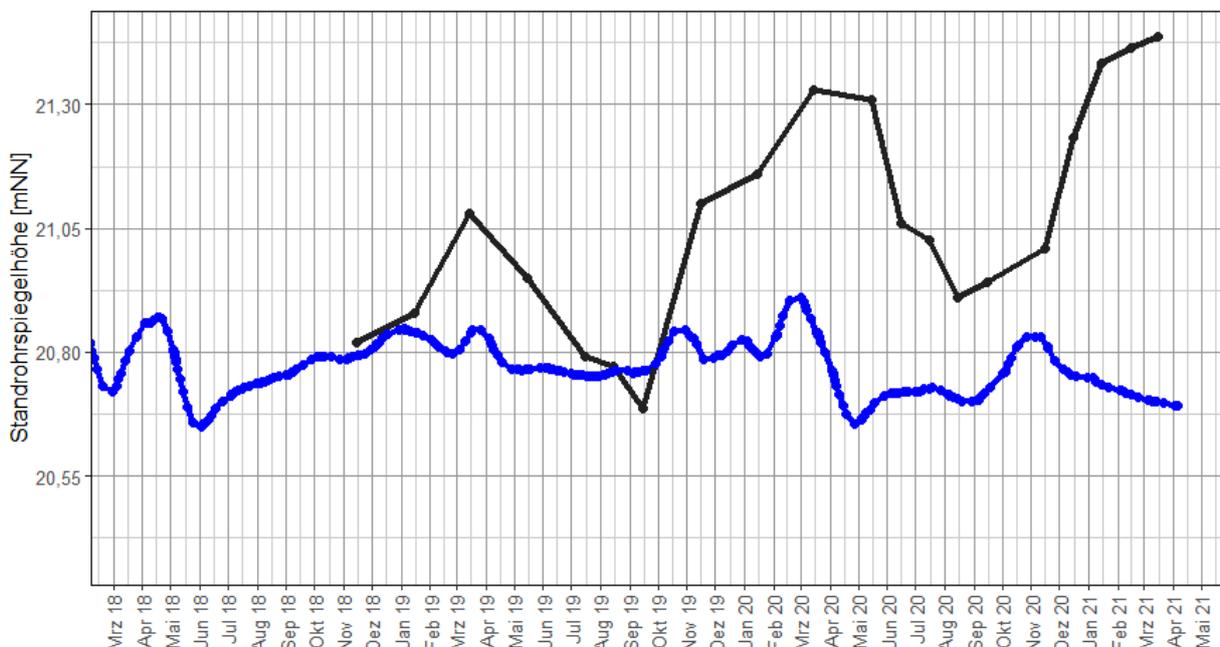


Abbildung 51: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle LG 236 P1 (AQ2)

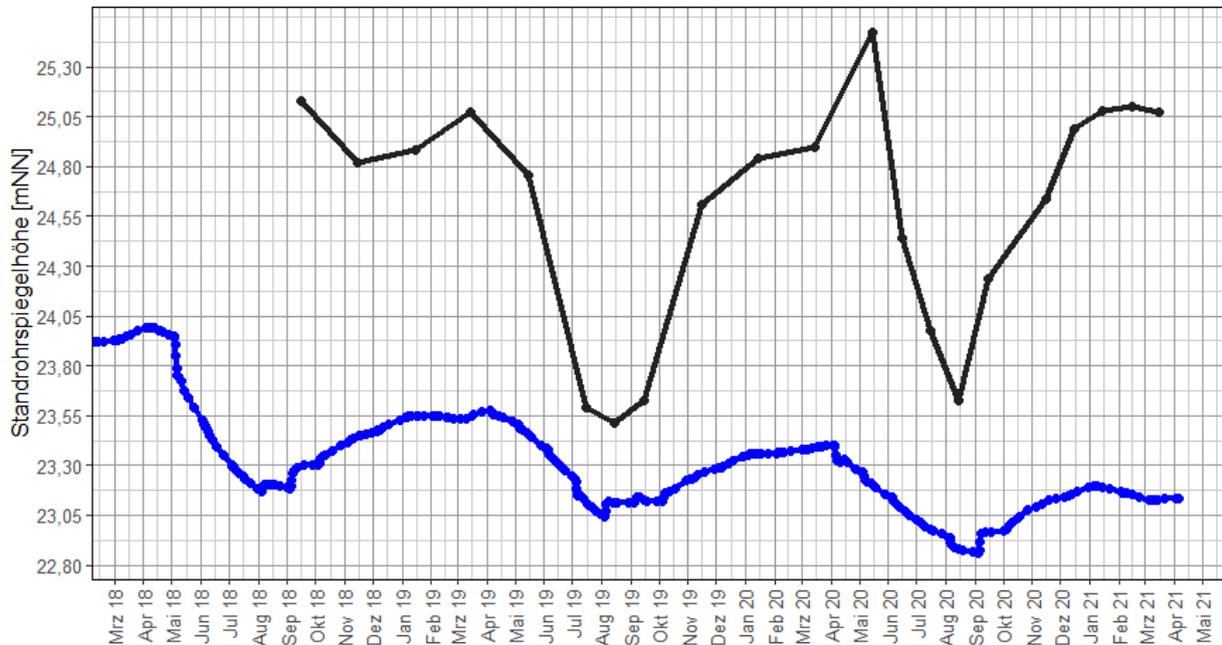


Abbildung 52: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle LG 236 P2 (AQ5)

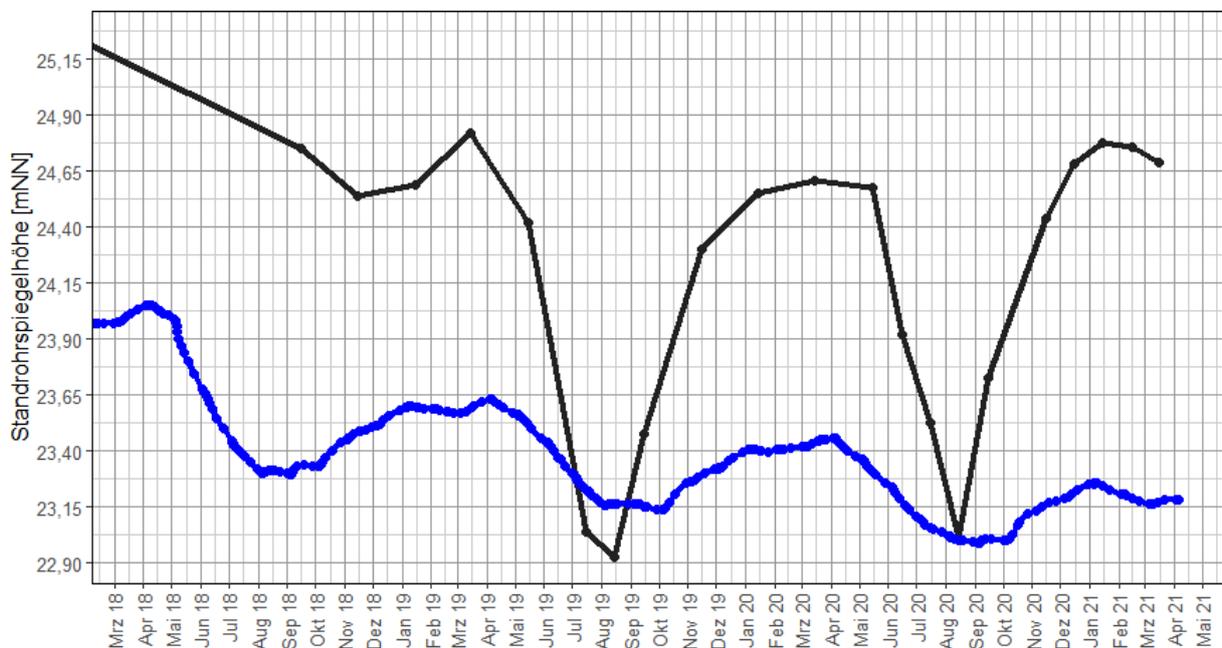


Abbildung 53: Vergleich modellberechneter (blau) und messwertbasierter Ganglinien (schwarz) der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle LG 236 P3 (AQ6)

7.4.2 Kalibrierung der Basisabflüsse an den Oberflächengewässerpegeln

Weiterhin sind zur Bewertung der Modellanpassung die Oberflächengewässerpegel in den vier Pilotgebieten anhand von messwertbasierten und modellberechneten Ganglinien der Monatsmittelwerte der Basisabflüsse bewertet worden.

Hierbei ist zu beachten, dass die Auswertungsmethodik gegenüber [1] unverändert geblieben ist. Generell handelt es sich bei der Methode nach WITTENBERG um die Anpassung eines Modells an gemessene Werte. In der vorliegenden Dokumentation ist die Ganglinie der Messwerte um zwei weitere Jahre verlängert worden. Diese Verlängerung hat dazu geführt, dass die Parametrisierung, welche dem Modell nach WITTENBERG zu Grunde liegt, gegenüber der Auswertung in [1] angepasst werden musste, um für den gesamten Messbereich eine möglichst gute Übereinstimmung zu erzielen. Somit können sich für den Zeitbereich zwischen April 2018 und März 2019 Änderungen der nach WITTENBERG berechneten Basisabflüsse ergeben.

Die Lage der Pegel ist ebenfalls in Abbildung 43 und Abbildung 44 dargestellt.

LK Uelzen

Für den **Pegel Groß Hesebeck** zeigt sich, dass der messwertbasierte Basisabfluss für den Zeitraum Mai 2018 bis September 2019 vom Modell zunächst überschätzt wird (s. Abbildung 54). Dabei nehmen die Differenzen mit zunehmendem Basisabfluss ab September 2018 ab und vergrößern sich mit abnehmendem Basisabfluss ab Mai 2019 wieder. Ab September 2019 bis Februar 2020 nehmen die Basisabflüsse deutlich zu und erreichen das Maximum des Messzeitraums. Anhand der Modellergebnisse kann dieser starke Anstieg nur bedingt nachvollzogen werden.

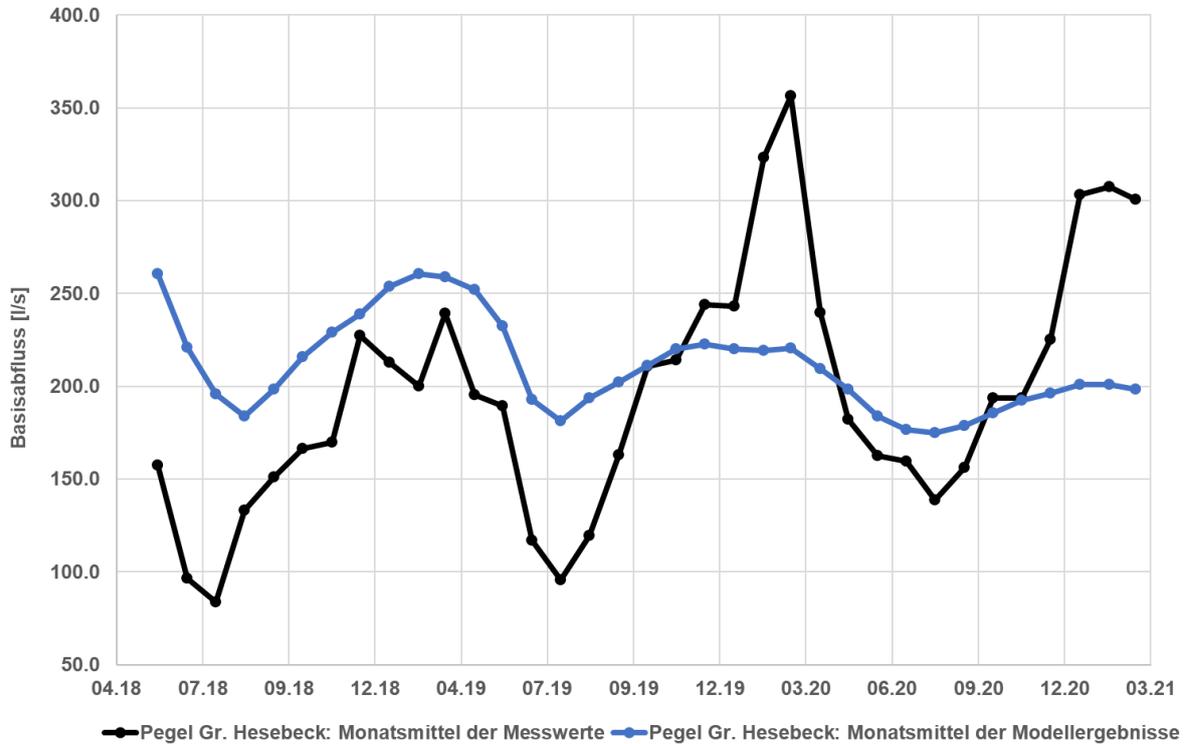


Abbildung 54: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Gr. Hesebeck

Am **Pegel Emern** ist zu Beginn der Auswertung eine Überschätzung der Basisabflüsse durch das Modell erkennbar. Diese Differenz verringert sich mit dem Anstieg des Basisabflusses im Herbst / Winter 2018 / 2019. In den darauffolgenden Sommermonaten sinken die Messwerte der Basisabflüsse erneut deutlich ab, was zu einer Überschätzung durch das Modell führt. Dies ist ebenfalls in den Sommermonaten des Jahres 2020 zu beobachten. Ab September 2019 bis Februar 2020 nehmen die Basisabflüsse deutlich zu und erreichen das Maximum des Messzeitraums. Anhand der Modellerggebnisse kann dieser starke Anstieg nur bedingt nachvollzogen werden. Gegenüber den Ergebnissen in [1] hat sich der zeitliche Versatz zwischen Minima und Maxima in den beiden Ganglinien etwas verringert (vgl. Abbildung 55).

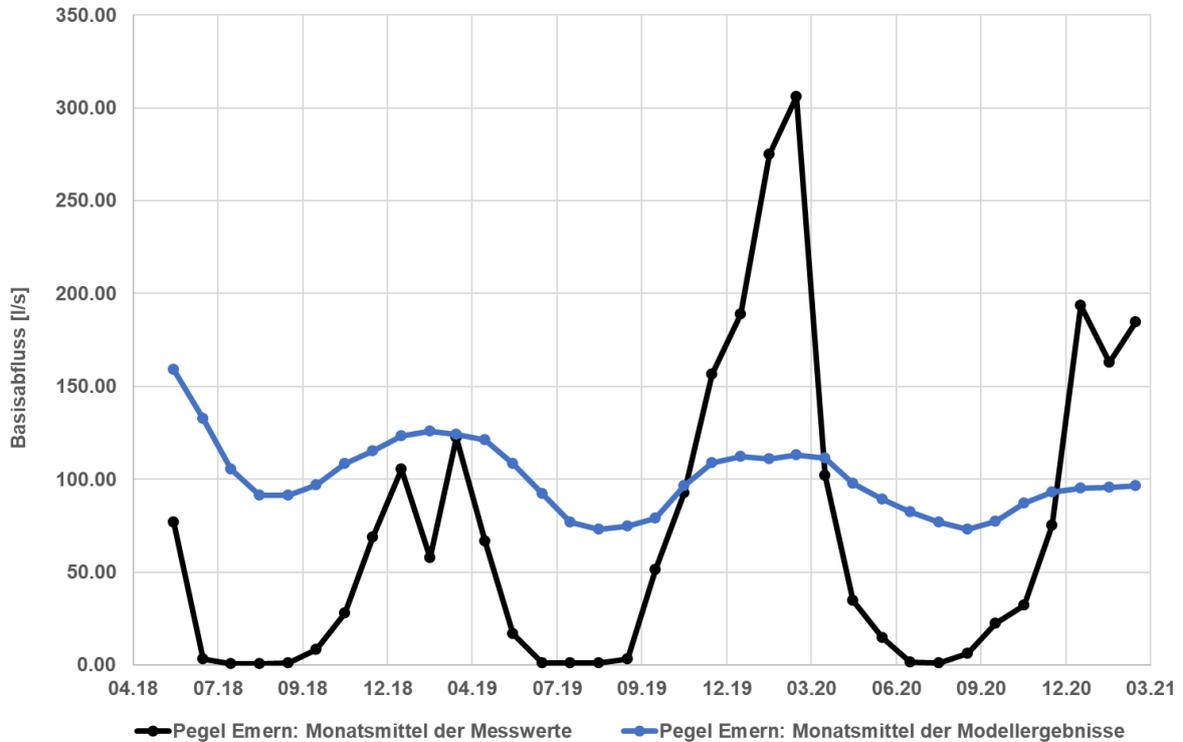


Abbildung 55: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Emern

Zu Beginn des Simulationszeitraums ist für die Ganglinien am **Pegel Rosche** eine Überschätzung der Basisabflüsse durch das Modell erkennbar. Diese verringert sich mit zunehmendem Anstieg der Basisabflüsse in den Wintermonaten 2018 / 2019. Für den Sommer 2019 zeigt sich eine ähnliche Überschätzung der Basisabflüsse wie im Sommer 2018. Gleiches gilt für die Sommermonate 2020. Für die jeweiligen Wintermonate mit steigenden Basisabflüssen nehmen die Differenzen grundsätzlich ab. Für den Zeitraum zwischen November 2019 bis Februar 2020 liegen die messwertbasierten Basisabflüsse über den Modellergebnissen (s. Abbildung 56).

Von den drei betrachteten Pegeln im LK Uelzen sind die Abweichungen zwischen den Monatsmittelwerten der Modellergebnisse und der Messwerte am Pegel Rosche insgesamt am geringsten.

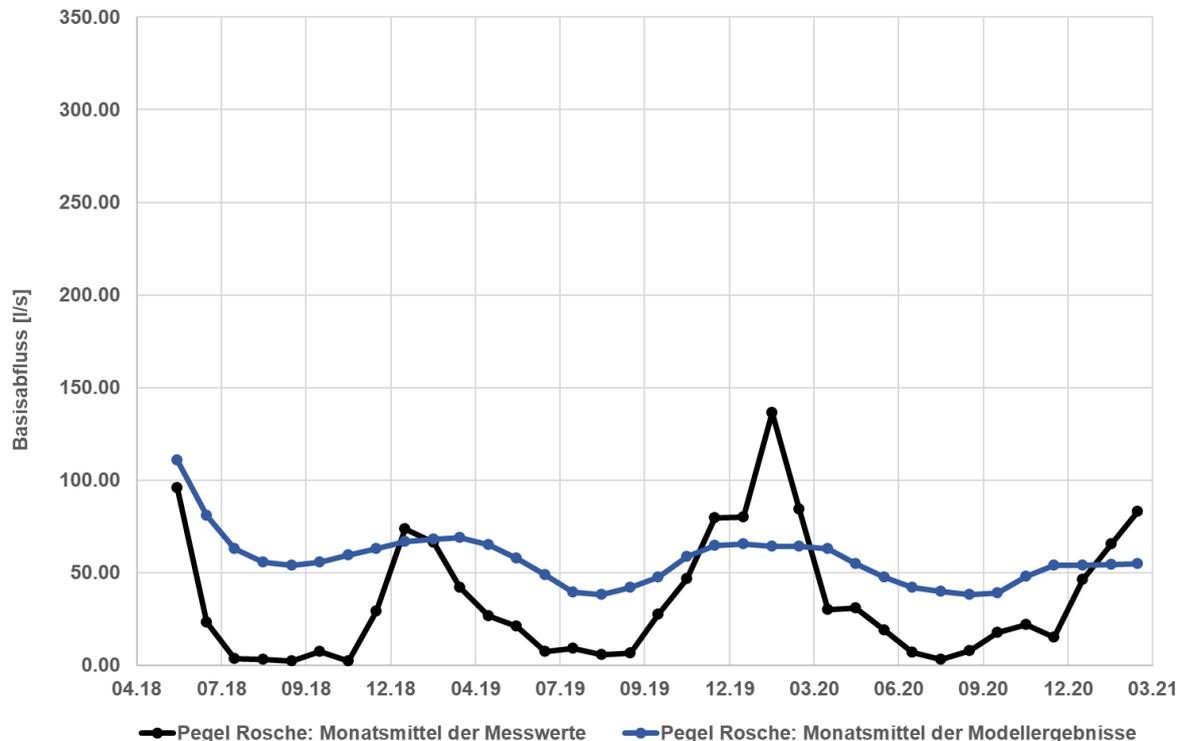


Abbildung 56: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Rosche

LK Lüneburg

Gegenüber den Pegeln im Landkreis Uelzen zeigt sich für den **Pegel Oedeme** eine Unterschätzung der Basisabflüsse durch das Grundwassermodell (vgl. Abbildung 57). Vor dem Hintergrund der vergleichsweise zu geringen Modell-Grundwasserstände an der Messstelle LG 236 P1 scheint dieses Ergebnis plausibel. Auffällig ist, dass die modellberechneten Basisabflüsse ab Dezember 2020 zurückgehen. Damit unterscheidet sich der Pegel Oedeme von den drei übrigen Pegeln im LK Uelzen.

Auch hier zeigt sich, dass der Wirkungszusammenhang am Messstellenkomplex Oedeme durch das Grundwassermodell aktuell noch nicht vollständig plausibel abgebildet wird (vgl. Kap. 7.4.1).

Generell muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass für die vorliegende Auswertung nur ein Zeitraum von fünf Monaten messtechnisch erfasst wurde. Der Vergleich dieses Zeitraums mit den Ergebnissen des Grundwassermodells lässt erste Einschätzungen zum Standort zu. Belastbare Aussagen aus dem Vergleich der Ganglinien sind allerdings erst mit kontinuierlichen Zeitreihen der Messwerte über einen längeren Zeitraum möglich. In diesem Zusammenhang ist auch die kontinuierliche Messung der Wasserstände am Hasenburger Mühlen dringend notwendig. Die gemessenen Wasserstände werden, wie in Kap. 7.3.1 beschrieben, als Randbedingung in das Grundwassermodell übertragen und haben damit eine direkte Auswirkung auf die modellberechneten Basisabflüsse.

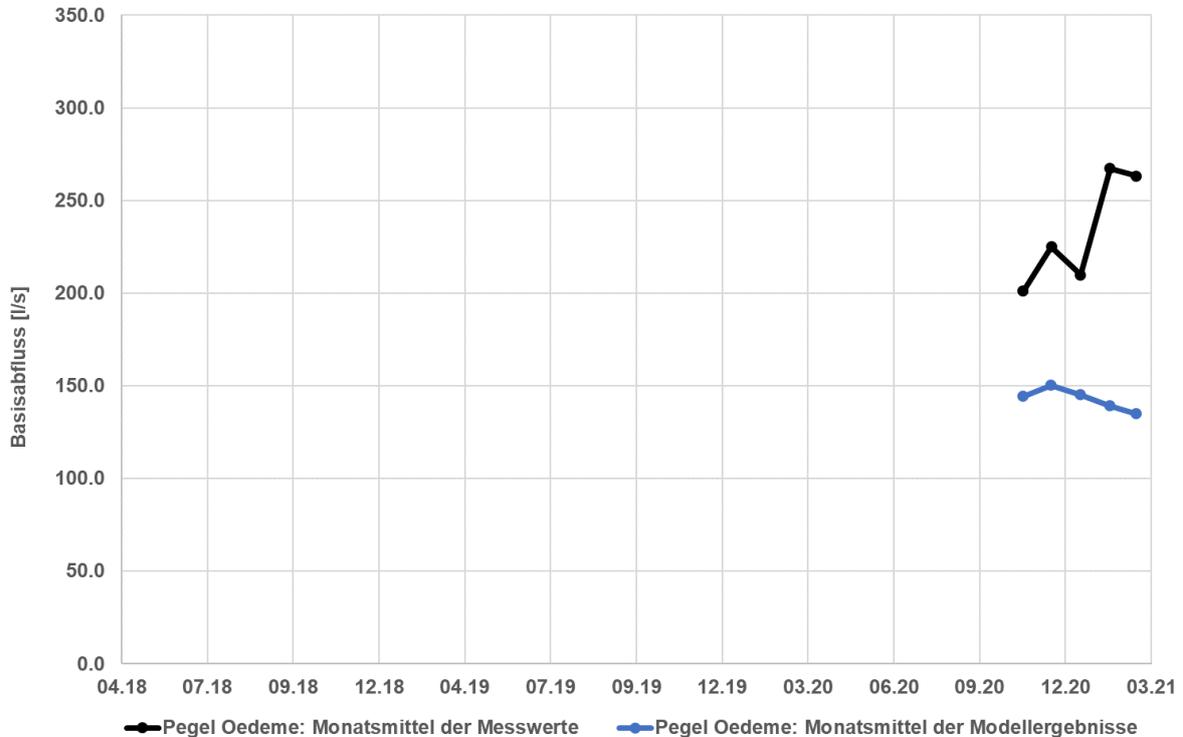


Abbildung 57: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Oedeme

Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen der Ganglinie der Modellergebnisse und der Messwerte ergibt sich aus der Methodik zur Bilanzierung der Basisabflüsse im Grundwassermodell. Generell wird im Modell eine Abflussmenge bilanziert, wenn die über die entsprechenden Gewässerrandbedingungen Wasser aus dem Grundwasserkörper entnommen wird. Dabei spielen die Austauschfläche zwischen Fließgewässer und Grundwasserkörper, die hydraulische Leitfähigkeit der Kolmationsschicht im Gewässerbett sowie der hydraulische Gradient zwischen Aquifer und Gewässer eine Rolle. Sobald an einem Gewässer der Grundwasserstand höher ist als der Wasserstand im Gewässer wird ein Abfluss bilanziert. Dies gilt für alle Gewässerabschnitte bis zum Standort des Pegels. Konkret bedeutet dies, dass eine Abflussmenge, welche beispielsweise im Oberlauf eines Gewässers bilanziert wird, bis zum Pegel fließt und dort abflusswirksam wird. Dies gilt, auch wenn Abschnitte des Fließgewässers auf dem Weg zum Pegel trockengefallen sind.

Hier unterscheidet sich der Bilanzierungsansatz im Modell deutlich von den realen Gegebenheiten. Im Fall der Abflussbildung im Oberlauf eines Gewässers würde dieser, sobald er einen Abschnitt erreicht, welcher aufgrund eines fehlenden Grundwasseranschlusses trockengefallen ist, direkt wieder in den Aquifer versickern und somit nicht am Pegel abflusswirksam werden. Bedingt durch diesen Unterschied scheint es naheliegend, dass die modellberechneten Abflussmengen in Trockenphasen generell größer sind als die Messwerte.

7.4.3 Zusammenfassung der Modellkalibrierung

Anhand der dokumentierten Ergebnisse kann zusammenfassend festgestellt werden, dass das neu aufgebaute und für den Kalibrierungszeitraum vom 01.04.2019 bis 01.04.2021 erweiterte numerische Grundwassermodell generell in der Lage ist, die Ganglinien der messwertbasierten Monatsmittelwerte an den neun dargestellten Grundwassermessstellen mehrheitlich gut abzubilden. Dies gilt ebenfalls für die Basisabflüsse an den vier untersuchten Oberflächen-gewässerpegeln. Gegenüber den Ergebnissen in [1] lassen sich keine nennenswerten Verschlechterungen der Anpassungsgüte erkennen.

Allerdings zeigen die Ergebnisse auch weiterhin gewisse Unschärfen. So bildet das Modell an den dargestellten Grundwassermessstellen die Absenkungen der Standrohrspiegelhöhen während der aktiven Feldberechnung in der Vegetationsperiode zu gering ab. Gleichzeitig werden in dieser Zeit die Basisabflüsse durch das Modell überschätzt. Hier besteht ein direkter Zusammenhang: Bedingt durch die zu hohen Standrohrspiegelhöhen im Nahbereich der Fließgewässer ergibt sich ein vergleichsweise zu steiler Gradient aus dem Grundwasser in Richtung des Fließgewässers, was zu einer Überschätzung der Basisabflüsse führt.

Der neu mit dem Modell betrachtete Messstellenkomplex Oedeme zeigt, dass die bisher im Grundwassermodell angenommenen hydrogeologischen Informationen an dieser Stelle nicht ausreichen, um den Wirkungszusammenhang zwischen Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung, Standrohrspiegelhöhen von Grundwassermessstellen sowie Basisabflüssen an Fließgewässern plausibel abzubilden. Zur Lösung des Problems wäre hier eine vertiefte Einarbeitung in die hydrogeologischen Gegebenheiten im Umfeld des Standortes sowie deren Umsetzung im Grundwassermodell notwendig.

7.5 Berechnung von Szenarien mit dem Grundwassermodell

Um den zeitlichen Verlauf der Auswirkungen von Änderungen der Beregnungsbrunnenentnahmen abschätzen zu können, wurden mit dem instationär kalibrierten Grundwassermodell über den Zeitraum von April 2018 bis Ende März 2021 drei Szenarien berechnet und diese hinsichtlich der resultierenden Änderungen der Standrohrspiegelhöhen und Basisabflussänderungen bewertet. Damit erweitert die Berechnung der Szenarien den in [1] gewählten Zeitraum um zwei weitere Jahre.

Nachfolgend sollen die drei Modellszenarien kurz erläutert werden. Sie entsprechen den in Kap. 7.5 in [1] beschriebenen Szenarien.

7.5.1 Ist-Zustand

Die Berechnungsergebnisse dienen zur Abschätzung des zeitlichen Verlaufs der Standrohrspiegelhöhen und der Abflüsse in Abhängigkeit von der jahreszeitlich schwankenden Grundwasserneubildungsrate und den Fördermengen. Diese Modellierung dient als Vergleichsgrundlage für die Betrachtung und Bewertung der Auswirkungen von Entnahmesteigerungen bzw. -reduktionen in den Pilotgebieten.

7.5.2 Keine Feldberechnung in den vier Pilotgebieten inkl. „Pufferzone“

Diese Modellierung dient als Grundlage für die Betrachtung und Bewertung der Entwicklung von Standrohrspiegelhöhen und Abflussmengen in den Vorflutern auf Grund der jahreszeitlich schwankenden Grundwasserneubildung ohne Einfluss der Feldberechnung. Die Entnahmen Dritter werden wie im Ist-Zustand im Modell berücksichtigt.

7.5.3 Steigerung der Feldberechnung in den vier Pilotgebieten inkl. Pufferzone um 30 %

Diese Modellierung dient als Grundlage für die Betrachtung und Bewertung der Auswirkungen von Entnahmesteigerungen zur Feldberechnung in den vier Pilot-Gebieten auf die Standrohrspiegelhöhen und Vorfluter. Die Entnahmen Dritter werden wie im Ist-Zustand im Modell berücksichtigt.

Die Startbedingung für die Verteilung der Standrohrspiegelhöhen der instationären Modellszenarien entspricht dem Endzustand des Modelltests (vgl. Kap. 7.2).

Tabelle 8: Daten der drei instationären Modellszenarien

Szenario	Bezeichnung & Kurzbeschreibung	Entnahmen zur Feldberechnung (Summe Zeitraum 04/2018 bis 03/2021)	
		Pegelgebiet	Entnahme [Mio. m ³]
1	Ist-Zustand Verwendung der realen Fördermengen für den Zeitraum 01/2018 bis 03/2021	Gr. Hesebeck	25,3
		Rosche	12,5
		Emern	18,8
		Oedeme	10,2
		Summe	66,8
2	Keine Feldberechnung innerhalb der vier Pilotgebiete inkl. der „Pufferzone“, ansonsten die Daten des Ist-Zustands	Gr. Hesebeck	0,0
		Rosche	0,0
		Emern	0,0
		Oedeme	0,0
		Summe	0,0
3	Steigerung der Feldberechnung um 30 % innerhalb der vier Pilotgebiete inkl. der „Pufferzone“, ansonsten die Daten des Ist-Zustands	Gr. Hesebeck	32,9
		Rosche	16,2
		Emern	24,5
		Oedeme	13,2
		Summe	86,1

Für die zukünftige Feldberechnung in den Landkreisen Lüneburg und Uelzen sowie der Stadt Lüneburg wird die Beantragung einer Wasserrechtlichen Erlaubnis aller Feldberechner auf der Ebene dieser drei Gebiete angestrebt (vgl. [13]). Im Rahmen der Beantragung ist eine durchschnittliche Steigerung der Gesamtentnahme von ca. 12 % geplant (vgl. [23]).

Bezogen auf die reine Betrachtung der vier Pilotgebiete liegt die hier durchgeführte Steigerung der Entnahmen zur Feldberegnung um 30 % über der angestrebten Steigerung um 12 %. Die in Kapitel 7.6 beschriebenen Änderungen der Standrohrspiegelhöhen und Basisabflüsse fallen bei einer Steigerung um 12 % entsprechend kleiner aus.

Die monatliche Verteilung der Grundwasserentnahmen für den Gesamtzeitraum ist in Abbildung 58 (oberes Diagramm) für die **drei Pilotgebiete im Landkreis Uelzen** dargestellt. Die höchsten Entnahmen zur Feldberegnung ergeben sich im Ist-Szenario in den Monaten Juni und Juli 2018 mit ca. 9,3 bzw. 7,9 Mio. m³/Monat. In den beiden Folgejahren liegen die Werte mit 7,1 und 3,1 bzw. 3,5 und 2,6 Mio. m³/Monat teils deutlich darunter. Bezogen auf die Jahressummen ist eine ähnliche Entwicklung zu beobachten. In 2018 liegt die Jahressumme bei ca. 28,8 Mio. m³/a, in 2019 ist dieser mit rd. 15,6 Mio. m³/a nahezu halbiert und in 2020 mit ca. 12,2 Mio. m³/a nochmals geringer.

Das untere Diagramm in Abbildung 58 zeigt die monatliche Verteilung der Grundwasserentnahmen für den Gesamtzeitraum für das **neue Pilotgebiet im LK Lüneburg**. Hier lassen sich die höchsten Entnahmen zur Feldberegnung im Ist-Szenario ebenfalls in den Monaten Juni und Juli 2018 mit jeweils ca. 1,2 Mio. m³/Monat erkennen. Im Unterschied zu den Entnahmen in den drei Pilotgebieten im LK Uelzen sind hier die Monatssummen im Mai und August 2018 in Relation vergleichsweise größer. In den beiden Folgejahren liegen die Werte mit 0,5 und 1,1 bzw. jeweils ca. 0,4 Mio. m³/Monat teils deutlich darunter. Bezogen auf die Jahressummen ist eine ähnliche Entwicklung zu beobachten. In 2018 liegt die Jahressumme bei ca. 4,9 Mio. m³/a, in 2019 ist dieser mit rd. 2,9 Mio. m³/a und in 2020 mit ca. 2,4 Mio. m³/a nochmals deutlich geringer.

Insgesamt sind die Entnahmen zur Feldberegnung im Pilotgebiet Oedeme im Vergleich der vier Pilotgebiete am geringsten.

Der Anteil der Entnahmen zur Feldberegnung in den drei Pilot-Gebieten im Groß Hesebeck, Emern und Rosche entspricht in Summe etwa 41 % der Entnahmen zur Feldberegnung im Landkreis Uelzen. Für das Pilotgebiet Oedeme ergibt sich ein Wert von ca. 20 % bezogen auf die Entnahmen zur Feldberegnung im LK Lüneburg.

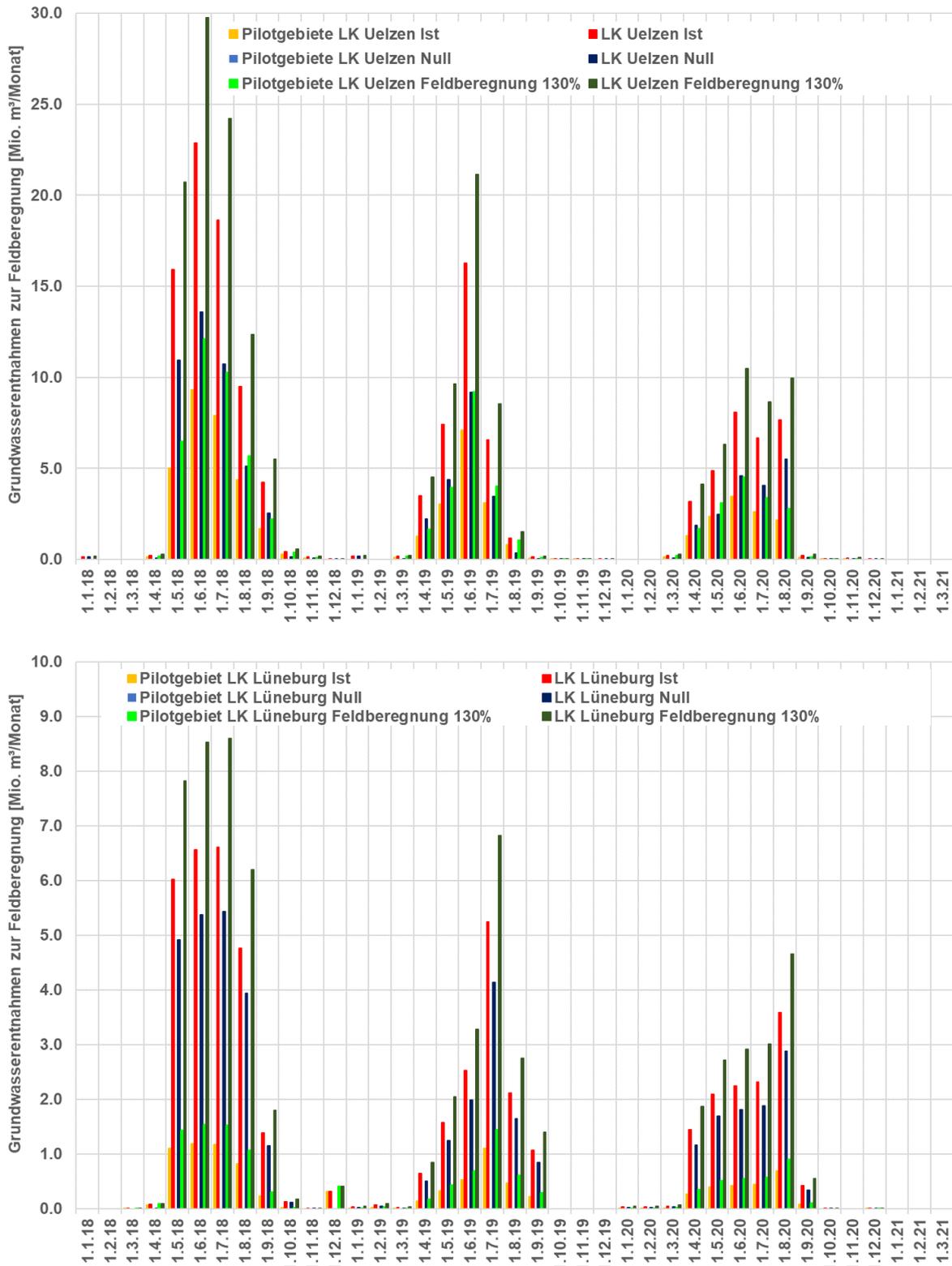


Abbildung 58: Monatsmengen der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung für die drei Szenarien unterteilt nach Summe der Pilotgebiete und Summe des LK Uelzen (obere Darstellung) sowie des LK Lüneburg (untere Darstellung)

7.6 Vergleich der Ergebnisse der Modellszenarien

7.6.1 Veränderung der Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen

In den nachfolgenden Darstellungen (Abbildung 59 bis Abbildung 67) sind die modellberechneten Ganglinien der neun Grundwassermessstellen im Nahbereich der Oberflächengewässerpegel in den vier Pilotgebieten dargestellt. Die Abbildungen zeigen jeweils eine Ganglinie für das Ist-Szenario (blau), für das Szenario mit Steigerung der Feldberegnung auf 130 % (rot) sowie für das Szenario ohne Feldberegnung in den vier Pilotgebieten (grün). Zum Vergleich ist in jeder Abbildung ebenfalls die Ganglinie der messwertbasierten Monatsmittelwerte (schwarz) abgebildet.

Generell zeigen die Ergebnisse, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten an den vier Standorten durch die Erhöhung der Entnahmen zur Feldberegnung um 30 % bzw. deren vollständige Deaktivierung unterschiedliche Reaktionen in den Ganglinienverläufen abbilden. Dabei lässt sich anhand der Ganglinienverläufe aller neun nachfolgend betrachteten Messstellen erkennen, dass die Erhöhung der Feldberegnung erwartungsgemäß zu einer zusätzlichen förderbedingten Absenkung in den Hauptförderperioden in den Sommermonaten führt (vgl. Abbildung 59 bis Abbildung 67). Bei gleichbleibender GWN reichen die Zeiträume dazwischen nicht aus, um die zusätzlichen förderbedingten Absenkungen wieder auszugleichen.

LK Uelzen

Generell kann ausgesagt werden, dass die Wirkung der veränderten Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung nicht nur auf den bewirtschafteten Hauptgrundwasserleiter (AQ3) beschränkt bleibt. Es zeigt sich an den drei betrachteten Messstellengruppen in Groß Hesebeck, Rosche und Emern jeweils eine sichtbare Reaktion in den Grundwassermessstellen im AQ3 bzw. im AQ2. Dies gilt auch für den Standort Oedeme im LK Lüneburg.

Im zeitlichen Verlauf der drei Beregnungssaisons in den Jahren 2018, 2019 und 2020 treten die modellberechneten Minima der Grundwasserstände in den Monaten Juni bis August auf. Dabei handelt es um die Monate mit den Vergleichsweise größten Entnahmen zur Feldberegnung (vgl. Abbildung 58, obere Darstellung). Eine zeitliche Verschiebung wie in [1] ist hier nicht erkennbar.

Der Vergleich der beiden Szenarien mit aktiver Feldberegnung mit dem Null-Szenario zeigt, dass sich die Zeitpunkte der Minima in den modellberechneten Ganglinien voneinander unterscheiden. Die witterungsbedingten Minima des Null-Szenarios, welche in den Monaten September bis November auftreten, werden durch die Wirkung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung zeitlich um bis zu drei Monate in den Sommer verschoben. Dieser Effekt zeigte sich in der Auswertung in [1] bisher nur an den beiden Messstellen Emern F1 / F2. In der vorliegenden Dokumentation zeigt er sich an allen Grundwassermessstellen der drei Pilotgebiete im LK Uelzen.

Die größten Differenzen sind an der Messstellengruppe **Emern F1 / F2** zu erkennen. Die Differenz zwischen Ist- und Null-Szenario beträgt an der GWMS Emern F1 Ende **August 2018**

ca. 1,0 m. Zwischen dem Ist-Szenario und dem Szenario mit den um 30 % erhöhten Feldberechnungsentnahmen liegt die Differenz zum gleichen Zeitpunkt bei rd. 0,3 m. Für die GWMS Emern F2 liegen die entsprechenden Werte bei 1,4 m (Vergleich Ist- und Null-Szenario) bzw. ca. 0,4 m (Ist- und Steigerungs-Szenario).

In den beiden Folgejahren verringern sich die Differenzen. Ende **Juli 2019** ergibt sich eine Differenz zwischen Ist- und Null-Szenario von rd. 0,8 m. Die Differenz zwischen dem Ist- und Steigerungs-Szenario liegt weiterhin bei ca. 0,3 m. Für die GWMS Emern F2 liegen die entsprechenden Werte bei 1,2 m (Vergleich Ist- und Null-Szenario) bzw. ca. 0,4 m (Ist- und Steigerungs-Szenario). Ende **August 2020** liegen die Werte für die GWMS Emern F1 bei ca. 0,6 m bzw. ca. 0,2 m. Für die GWMS Emern F2 ergeben sich Differenzen von rd. 0,9 m bzw. rd. 0,3 m (jeweils Vergleich Ist- und Null-Szenario bzw. Ist- und Steigerungs-Szenario).

Die Auswertung der Modellvarianten anhand der Vergleiche von messwertbasierten und modellberechneten Ganglinien an den GWMS Emern F1 und F2 zeigt, dass die Wirkung der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung an der tieferen Messstelle stärker ist als an der oberflächennahen Messstelle. Hier zeigt sich die hydraulische Wirkung des Grundwasserstauers zwischen den beiden Filterlagen. Die Wirkung der entnahmebedingten Absenkung im AQ3 ist im oberflächennahen AQ2 vergleichsweise deutlich geringer.

Analog zu den in [1] dokumentierten Ergebnissen zeigt der Ganglinienvergleich der modellberechneten Standrohrspiegelhöhen an der Messstellengruppe **Rosche F1 / F2**, dass sich bei einer Zunahme der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung um 30 % die aus den Messwerten hervorgehende Minima der Standrohrspiegelhöhen im Juli 2018 / Juli 2019 sowie August 2020 generell abbilden lässt. Mögliche Ursachen für die generell etwas schlechtere Modellanpassung an diesen Messstellen können kleinräumig auftretende geologische Effekte sein, welche im Grundwassermodell aktuell nicht implementiert sind. Hier könnte sich eine Verfeinerung des Modellnetzes als sinnvoll erweisen, sofern relevante geologische Informationen in einer Auflösung vorliegen, welche aufgrund der derzeitigen Elementgröße nicht im Modell abgebildet werden können.

Die Ganglinien der übrigen Grundwassermessstellen in den drei Pilotgebieten sind in Anlage 4 dargestellt. Die o.g. Effekte bezüglich Verschiebung des witterungsbedingten Jahresminimums bzw. Verbesserung der Modellanpassung durch Steigerung der Feldberechnung auf 130 % in den drei Pilot-Gebieten im LK Uelzen sind an diesen teils ebenfalls erkennbar. Zu beachten ist dabei, dass die gemessenen Standrohrspiegelhöhen der GWMS, sofern diese vom NLWKN bezogen wurden, nur bis Dezember 2020 vorliegen (vgl. Kap. 2.7). Entsprechend hört die Gangliniendarstellung der messwertbasierten Monatsmittelwerte zum Ende des Jahres 2020 auf.

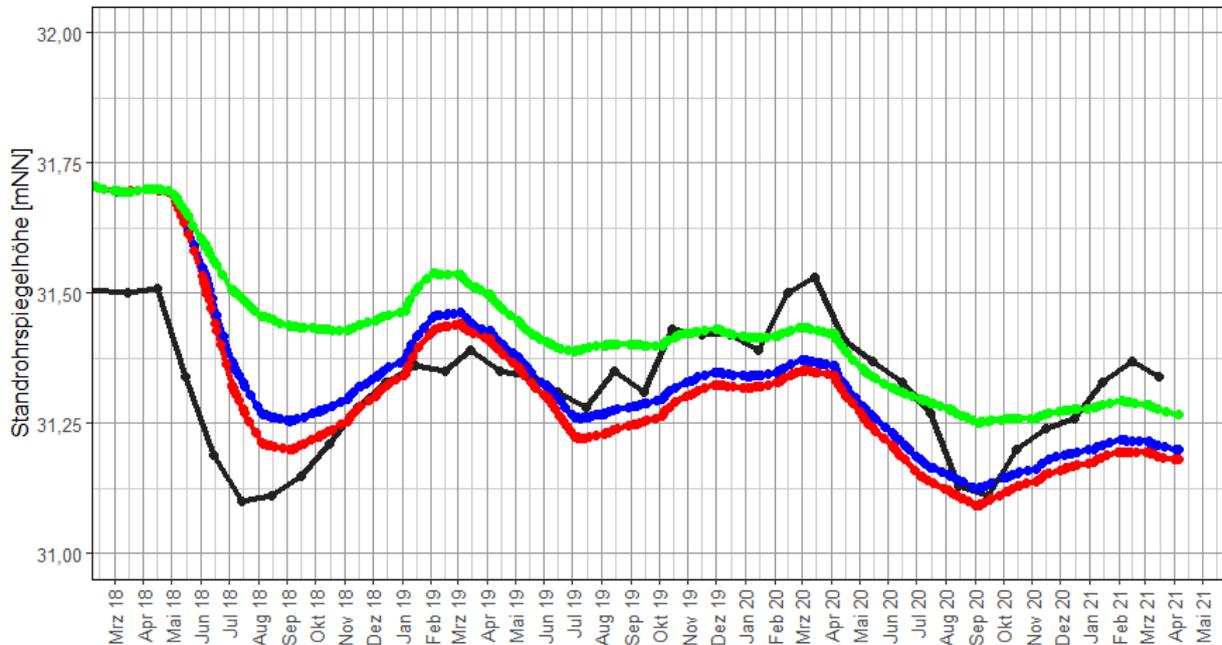


Abbildung 59: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2)

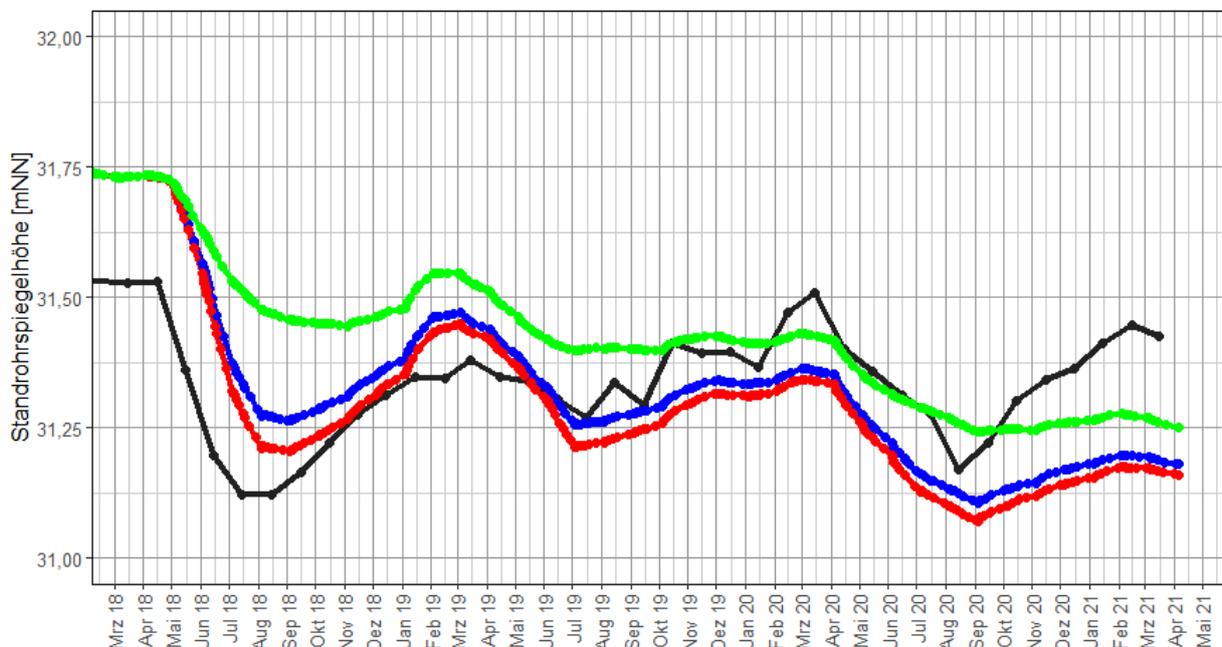


Abbildung 60: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F2 (AQ3)

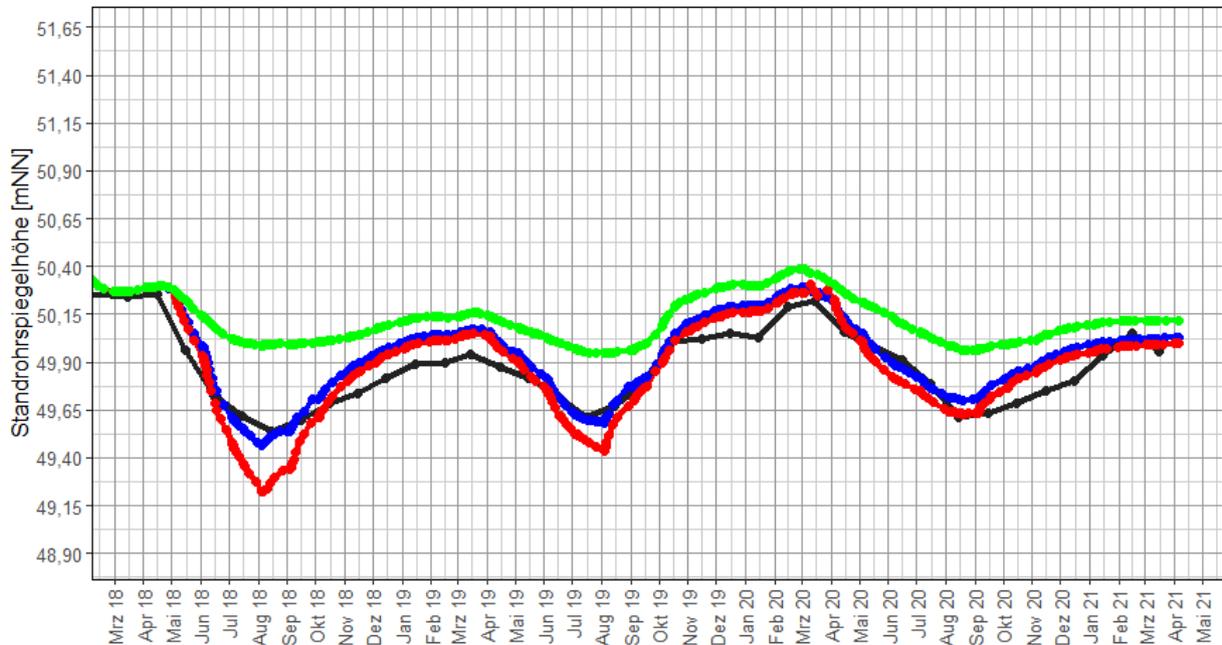


Abbildung 61: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)

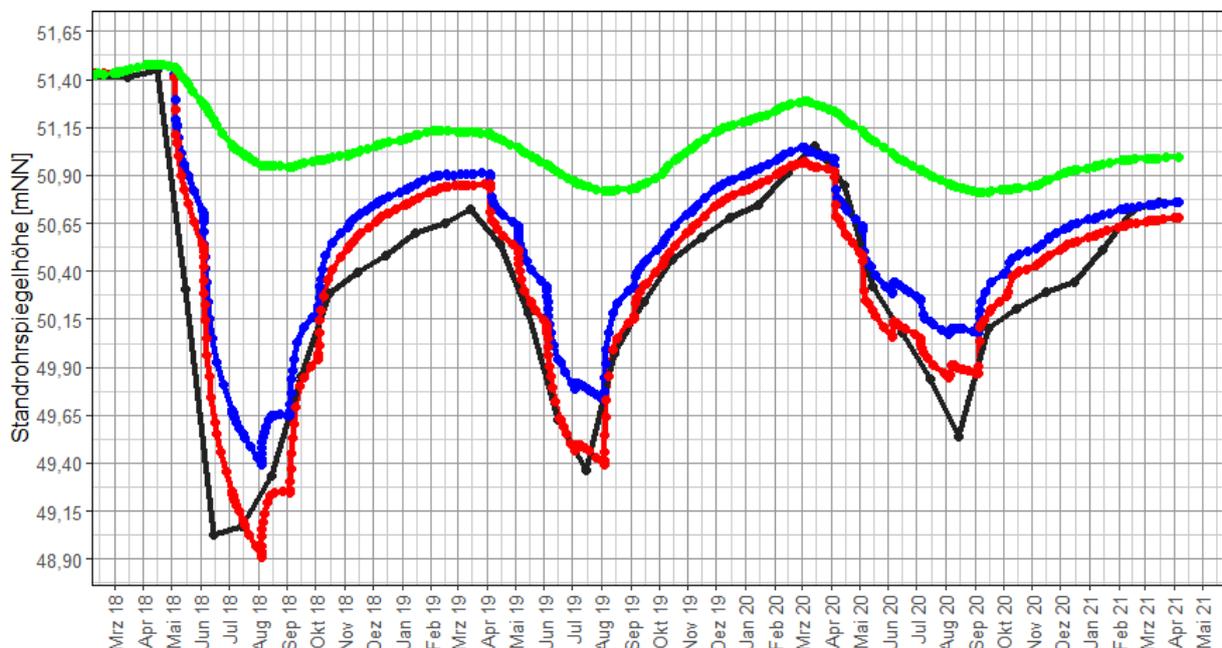


Abbildung 62: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)

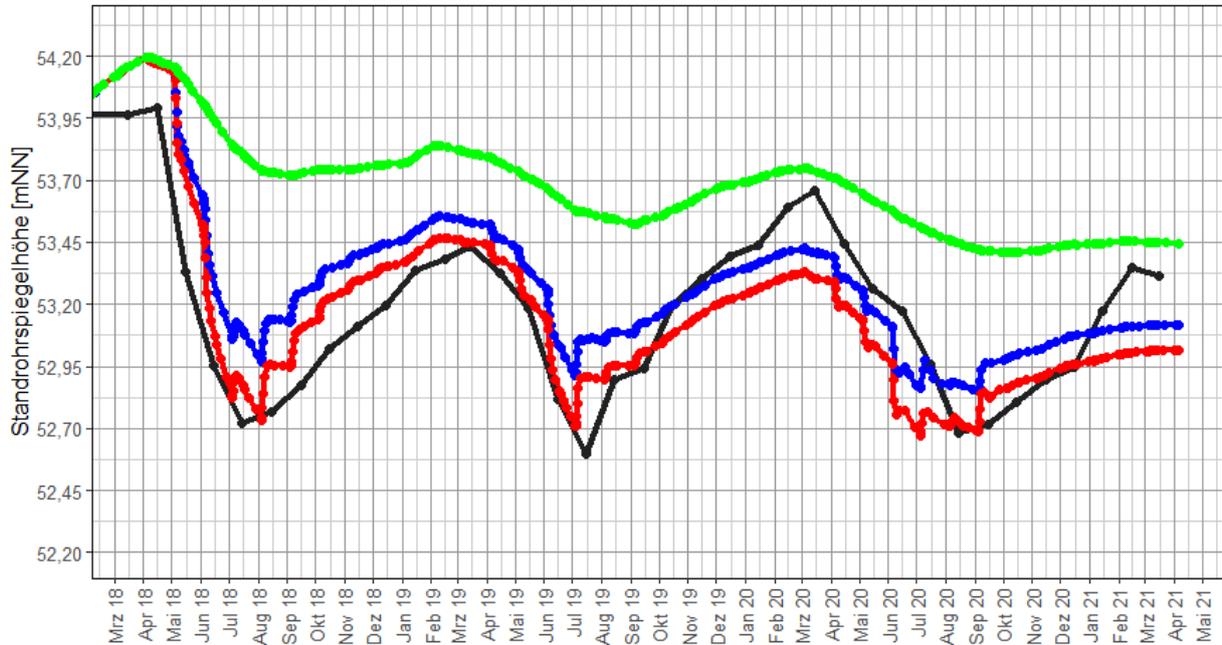


Abbildung 63: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3)

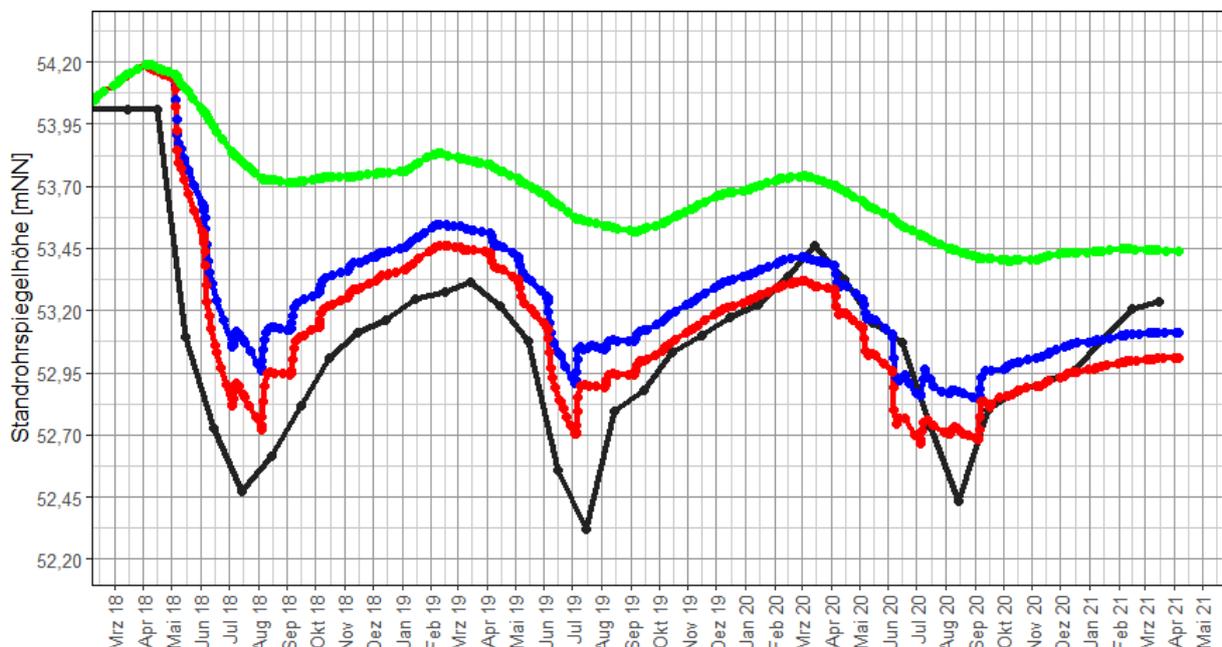


Abbildung 64: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3)

LK Lüneburg

Die Grundwassermessstellen LG 236 P1, P2 und P3 unterscheiden sich von denen in den Pilotgebieten des LK Uelzen, da hier keine Verfilterung im Hauptförderhorizont AQ3 vorliegt. Für die Messtelle **LG 236 P1** im oberflächennahen Grundwasserleiter AQ2 zeigen die Ergebnisse der drei Szenarios keinen wesentlichen Unterschied in den Ganglinienverläufen. Daraus ergibt sich, dass die Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung in der näheren Umgebung nur einen geringen Einfluss auf die gemessenen Standrohrspiegelhöhen der Messstelle haben. Dies bestätigen auch die Auswertungen des Messstellenkomplexes Oedeme in Kap. 6.4.

Im Unterschied dazu zeigt sich an den beiden Grundwassermessstellen **LG 236 P2 und P3** im AQ5 bzw. AQ6 eine vergleichsweise deutliche Reaktion auf die Änderung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung. Erwartungsgemäß führt die Steigerung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung um 30 % dazu, dass in den Sommermonaten die modellberechneten Standrohrspiegelhöhen zusätzlich absinken. Dabei ist erkennbar, dass sich mit zunehmender Grundwasserneubildung in den Herbst- und Wintermonaten die Differenzen zwischen den beiden Varianten mit aktiver Feldberegnung wieder etwas verringern. Aufgrund der fehlenden Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung im Null-Szenario ergeben sich vergleichsweise höhere Standrohrspiegelhöhen. Im Vergleich mit der Ganglinie der messwertbasierten Monatsmittelwerte zeigt sich dadurch eine im Mittel geringfügig bessere Modellanpassung. Allerdings verringern sich dadurch auch die Amplituden in den modellberechneten Ganglinien, welche in der Modellkalibrierung bereits als zu gering eingeschätzt wurden (vgl. Kap. 7.4.1).

Ebenfalls erkennbar ist, dass sich die witterungsbedingten Minima des Null-Szenarios gegenüber den beiden Szenarios mit aktiver Feldberegnung in den Pilotgebieten zeitlich um ca. zwei Monate später einstellen. Dies lässt sich ebenfalls an den Grundwassermessstellen im LK Uelzen beobachten.

Die Ganglinien der übrigen Grundwassermessstellen im Pilotgebiet Oedeme sind in Anlage 4 dargestellt. Die o.g. Effekte bezüglich Verschiebung des witterungsbedingten Jahresminimums bzw. Verbesserung der Modellanpassung durch Steigerung der Feldberegnung auf 130 % in den vier Pilot-Gebieten sind an diesen teils ebenfalls erkennbar. Zu beachten ist dabei, dass die gemessenen Standrohrspiegelhöhen der GWMS, sofern diese vom NLWKN bezogen wurden, nur bis Dezember 2020 vorliegen (vgl. Kap. 2.7). Entsprechend hört die Gangliniendarstellung der messwertbasierten Monatsmittelwerte zum Ende des Jahres 2020 auf.

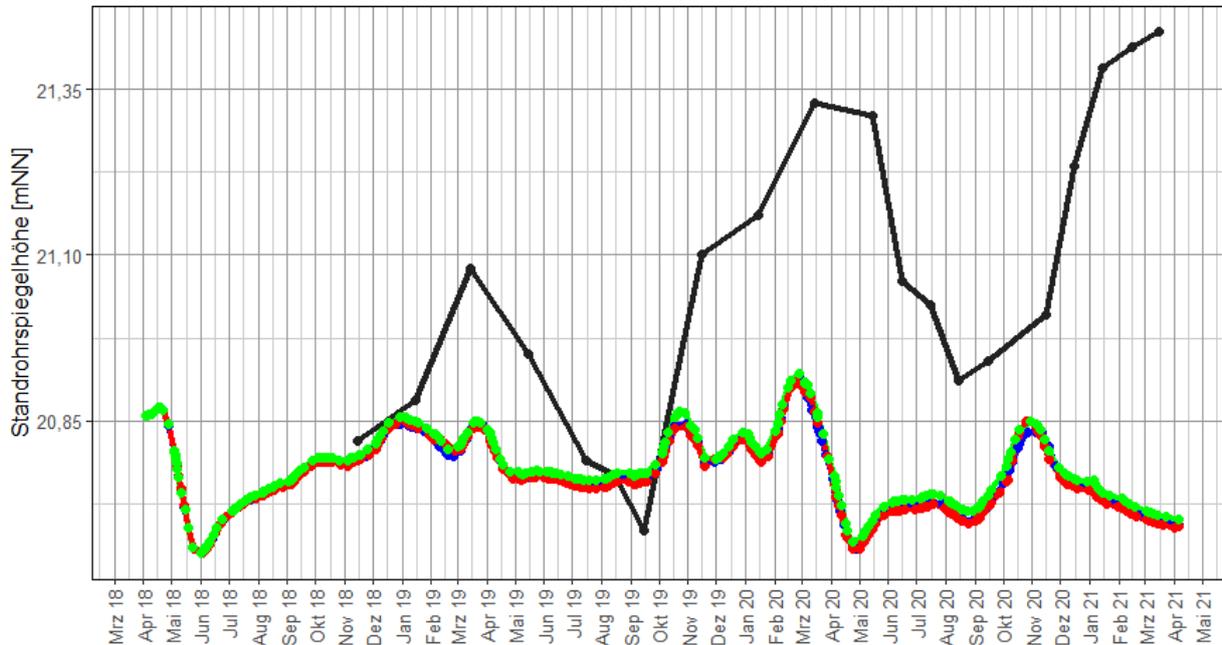


Abbildung 65: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle LG 236 F1 (AQ2)

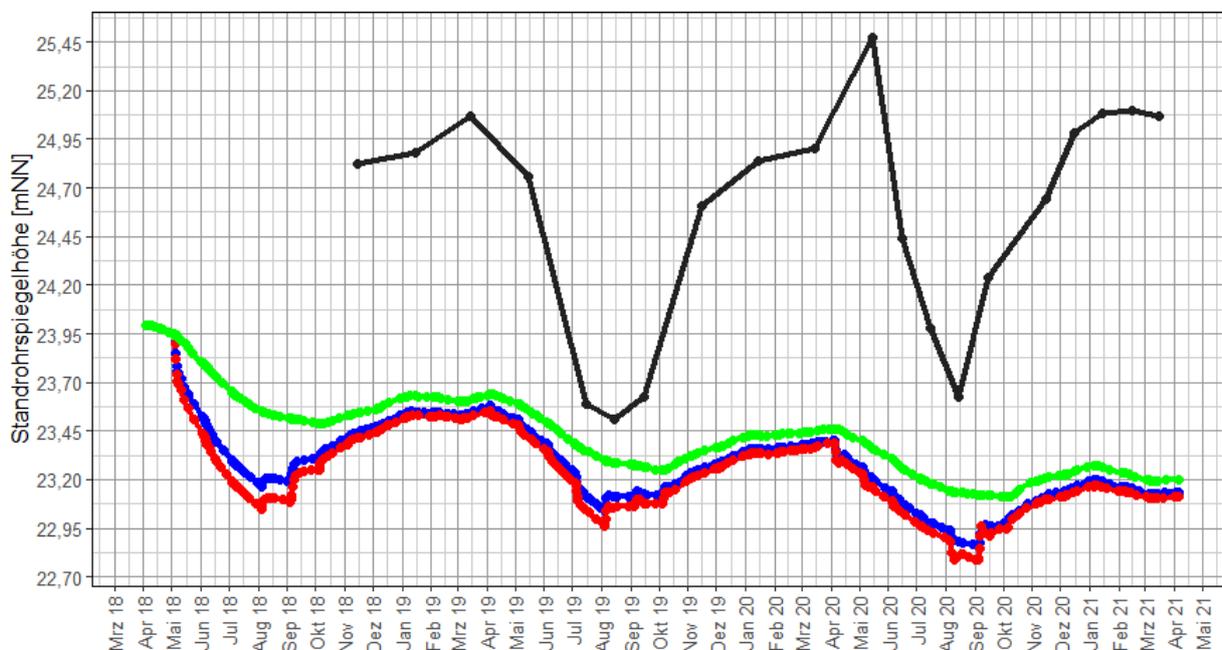


Abbildung 66: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle LG 236 F2 (AQ5)

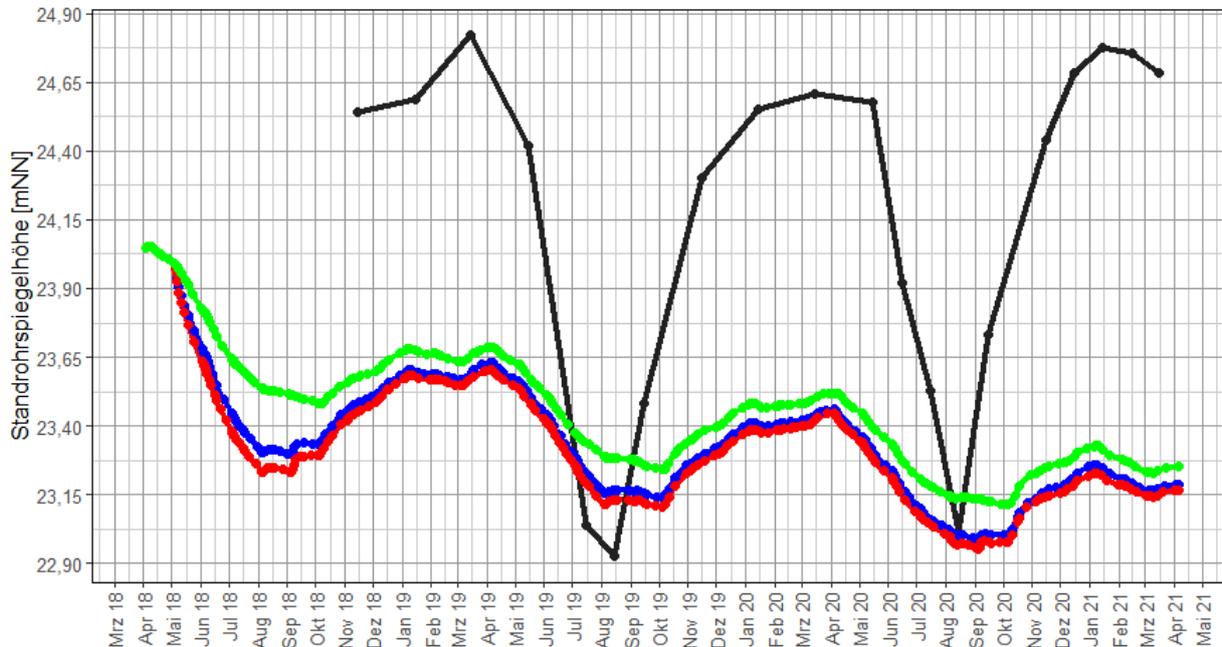


Abbildung 67: Ganglinienvergleich der messwertbasierten (schwarz) und modellberechneten (Ist-Szenario: blau; Steigerungs-Szenario: rot; Null-Szenario: grün) Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle LG 236 F3 (AQ6)

7.6.2 Veränderung des Basisabflusses an den Oberflächengewässerpegeln

Generell zeigt sich, dass die Basisabflüsse an den vier Pegeln auf die Veränderung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegung reagieren.

Die nachfolgende Tabelle 9 zeigt die Schwankungsbreiten der modellberechneten Basisabflüsse an den Pegeln in den vier Pilotgebieten für die Szenarien.

Erwartungsgemäß ergeben sich für das Szenario **Keine Feldberegung** die vergleichsweise größten Basisabflüsse. Dagegen werden für das Szenario **Steigerung der Feldberegung um 30 %** die geringsten Basisabflüsse berechnet.

Tabelle 9: Modellberechnete Basisabflüsse an den Pegeln in den vier Pilotgebieten

Pegel	Keine Feldbereg- nung			Ist-Zustand			Steigerung der Feld- beregung um 30%		
	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
	[l/s]								
Rosche	78.0	99.3	125.3	37.6	56.9	110.6	27.3	46.9	106.8
Emern	124.2	143.2	165.1	72.3	100.4	159.0	56.7	88.1	157.2
Groß Hese- beck	208.2	240.9	284.4	173.8	210.5	260.5	164.5	202.5	254.1
Oedeme	130.2	139.6	148.3	119.3	127.1	134.8	116.2	123.1	130.5
Summe	540.7	622.9	723.2	402.9	494.8	664.9	364.8	460.6	648.5

Ohne die Grundwasserentnahmen zur Feldberegung in den vier Pilotgebieten nimmt die Summe der mittleren Basisabflüsse um ca. 26 % zu, während sie bei einer Erhöhung der Feldberegungsentnahmen um ca. 7 % geringer wird. Am Pegel Rosche führt die fehlende Feldberegung in den vier Pilot-Gebieten zu einem Anstieg der minimalen Basisabflüsse um etwa 110 %. Für den Pegel Emern liegt die Zunahme bei rd. 72 %, am Pegel Groß Hesebeck bei etwa 20 % und Oedeme um ca. 9 %. Im Vergleich reagieren die Maxima der Basisabflüsse deutlich unempfindlicher auf die Änderungen der Grundwasserentnahmen zur Feldberegung als die Minima.

Nachfolgend stellen die Abbildung 68 bis Abbildung 71 den zeitlichen Verlauf der Basisabflüsse an den Pegeln in den vier Pilotgebieten dar.

Generell zeigen die Ergebnisse, dass die modellberechneten Basisabflüsse des Null-Szenarios aufgrund der verminderten Grundwasserentnahmen zur Feldberegung in den vier Pilotgebieten gegenüber dem Ist-Szenario deutlich ansteigen. Das Maximum der Abflusszunahme liegt zwischen ca. 13,6 l/s (ca. +10 %) am Pegel Oedeme und ca. 79,8 l/s (ca. +43 %) am Pegel Groß Hesebeck. Hierbei ist der direkte Zusammenhang zwischen Grundwasserentnahme und Basisabfluss zu erkennen. Nach Tabelle 8 finden im Pegelzugsgebiet Groß Hesebeck im Vergleich die höchsten sowie im Pegelzugsgebiet Oedeme die geringsten Grundwasserentnahmen zur Feldberegung statt.

Demgegenüber sinken die Basisabflüsse durch die um 30 % erhöhten Grundwasserentnahmen zur Feldberegung ab. Der Wertebereich der Verminderung liegt zwischen ca. -19,1 l/s (ca. -10 %) am Pegel Groß Hesebeck und ca. -5,2 l/s (ca. -4 %) am Pegel Oedeme.

Sowohl Maxima wie auch Minima werden an den Pegeln Groß Hesebeck und Emern in den Monaten der höchsten Grundwasserentnahmen (Juli / August) erreicht.

Analog zu den Ergebnissen in [1] ist auch in den vorliegenden Ergebnissen erkennbar, dass die Wirkung der erhöhten Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung in den Sommermonaten durch Grundwasserneubildung in den dazwischenliegenden Monaten nicht wieder abklingt. Am ehesten ist dieses Abklingen am Pegel Groß Hesebeck zu erkennen, da sich hier die Differenzen der Ganglinien zwischen Ist-Szenario und dem Szenario Steigerung der Feldberegnung auf 130 % in den Grundwasserneubildungsperioden in den Wintermonaten wieder verkleinern. Dies gilt auch für den Pegel Oedeme, wobei hier die Ganglinie der messwertbasierten Abflüsse zu kurz ist, um belastbare Aussagen zu treffen.

An den Abflussganglinien der Pegel Rosche und Emern ist dieser Effekt nicht zu beobachten. Hier ergibt sich durch die Erhöhung der Grundwasserentnahme zur Feldberegnung in den Sommermonaten 2018 eine Differenz, welche über den restlichen Simulationszeitraum mit Ausnahme kleinerer Schwankungen gleichbleibt.

Für alle vier Pegel gilt dies auch für die Vergrößerung des Basisabflusses bei Deaktivierung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung im Null-Szenario.

Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt ergibt sich aus der Tatsache, dass das Grundwassersystem innerhalb des Simulationszeitraums bisher noch keinen quasistationären Gleichgewichtszustand erreicht hat.

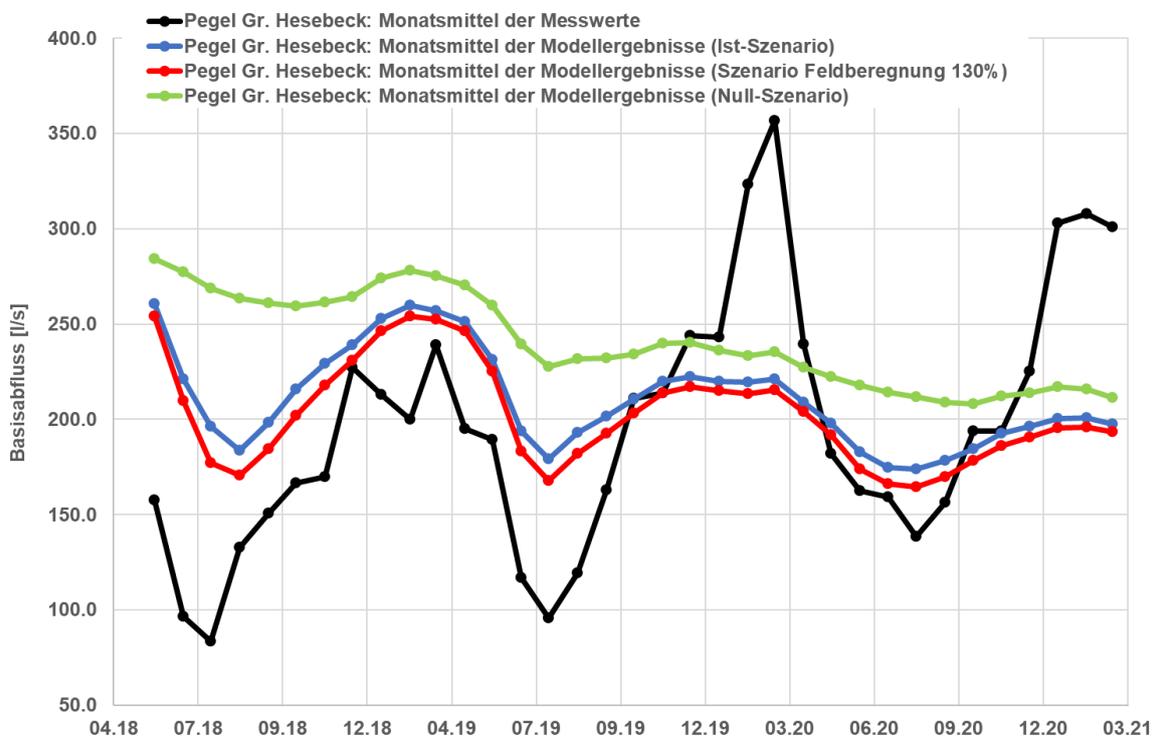


Abbildung 68: Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Groß Hesebeck

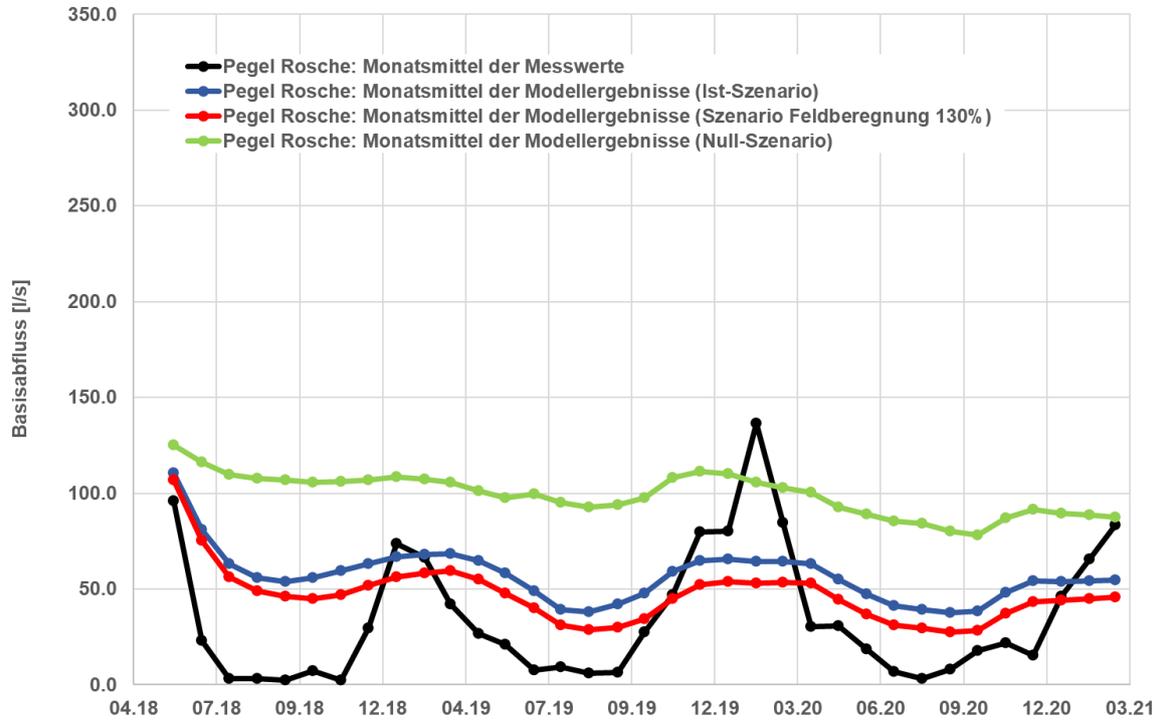


Abbildung 69: Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Rosche

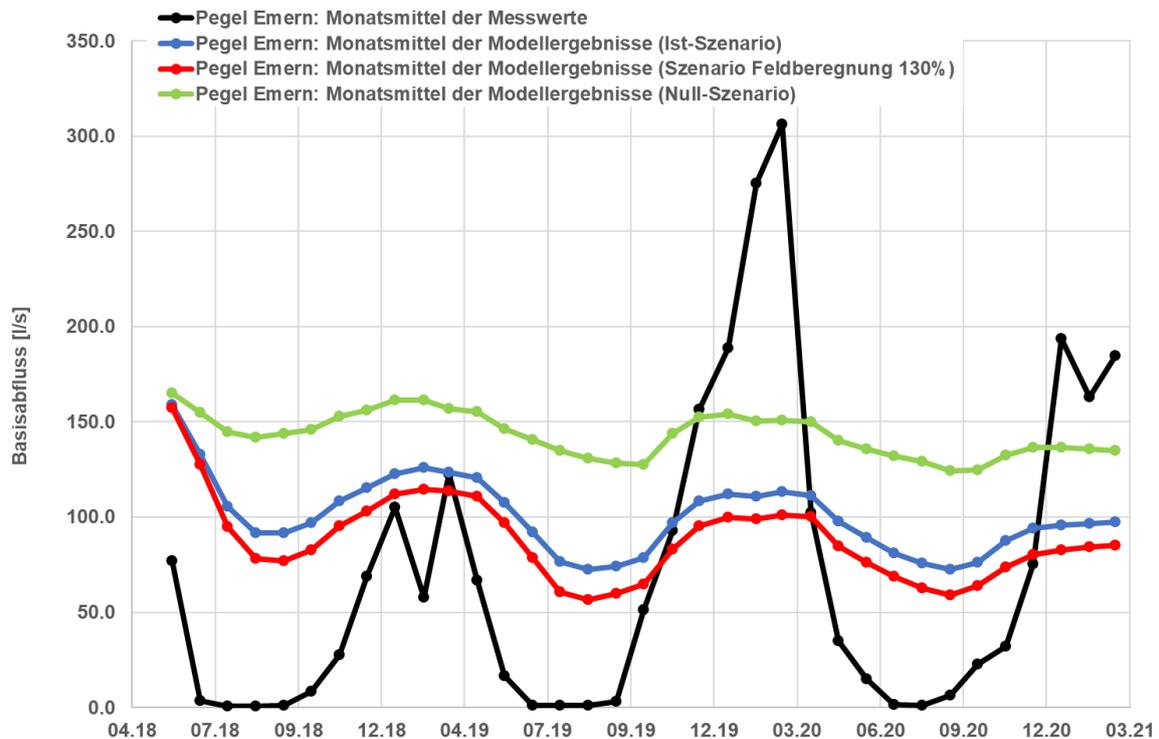


Abbildung 70: Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Emern

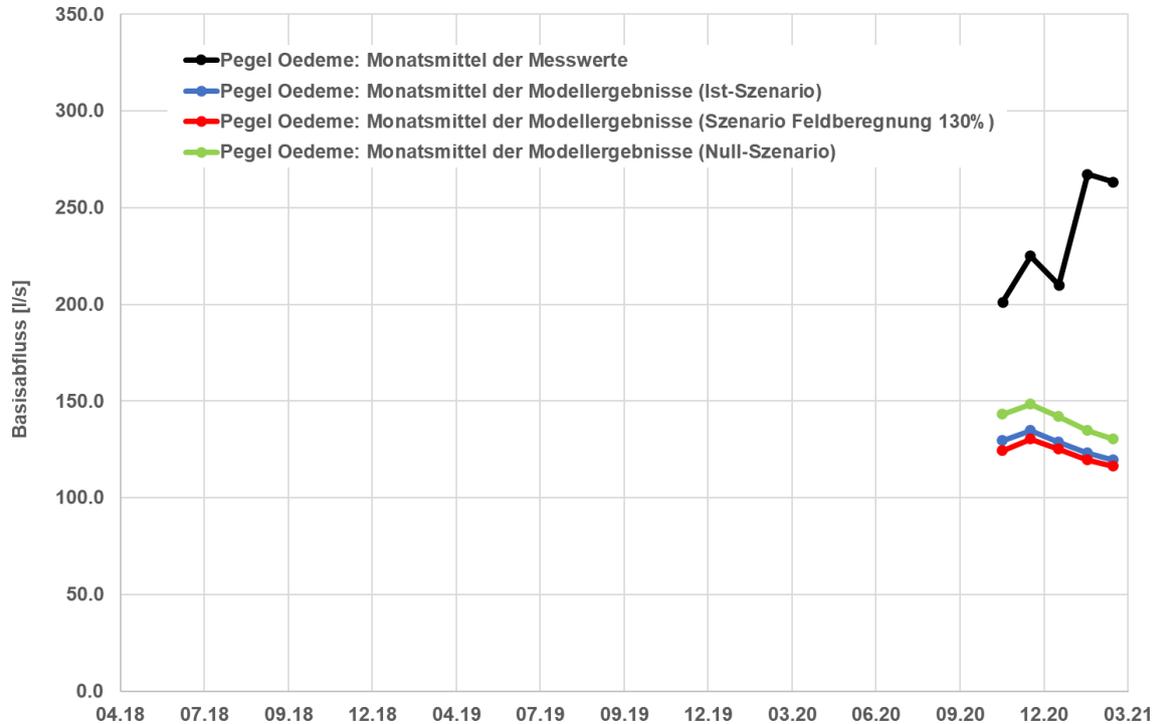


Abbildung 71: Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Oedeme

7.7 Zwischenfazit Grundwassermodell

Mit dem numerischen Grundwassermodell wurde eine Szenario-Untersuchung für den Zeitraum 01/2018 bis 04/2021 durchgeführt. Dabei wurde in drei Modellvarianten untersucht, wie sich die Standrohrspiegelhöhen an Grundwassermessstellen und die Basisabflüsse an Oberflächengewässern in den vier betrachteten Pilotgebieten durch unterschiedliche Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung verändern.

Generell ist festzustellen, dass der Einsatz des Grundwassermodells als Entscheidungs- und Unterstützungssystem zur Quantifizierung dieser Auswirkungen geeignet ist. Die Zusammenhänge aus Grundwasserentnahmen im Förderhorizont, gemessenen Standrohrspiegelhöhen im Förderhorizont und im oberflächennahen Grundwasserleiter sowie messwertbasierten Basisabflüssen an den Oberflächengewässern des Monitorings lassen sich anhand der Modellergebnisse meist klar nachvollziehen.

Hier ist vor allem der Messstellenkomplex Oedeme zu nennen, welche in der vorliegenden Bearbeitung erstmalig mit dem Grundwassermodell abgebildet wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die aus den gemessenen Standrohrspiegelhöhen bzw. über die Auswertung nach WITENBERG abgeleiteten Basisabflüsse durch das numerische Grundwassermodell mit einer aktuell nur geringen Anpassungsgüte nachvollzogen werden können. Eine mögliche Erklärung für die geringe Anpassungsgüte scheint darin zu liegen, dass die hydrogeologische Modellvorstellung am Standort nicht den realen Gegebenheiten entspricht. Hier ist eine weitere vertiefte

Einarbeitung in die Geologie und die daraus resultierenden Wirkungszusammenhänge zwischen Grundwasserentnahmen, Standrohrspiegelhöhen und Basisabflüssen notwendig, um die Modellvorstellung zu schärfen und plausiblere Modellergebnisse zu erzielen. In diesem Zusammenhang ist die kontinuierliche Fortsetzung der Messungen am Standort dringend erforderlich, um die Reaktionen bei verschiedenen Systemzuständen auswerten zu können. Weiterhin lässt sich durch eine kontinuierliche Messreihe der Wasserstände am Pegel die im Grundwassermodell verwendete Ganglinie zur Beschreibung des Gewässers weiter präzisieren. Diese hat einen direkten Einfluss auf den Basisabfluss, sodass eine kontinuierliche Messreihe dabei hilft die Modellinhalte weiter zu präzisieren.

Anhand der von den Dachverbänden Lüneburg und Uelzen übermittelten Datensätze für das Jahr 2018 können die in der bisherigen Bearbeitung in [1] angenommen Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung mit realen Mengen präzisiert werden. Dabei zeigt sich, dass die realen Mengen in ähnlicher Größenordnung liegen wie die ursprünglich angenommenen Daten für 2018, es lokal aber zu Unterschieden in den Entnahmemengen kommt, welche u.a. die Nachkalibrierung für das Jahr 2018 in den drei bisherigen Pilotgebieten notwendig machten. Aus unserer Sicht ist es daher erforderlich, dass zukünftig weiterhin die realen Fördermengen der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung verwendet werden, um lokalen Unplausibilitäten mit vergleichsweise zu hohen oder zu niedrigen Entnahmemengen zu vermeiden. **Vor dem Hintergrund, dass die Berechnungen und Auswertungen von Szenarien mit dem Grundwassermodell als Prognose- und Entscheidungs-Unterstützungs-Werkzeug vor Beginn einer Vegetationsperiode eingesetzt werden soll, um daraus mögliche Vorgaben für die Feldberechnung abzuleiten, ist es aus unserer Sicht erforderlich, dass spätestens mit Jahresbeginn ein vollständiger Datensatz der tatsächlichen Entnahmen zur Feldberechnung aus der vorherigen Vegetationsperiode vorliegt.**

Anhand der vom NLWKN bezogenen Grundwasserentnahmen in den umliegenden Landkreisen konnten die Modellinhalte weiter präzisiert werden. Dabei zeigt sich, dass es über die drei Jahre, welche mit dem Modell berechnet wurden zu einem deutlichen Rückgang der Entnahmen kommt. Der Rückgang der Mengen in der hier dokumentierten Größenordnung ergibt sich aus dem sparsameren Umgang mit dem Grundwasser zu Berechnungszwecken. Hierzu hatten die Genehmigungsbehörden der beiden Landkreise Lüneburg und Uelzen sowie der Stadt Lüneburg im Nachgang der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung im Trockenjahr 2018 aufgefordert. Generell ist eine Fortschreibung der Entnahmen anhand von realen Werten auch in den umliegenden Landkreisen sinnvoll.

Aus dem Vergleich der Modellergebnisse ergibt sich, dass eine Zunahme der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung die Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen und damit auch die Basisabflüsse an den Oberflächengewässerpegeln verringert. Im Hinblick auf die Einhaltung der Ziele der EU-WRRL bedarf es der Definition von Kriterien, nach denen die Ergebnisse der Modellbetrachtungen bewertet werden können. Hier wäre beispielsweise die Vorgabe von Mindestabflüssen an Pegeln bzw. von Mindestgrundwasserflurabständen im Nahbereich von gwaLÖS denkbar, um einer Verschlechterung des ökologischen Zustands

wirksam entgegenzuwirken. Eine Ausarbeitung solcher Kriterien unter Einbeziehung der entsprechenden Fachbehörden sollte in einer zukünftigen Fortführung des Projektes erfolgen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit dem numerischen Grundwassermodell in seiner aktuellen Form die Voraussetzung für ein belastbares Entscheidungs- und Unterstützungssystem geschaffen wurde. Im Rahmen einer Fortführung des Projektes könnten die bisher identifizierten Schwachstellen weiter minimiert werden.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit Hilfe des Monitoringsystems können die Standrohrspiegelhöhen in den Grundwassermessstellen sowie die Abflüsse und Wasserstände in den Fließgewässern messtechnisch gut erfasst werden. Anhand der Messreihen lassen sich die Zusammenhänge zwischen der Wirkung der Grundwasserentnahmen und den daraus resultierenden Reaktionen des Aquifersystems und der Vorfluter plausibel ableiten. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sich diese Zusammenhänge mit Hilfe des numerischen Grundwassermodell als Entscheidungs- und Unterstützungssystem mehrheitlich schlüssig abbilden lassen.

Um zukünftig weitere Aussagen über den Einfluss der Grundwasserentnahmen zur Feldberegung auf den Grundwasserhaushalt und auf naturschutzfachlich relevante Schutzgüter treffen zu können, wurden bereits nach Betrachtung der ersten Messperiode im Zeitraum 2018 und 2019 [20] vier wesentliche Punkte herausgearbeitet, die berücksichtigt werden sollten. Diese Punkte sind nach den Erfahrungen aus der Fortführung des Messbetrieb weiterhin relevant:

1. Fortführung der Messungen an den Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegeln in den drei bestehenden Pilotgebieten im LK Uelzen sowie dem neuen Pilotgebiet im LK Lüneburg,
2. Ausweisung zusätzlicher Pilotgebiete, inkl. Bau neuer Grundwassermessstellen und Pegel bzw. Ertüchtigung bestehender Bauwerke,
3. Definition naturschutzfachlicher Schwellenwerte,
4. Zeitnahe Bereitstellung der Grundwasserentnahmen zur Feldberegung im Landkreis Uelzen und Landkreis Lüneburg sowie in den umliegenden Landkreisen, welche im Grundwassermodell abgebildet werden (erweiterte Randbedingung).

Wie bereits im Abschlussbericht [1] erläutert, dient die Fortführung des Messbetriebes dazu das Systemverständnis für die Pilotgebiete weiter auszubauen und zu schärfen.

Mit der Erweiterung des Messbetriebes bis Juni 2021 in den drei bestehenden Pilotgebieten im LK Uelzen sowie dem ergänzenden Pilotgebiet im LK Lüneburg und der Abbildung im numerischen Grundwassermodell bis März 2021, ist das bestehende Systemverständnis erweitert worden. Aufgrund der trockenen Witterungsverhältnisse im Jahr 2020, ist nach 2018 und 2019 ein weiteres Trockenjahr erfasst und betrachtet worden.

Die aktuelle Datengrundlage zeigt mit den drei aufeinanderfolgenden Trockenjahren, bedingt durch die innerjährliche Verteilung der Niederschläge, bereits eine hohe Variabilität der Entnahmemenge durch die Feldberegung (Gesamtentnahmemenge und jahresspezifische Monatsverteilung). Dies macht umso deutlicher, dass der Messbetrieb weiter fortgeführt werden sollte, um längere Zeitreihen mit z.B. unterschiedlichen Witterungsbedingungen zu erfassen (Punkt 1). Je länger die Zeitreihen bzw. je größer die Datengrundlage, desto größer wird die Kenntnis über die Reaktion des Aquifersystems auf die Variabilität unterschiedlichster Einflussfaktoren (Niederschlag, Gesamtentnahmemenge, jahresspezifische Verteilung der Entnahme, etc.).

Eine Betrachtung dieser Zusammenhänge mit dem Grundwassermodell kann langfristig dazu führen, dass ein Prognosewerkzeug entsteht, mit dem man bereits vor Beginn der Beregnungsperiode Aussagen über die Entwicklung der Grundwasserspeicher für verschiedene, in der Vergangenheit aufgetretene Bewirtschaftungsszenarien (Gesamtentnahmen und deren innerjährliche Verteilung) treffen kann. In diesem Zusammenhang sollte es eine Festlegung von naturschutzfachlichen Schwellenwerten in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Fach- und Genehmigungsbehörden geben, um die berechneten Veränderungen des Aquifersystems und der Basisabflüsse bewerten zu können (Punkt 3).

In diesem Zusammenhang ist die Einrichtung weiterer Mess- und Überwachungsgebiete (Punkt 2) innerhalb des Modellgebietes erforderlich. Im Zuge der Arbeiten zum vorliegenden Erweiterungsbericht, ist der Standort Oedeme am Hasenburger Mühlenbach im Landkreis Lüneburg („Grundwasserkörper Ilmenau Lockergestein links“) erkundet und ertüchtigt worden. Das Systemverständnis im Bereich des Untersuchungsgebietes Hasenburger Mühlenbach konnte dadurch - wie erhofft - ausgebaut werden. Allerdings zeigt sich an diesem Standort, dass die hydrogeologische Modellvorstellung einer weiteren Präzisierung bedarf, da die mit dem Grundwassermodell erzielten Ergebnisse die aus Messwerten gewonnenen Zielgrößen derzeit noch nicht zufriedenstellend beschreiben.

Weitere Standortmöglichkeiten liegen, wie bereits in [1] beschrieben, in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg verteilt und sind in Abbildung 17 dargestellt. Hieraus ergäbe sich generell der Vorteil, dass dort Standorte mit anderen Eigenschaften bezüglich des geologischen Schichtaufbaus bzw. unterschiedlichen Größen der Pegeleinzugsgebiete herangezogen werden könnten. Dies führt dazu, dass auch für diese und ähnliche Standorte mit gleichen Eigenschaften Aussagen über die Interaktion zwischen den Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung und den daraus resultierenden Entwicklungen der Standrohrspiegelhöhen und Basisabflüsse getätigt werden können. Ferner ergibt sich eine positive Rückkopplung für das Grundwassermodell, sodass kleinräumige hydraulische Zusammenhänge besser verstanden und damit die allgemeine Modellrepräsentanz verbessert werden kann. Sie dienen damit auch der Prüfung einer Übertragbarkeit des Systems auf andere Bereiche.

Für die Erkundung und Ertüchtigung neuer Pilotgebiete bildet die bisher erlangte Erfahrung eine wesentliche Grundlage. Sowohl im laufenden Messbetrieb, als auch in der nachträglichen Verarbeitung der gewonnenen Daten, bedarf es weiterhin einigen Optimierungen. Als besonders pflegeintensiv stellte sich die Stromversorgung durch das schnelle Entladen der Akkus heraus. Um den Aufwand durch den regelmäßigen Tausch der Akkus zu minimieren, könnten die bisherigen und weiteren Messstellenstandorte mit Solarpanels ausgestattet werden, um eine zuverlässigere Stromversorgung zu gewährleisten.

Weiterhin sind alle Abflussmessstellen und Grundwassermessstellen mit Datenfernübertragungstechnik ausgestattet worden. Die gesammelten Daten (Wasserstände, Abflüsse, Standrohrspiegelhöhen) werden täglich auf einen FTP-Server übermittelt und können über das Webportal „HT-Analytics“ abgerufen und visualisiert werden. Die ersten Erfahrungen der Datenfernübertragungstechnik haben gezeigt, dass wie erhofft schnell auf auftretende Probleme im Messbetrieb reagiert werden kann, nichtsdestotrotz unterschiedlichste Herausforderungen

(geringe Sendeleistung, sensibles Antennenkabel, etc.) die Zuverlässigkeit des Systems beeinträchtigt haben.

Mit Hilfe des Monitoring-Systems können anhand der erhobenen Messwerte die Wirkzusammenhänge und -intensitäten zwischen Veränderungen der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung und den daraus resultierenden Veränderungen der gemessenen Standrohrspiegelhöhen bzw. grundwasserbürtigen Basisabflüsse abgeleitet werden. Dieses System kann allerdings keine prognostischen Aussagen darüber liefern, wie sich die resultierenden Veränderungen bei unterschiedlichen Förderszenarien entwickeln. Aus diesem Grund ist für zukünftige Betrachtungen der Einsatz des Grundwassermodells zwingend notwendig, um anhand verschiedener Förderszenarien das daraus hervorgehende Systemverhalten zu prognostizieren.

Der vierte Punkt beschreibt eine entscheidende Voraussetzung für ein funktionsfähiges Entscheidungs- und Unterstützungssystem. Der wesentlichste Aspekt hierbei ist die zeitnahe Bereitstellung der für das instationäre numerische Grundwasserströmungsmodell notwendigen Daten, insbesondere der monatlichen Grundwasserentnahmen für die Feldberechnung in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg sowie die Entnahmen in Teilen der umliegenden Landkreise, welche als erweiterte Randbedingung fungieren.

Das numerische Grundwassermodell wurde in der aktuellen Überarbeitung mit Informationen aus unterschiedlichen Quellen präzisiert. Hierbei handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess, welcher parallel zur zeitlichen Fortschreibung des Grundwassermodells erfolgen sollte. Dabei ist zu beachten, dass zusätzliche Informationen die vorhandene Datenbasis präzisieren und ggf. um neue Aspekte erweitert, was ggf. dazu beiträgt, bei bestehenden Unplausibilitäten in den Ergebnissen einen neuen Lösungsweg aufzuzeigen.

Weiter wünschenswert wäre eine vom NLWKN zeitnah bereitgestellte und geprüfte Ganglinie des Pegels Bienenbüttel, da dieser aufgrund seines Einzugsgebietes als Leitpegel für den gesamten Landkreis Uelzen angesehen werden kann. Sollte dies nicht möglich sein, muss auch die Verwendung ungeprüfter Rohdaten der NLWKN-Pegel in Betracht gezogen werden, sofern diese Daten herausgegeben werden können.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit dem numerischen Grundwassermodell in seiner aktuellen Form die Voraussetzung für ein belastbares Entscheidungs- und Unterstützungssystem geschaffen wurde. Für die Berechnung plausibler Ergebnisse mit dem Modell ist es weiterhin jedoch zwingend erforderlich die Datengrundlage kontinuierlich zu erweitern und den Messbetrieb fortzuführen. Im Hinblick auf den Messbetrieb sollten geeignete Maßnahmen getroffen werden, um die Kontinuität der Aufzeichnungen weiter zu verbessern. Den Einsatz einer autarken Stromversorgung an den Messstellengruppen sehen wir dabei als einen wichtigen Schritt an.

Hildesheim, den 21. Januar 2022



i. A. M. Sc. Geoökol. Daniel Nienstedt
Projektbearbeiter



i. A. M. Sc. Umwelting. Manuela König
Projektbearbeiter



i. V. Dipl.-Geol. Michael Bruns
*Von der IHK Hannover öffentlich bestellter
und vereidigter Sachverständiger für das
Sachgebiet „Hydrogeologie“*

9 Verwendete Unterlagen und Literatur

- [1] CONSULAQUA, Stiller, B., Nienstedt, D., Bruns, M. und Schmedding, H.: Entwicklung und Erprobung eines Monitoringsystems sowie von Vorschlägen für die Bewirtschaftungssteuerung großräumiger Grundwasserkörper am Beispiel der Region Uelzen – Abschlussbericht, Projekt 53055, unveröffentlicht.
- [2] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN; AQUARIUS – Dem Wasser kluge Wege ebnen, Abschlussbericht, Uelzen 2012
- [3] REUTTER, E.; 2011: Hydrostratigraphische Gliederung Niedersachsens – Geofakten 21, Boden und Wasser, Version 28.02.2011, S. 11; Hannover
- [4] Wasserwirtschaftsamt Lüneburg, Hinrichs u. Montz (1988): Ermittlung der Grundwasserzuflüsse in den Elbe-Seitenkanal, unveröffentlicht, 14.04.1988
- [5] NLWKN (2019): Gewässernetz (WRRL), Gewässertypen, Gewässerstruktur (Detailstrukturkartierung) und Bewertung/Bestandsaufnahme nach WRRL von 2015, E-Mail vom 02.07.2019
- [6] Wundt, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen, In: Grahnmann: Die Grundwässer der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. - Forsch. Dtsch. Landeskunde, 104: 47-54, Remagen
- [7] NLWKN (2018): Niedersächsische Landesdatenbank für wasserwirtschaftliche Daten - Wasserstände und Abflüsse an Messstellen, <http://www.wasserdaten.niedersachsen.de/cadenza/pages/home>
- [8] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFÄLLE E.V. (2013): Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser, DWA-Themen T2/2013
- [9] DWD Climate Data Center (CDC), Vieljähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1981-2010, Version v1.0
- [10] DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen der Niederschlagshöhe und der mittleren Lufttemperatur in 2 m Höhe, Version v21.3, abgerufen am 11.06.2021.
- [11] ConsulAqua - Geo Infometric, Lankenau, U., Schmedding, H., Hohlbein, J., Schlegel, C. und M. Bruns (2014): Hydrogeologisches Gutachten zur Erneuerung des Wasserrechtes für die Fassungen Nordheide Ost und West sowie für die Fassung Schierhorn der Hamburger Wasserwerke GmbH, Projekt 52242, Juli 2014, unveröffentlicht
- [12] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHS. E. V.: Technische Regel – Arbeitsblatt W 107, Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten Bonn, Februar 2016

- [13] Consulaqua - Geo Infometric, Schmedding, H., Bruns, M., Stiller, B., Nienstedt, D. und M. Strub: Durchführung einer Grundlagenermittlung bzw. Bedarfsplanung für die durch die Dachverbände Feldberegung in den Landkreisen Lüneburg und Uelzen zu stellenden Wasserrechtsanträge, Projekt 52463, unveröffentlicht
- [14] DHI-Wasy GmbH (2015): Feflow 7.2 - Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System, DHI, www.feflow.com
- [15] SonTek – a Xylem brand (2016): SonTek-IQ Series, User's Manual
- [16] Toloczyki, M et al., Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (GK1000), 4. Auflage, 15.07.2006
- [17] Ertl G., Bug J., Elbracht J., Engel N. und F. Herrmann (2019): GeoBerichte 36 - Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen – Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/144522/GeoBerichte_36.pdf
- [18] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Geodaten-Download: Hydrographische Karten, EG-WRRL, Natura 2000
- [19] NLWKN, Konzept zur Berücksichtigung direkt grundwasserabhängiger Landökosysteme bei der Umsetzung der EG-WRRL (2. Bewirtschaftungszyklus), März 2013
- [20] Landkreis Uelzen – Umweltamt, Biotopkartierung des Landkreises Uelzen, Datenlieferung vom 27.02.2019
- [21] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA: „Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch“, 2018
- [22] NLWKN (2021): Niedersächsische Landesdatenbank für wasserwirtschaftliche Daten - Wasserstände und Abflüsse an Messstellen, <http://www.wasserdaten.niedersachsen.de/cadenza/pages/home>
- [23] Consulaqua Hildesheim, ALW Arbeitsgruppe Land & Wasser, Geries Ingenieure GmbH (2020): Anträge zur Erteilung von Erlaubnissen nach §10 WHG für die Entnahme von Grundwasser zu Beregnungszwecken – Unterlage zur Unterrichtung über das Vorhaben gemäß § 15 UVP, im Auftrag des Vorhabensträger Dachverband Feldberegung Lüneburg (DFL) / Dachverband Feldberegung Uelzen (DFU)