



Pilotgebiet GE 4: AquaModul

Entwicklung und Erprobung eines Monitoring- systems sowie von Vorschlägen für die Bewirtschaftungssteuerung großräumiger Grund- wasserkörper am Beispiel der Region Uelzen

- Abschlussbericht -

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

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

M. Sc. Geow. Björn **Stiller**
M.Sc. Geoökol. Daniel **Nienstedt**
Dipl.-Geol. Michael **Bruns**
Dipl.-Geol. Hilger **Schmedding**

Projektnummer: 53055

Hildesheim, im April 2020

INHALTSVERZEICHNIS

ANLAGENVERZEICHNIS.....	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	8
ABSTRACT	9
ZUSAMMENFASSUNG	10
1 VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG.....	11
2 GRUNDLAGEN UND SYSTEMBESCHREIBUNG	12
2.1 LANDSCHAFT UND BÖDEN	13
2.2 GEOLOGIE.....	14
2.3 HYDROGEOLOGIE	15
2.4 KLIMA	17
2.5 GRUNDWASSERNEUBILDUNG.....	19
2.6 GRUNDWASSERENTNAHMEN	20
2.7 GRUNDWASSERMESSSTELLEN.....	24
2.8 GRUNDWASSERHÖHEN- UND -FLIEßRICHTUNGEN.....	26
2.9 FLIEßGEWÄSSER UND PEGEL	28
3 METHODIK.....	36
3.1 KONZEPT MONITORINGSYSTEM	36
3.2 AUSWAHL DER PILOTGEBIETE	38
3.3 MESSSTELLENAUFBAU	44
4 PROBEBETRIEB DES MONITORINGSYSTEMS	47
4.1 ABFLUSSMESSTECHNIK.....	47
4.2 KONTROLLMESSUNGEN UND KALIBRIERUNG.....	48
4.3 ABLEITUNG DES BASISABFLUSSES.....	50
4.4 ERFAHRUNGEN AUS DEM MESSBETRIEB	50
5 IMPLEMENTIERUNG EXTERNER DATEN	56
5.1 WETTERDATEN (DWD).....	56
5.2 ABFLUSS- UND GRUNDWASSERGANGLINIEN (NLWKN).....	56
5.3 WASSERENTNAHMEN.....	56
6 ERGEBNISSE AUS DEM PROBEBETRIEB	57
6.1 GROß HESEBECK	57
6.2 ROSCHE	59
6.3 EMERN	62
6.4 ZWISCHENFAZIT MONITORING-SYSTEM.....	64
7 ENTSCHEIDUNGS- UND UNTERSTÜTZUNGSSYSTEM	66

7.1	AUFBAU GRUNDWASSERMODELL.....	67
7.2	KALIBRIERUNG UND VERIFIZIERUNG DES NUMERISCHEN MODELLS	69
7.2.1	STATIONÄRE MODELLKALIBRIERUNG	69
7.2.2	INSTATIONÄRE MODELLKALIBRIERUNG	70
7.2.3	SENSITIVITÄTSANALYSE	70
7.2.4	MODELLTEST	70
7.3	MODELLBERECHNUNG FÜR DEN ZEITRAUM JANUAR 2018 BIS APRIL 2019.....	71
7.3.1	DATENGRUNDLAGEN.....	73
7.4	KALIBRIERUNG DES ZEITRAUMS VON 01.01.2018 BIS 31.03.2019	77
7.4.1	KALIBRIERUNG DER STANDROHRSPIEGELHÖHEN AN DEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN	79
7.4.2	KALIBRIERUNG DER BASISABFLÜSSE AN DEN OBERFLÄCHENGEWÄSSERPEGELN	85
7.4.3	ZUSAMMENFASSUNG DER MODELLKALIBRIERUNG.....	87
7.5	BERECHNUNG VON SZENARIEN MIT DEM GRUNDWASSERMODELL.....	87
7.5.1	IST-ZUSTAND	89
7.5.2	KEINE FELDBERECHNUNG IN DEN DREI PILOTGEBIETEN INKL. „PUFFERZONE“.....	89
7.5.3	STEIGERUNG DER FELDBERECHNUNG IN DEN DREI PILOTGEBIETEN INKL. PUFFERZONE UM 30 % ..	89
7.6	VERGLEICH DER ERGEBNISSE DER MODELLSZENARIEN	90
7.6.1	VERÄNDERUNG DER STANDROHRSPIEGELHÖHEN AN DEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN	90
7.6.2	VERÄNDERUNG DES BASISABFLUSSES AN DEN OBERFLÄCHENGEWÄSSERPEGELN	95
7.7	ZWISCHENFAZIT GRUNDWASSERMODELL	98
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....	100
9	VERWENDETE UNTERLAGEN UND LITERATUR.....	104

Anlagenverzeichnis

- | | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der Grundwassermessstellen |
| Anlage 2 | Messprotokolle der Abflussmessungen |
| 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 [17]	12
Abbildung 2:	Relief und Landschaftsgliederung	13
Abbildung 3:	Geologische Karte mit Eisrandlagen (GK1000) [15].....	14
Abbildung 4:	Hydrostratigraphische Einheiten im Untersuchungsgebiet.....	16
Abbildung 5:	Blockbild des hydrogeologischen Strukturmodells	17
Abbildung 6:	Klimadiagramm für den Landkreis Uelzen (Gebietsmittel) [8]	17
Abbildung 7:	Mittlerer jährlicher Niederschlag im Untersuchungsgebiet [8]	18
Abbildung 8:	Grundwasserneubildung (mGROWA) [16]	19
Abbildung 9:	Lage der Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen sowie in den angrenzenden Landkreisen innerhalb des Untersuchungsgebietes.....	21
Abbildung 10:	Jährliche Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen sowie in den angrenzenden Landkreisen für den Zeitraum 2008 bis 2017	22
Abbildung 11:	Lage und GWL-Zuordnung der Grundwassermessstellen im Modellgebiet.....	24
Abbildung 12:	Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung März 2018)	26
Abbildung 13:	Differenzenplan zwischen Geländeoberfläche und Standrohrspiegelhöhe AQ3 (Stichtagsmessung März 2018)	28
Abbildung 14:	Verlauf der Fließgewässer und des Elbe-Seitenkanals im Modellgebiet	29
Abbildung 15:	Einteilung der Fließgewässer im Modellgebiet nach Gewässertypen [4]	30
Abbildung 16:	Gesamtbewertung der Veränderung des natürlichen Zustandes an den Fließgewässern im Untersuchungsgebiet [4]	31
Abbildung 17:	Bewertung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials nach EU-WRRL der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet [4]	33
Abbildung 18:	Lage und oberirdische Einzugsgebiete der elf betrachteten Pegel im Modellgebiet....	35
Abbildung 19:	Gewässernetz (WRRL) und Teileinzugsgebiete der Ilmenau [17]	38
Abbildung 20:	Grundwasserflurabstände < 5 m (Stichtagsmessung März 2018) [17]	39
Abbildung 21:	Grundwasserabhängige Landökosysteme (ungegliedert) und FFH-Gebiete im Landkreis Uelzen [17] [18] [19]	40
Abbildung 22:	Wasserentnahmen für die Feldberegnung im Landkreis Uelzen [17]	41
Abbildung 23:	Lage der Pilotgebiete	43
Abbildung 24:	Aufbau einer Messstellengruppe (Prinzipskizze)	44
Abbildung 25:	Abflussmesssonde (Sontec IQ) montiert auf einer Gehwegplatte (a); Pegelstandort Emern unter einer Straßenbrücke mit Auslesestation am Ufer (b).....	45

Abbildung 26:	Grundwasserstandsdatenlogger (Diver) (a), Grundwassermessstelle in Rosche (b) ..	45
Abbildung 27:	Abflussmesssonde "Sontec IQ" mit Darstellung der akustischen "beams" [14]	47
Abbildung 28:	Unstetigkeiten in der geräteinternen Abflussberechnung (Bsp. Emern)	48
Abbildung 29:	Kalibriergüte Groß Hesebeck (vor Umbau)	49
Abbildung 30:	Kalibriergüte Rosche.....	49
Abbildung 31:	Kalibriergüte Emern	49
Abbildung 32:	Treibholz in Rosche	51
Abbildung 33:	Staudamm in Rosche.....	52
Abbildung 34:	Biologischer Bewuchs und gereinigte Sensorflächen.....	53
Abbildung 35:	Hohe Streubreite der Geschwindigkeitsmessung in Rosche bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten und geringem Wasserstand.	53
Abbildung 36:	Fließverhalten des Röbbelbachs in Gr. Hesebeck (Pinzipskizze)	54
Abbildung 37:	Messstelle Groß Hesebeck nach dem Umbau (20.06.2019).....	55
Abbildung 38:	Ergebnisse der Messstellengruppe Groß Hesebeck (Wasserentnahmen 2019 noch nicht bekannt)	57
Abbildung 39:	Abfluss-Stichtagsmessung Röbbelbach	59
Abbildung 40:	Ergebnisse der Messstellengruppe Rosche (Wasserentnahmen 2019 noch nicht bekannt)	60
Abbildung 41:	Abfluss-Stichtagsmessung Rosche	61
Abbildung 42:	Ergebnisse der Messstellengruppe Emern (Wasserentnahmen 2019 noch nicht bekannt)	62
Abbildung 43:	Abfluss-Stichtagsmessung Esterau	64
Abbildung 44:	Modellnetz mit LK Uelzen (hellgrün).....	68
Abbildung 45:	Modellnetz mit den drei Pilotgebieten mit einem Puffer von 1500m (Groß Hesebeck: rot, Emern: dunkelblau, Rosche: hellblau) im LK Uelzen (hellgrün)	72
Abbildung 46:	Prozentuale Verteilung der innerjährlichen Stromverbräuche zur Verteilung der gemeldeten Feldberechnungsmengen für das Jahr 2018.....	74
Abbildung 47:	Monatssummen der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung in den drei Pilotgebieten, im LK Uelzen sowie Gesamtentnahme (inkl. Entnahmen Dritter) für das Modellgebiet.....	74
Abbildung 48:	Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Groß Hesebeck	76
Abbildung 49:	Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Rosche ...	76
Abbildung 50:	Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Emern	77

Abbildung 51: Lage der Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegel, die für die Kalibrierung des Modells für den Zeitraum Januar 2018 bis März 2019 verwendet wurden	79
Abbildung 52: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2) ...	80
Abbildung 53: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Hesebeck F2 (AQ3).....	81
Abbildung 54: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)	82
Abbildung 55: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)	82
Abbildung 56: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3).....	83
Abbildung 57: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3).....	84
Abbildung 58: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Gr. Hesebeck	85
Abbildung 59: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Emern	86
Abbildung 60: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Rosche	86
Abbildung 61: Monatsmengen der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung für die drei Szenarien unterteilt nach Summe der Pilotgebiete und Summe des LK Uelzen	89
Abbildung 62: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)	92
Abbildung 63: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)	92
Abbildung 64: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3).....	93
Abbildung 65: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3).....	93
Abbildung 66: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2)....	94
Abbildung 67: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F2 (AQ3)....	94
Abbildung 68: Prozentuale Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Rosche	96
Abbildung 69: Prozentuale Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Emern	97

Abbildung 70: Prozentuale Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Groß Hesebeck.....	97
Abbildung 71: Vorschläge weiterer Monitoring-Gebiete in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg...	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Lüneburg, Lüchow-Dannenberg, Heidekreis und Harburg	23
Tabelle 2: Verteilung der Filterstrecke der GWMS auf die Grundwasserleiter des hydrogeologischen Strukturmodells.....	25
Tabelle 3: Bewertung des ökologischen Zustands bzw. Potenzials nach EU-WRRL der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet.....	32
Tabelle 4: Übersicht der Datensätze gemessener Abflussmengen und Wasserstände an den Fließgewässerpegeln im Untersuchungsgebiet.....	34
Tabelle 5: Entscheidungsmatrix zur Ermittlung prioritärer Untersuchungsgebiete	37
Tabelle 6: Kennwerte der Pilotgebiete.....	43
Tabelle 7: Umsetzung der Datengrundlage als Randbedingungen im numerischen Grundwassermodell	69
Tabelle 8: Daten der instationären Modellszenarien	88
Tabelle 9: Modellberechnete Abflüsse an den Pegeln in den drei Pilotgebieten	95

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung / Bedeutung
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AG	Auftraggeber
CDC	Climate Data Center
DWD	Deutscher Wetterdienst
DVF / DFU	Dachverband Feldberegnung Uelzen
DFL	Dachverband Feldberegnung Lüneburg
CAH	Consulaqua Hildesheim
ESK	Elbe-Seiten-Kanal
EZG	Einzugsgebiet
gwaLÖS	Grundwasserabhängiges Landökosystem
GOK	Geländeoberkante
GWM / GWMS	Grundwassermessstelle
GWN	Grundwasserneubildung
GWL	Grundwasserleiter
GWH	Grundwasserhemmer / -geringleiter
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LK	Landkreis
mGROWA	monatlicher Großräumiger Wasserhaushalt ; Wasserhaushaltsmodell zur Berechnung der Grundwasserneubildung in Niedersachsen
MoMNQ	Mittlere monatliche Niedrigwasserabflüsse
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten-, und Naturschutz
TK 25	Topografische Karte 1 : 25.000
WRRL / EU WRRL	Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union

Abstract

For covering increasing needs of groundwater abstractions for agricultural irrigation a sustainable and adapted management of the utilized 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.

The new monitoring concept involves representative indicator measuring points at hydro-ecologically vulnerable and simultaneously significantly exploited groundwater subareas. These regions are characterized by a short depth to groundwater tables, the occurrence of groundwater dependent terrestrial ecosystems as well as small watercourses / upper courses and extensive groundwater abstractions for irrigation.

In three pilot-areas groundwater measuring wells were built in the shallow aquifer (AQ 2) as well as in the main abstraction aquifer (AQ 3) recording piezometric heads, and gauging stations were installed measuring water levels and flow rates for trial of the monitoring concept.

This triple monitoring system has 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 model-calculated base flows have been calibrated with data from 12 public gauging stations (conducted by the Lower Saxony Water Management, Coastal Defence and Nature Conservation Agency) and the three gauging stations in the pilot areas.

In association with the continuously improving numerical groundwater model it is possible to detect and control any abstraction-induced effects on ecological assets with rather few measuring points. Further a prompt evaluation of the measuring data enables a protective regulation of groundwater abstractions and comprehensive planning of the upcoming 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 dem Landkreis Uelzen zeitnah und mit möglichst geringem Messaufwand die erforderlichen Informationen liefert, die für eine bedarfsgerechte Steuerung der Grundwasserentnahmen benötigt werden.

Das Monitoringkonzept sieht „repräsentative Leitmessstellen“ in ökologisch sensiblen und von Grundwasserentnahmen besonders betroffenen Gebieten vor. Diese Gebiete sind charakterisiert durch geringe Grundwasserflurabstände, grundwasserabhängige Landökosysteme, kleine Gewässer (Oberläufe) und einer hohen Grundwasserentnahme durch die Feldberegnung im Einzugsgebiet. Zur Erprobung des Monitoringkonzeptes wurden in 3 Pilotgebieten Grundwasserdoppelmessstellen zur Aufzeichnung der Standrohrspiegelhöhen im oberflächennahen Grundwasserleiter (AQ2) und im Haupt-Förderhorizont (AQ3) errichtet, sowie jeweils eine Oberflächengewässermessstelle zur Erfassung der Wasserstände und Abflüsse.

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. Hierauf aufbauend ist die Prognose der Auswirkungen veränderter Grundwasserentnahmen auf die Standrohrspiegelhöhen und die grundwasserbürtigen Abflüsse in den Gewässern, insbesondere die Niedrigwasser-Basisabflüsse, möglich.

Kalibriert werden die modellberechneten Abflüsse auf Grundlage der Daten von 12 vom NLWKN betriebenen Abflusspegeln sowie an den zusätzlichen Abflussmessungen des Monitoringsystems.

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.

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 EU-WRRL [1] 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 rund 776 km², einer derzeit noch bewilligten Jahresberegnungsentnahmemenge aus dem Grundwasser von 56,5 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 soll ein innovativer Monitoringansatz entwickelt werden, 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 gewährleistet.

2 Grundlagen und Systembeschreibung

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

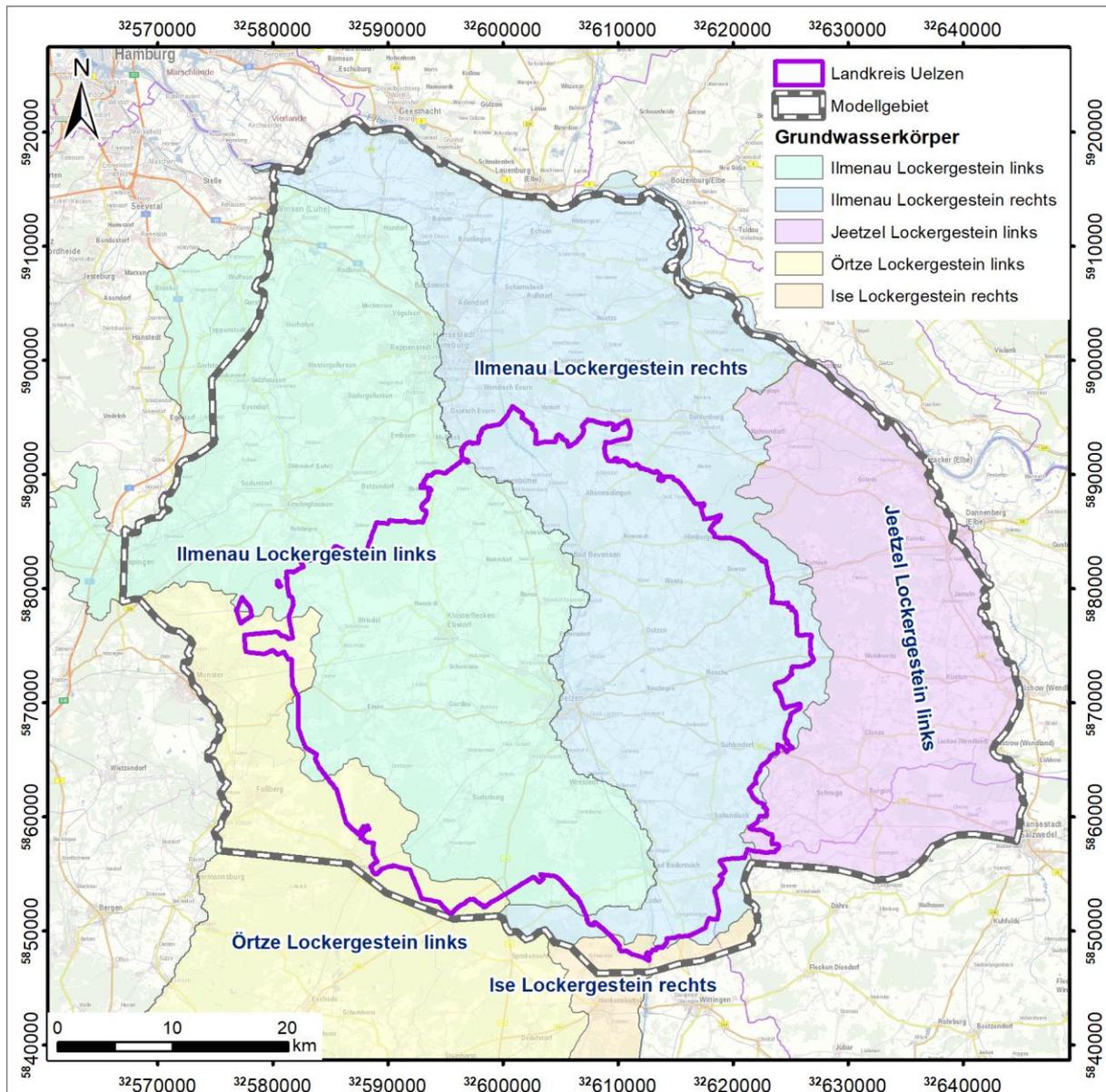


Abbildung 1: Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet [17]

2.1 Landschaft und Böden

Der Landkreis Uelzen befindet sich in der östlichen Lüneburger Heide, einer Geest-Landschaft, die sich vor allem durch die überwiegend sandigen Sedimente der Saale-Kaltzeit auszeichnet. Diese Böden im Landkreis Uelzen 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 Landkreisgrenze erstrecken und die Hochlagen Süsing, Lüß, Gohrde und Hoher Drawehn geformt haben. Innerhalb dieser Hochlagen hat sich das Uelzener Becken ausgebildet, in dem alle Bäche in die Ilmenau münden, welche als Hauptvorflut das Gebiet nach Norden hin entwässert.

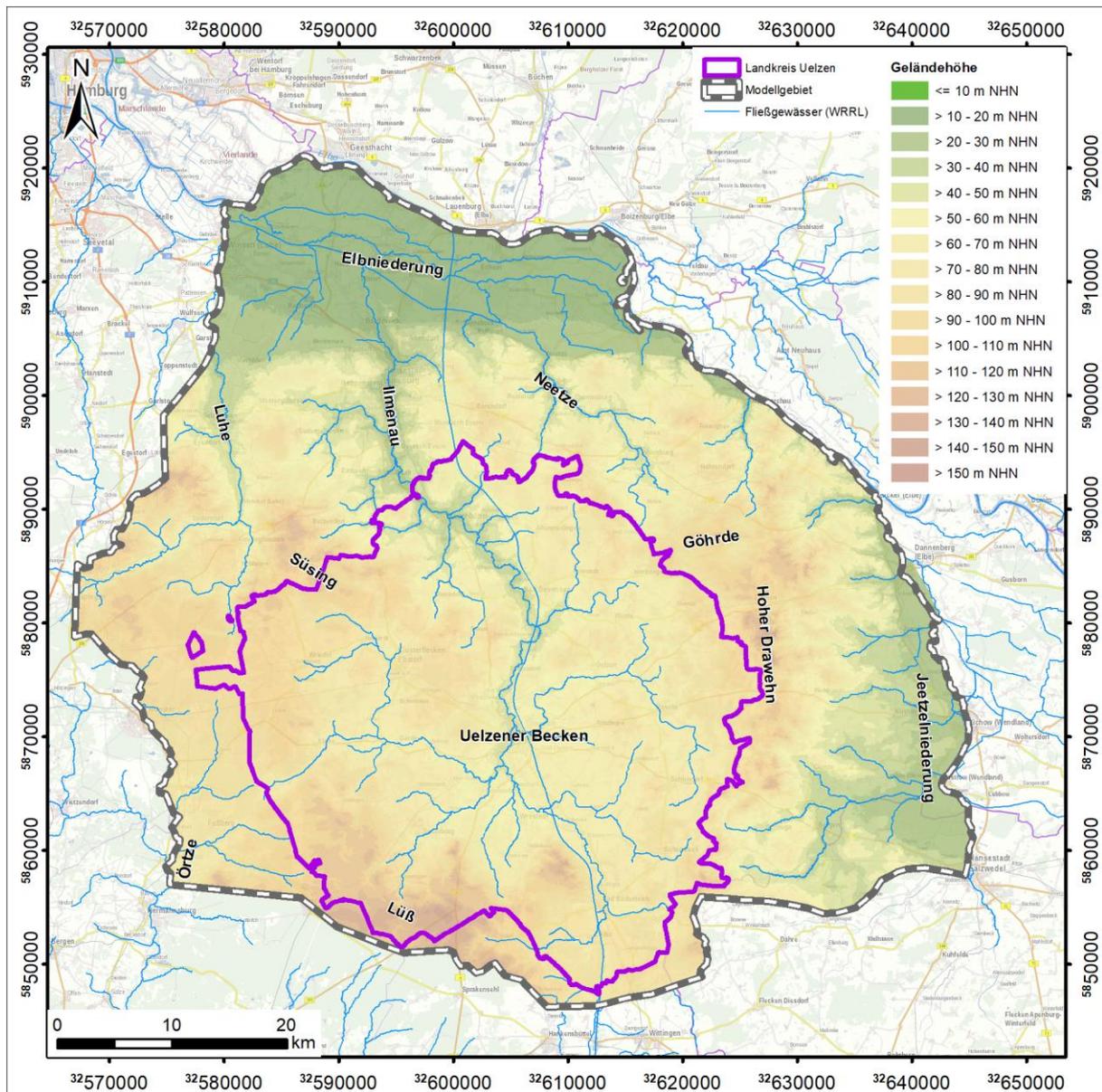


Abbildung 2: Relief und Landschaftsgliederung

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.

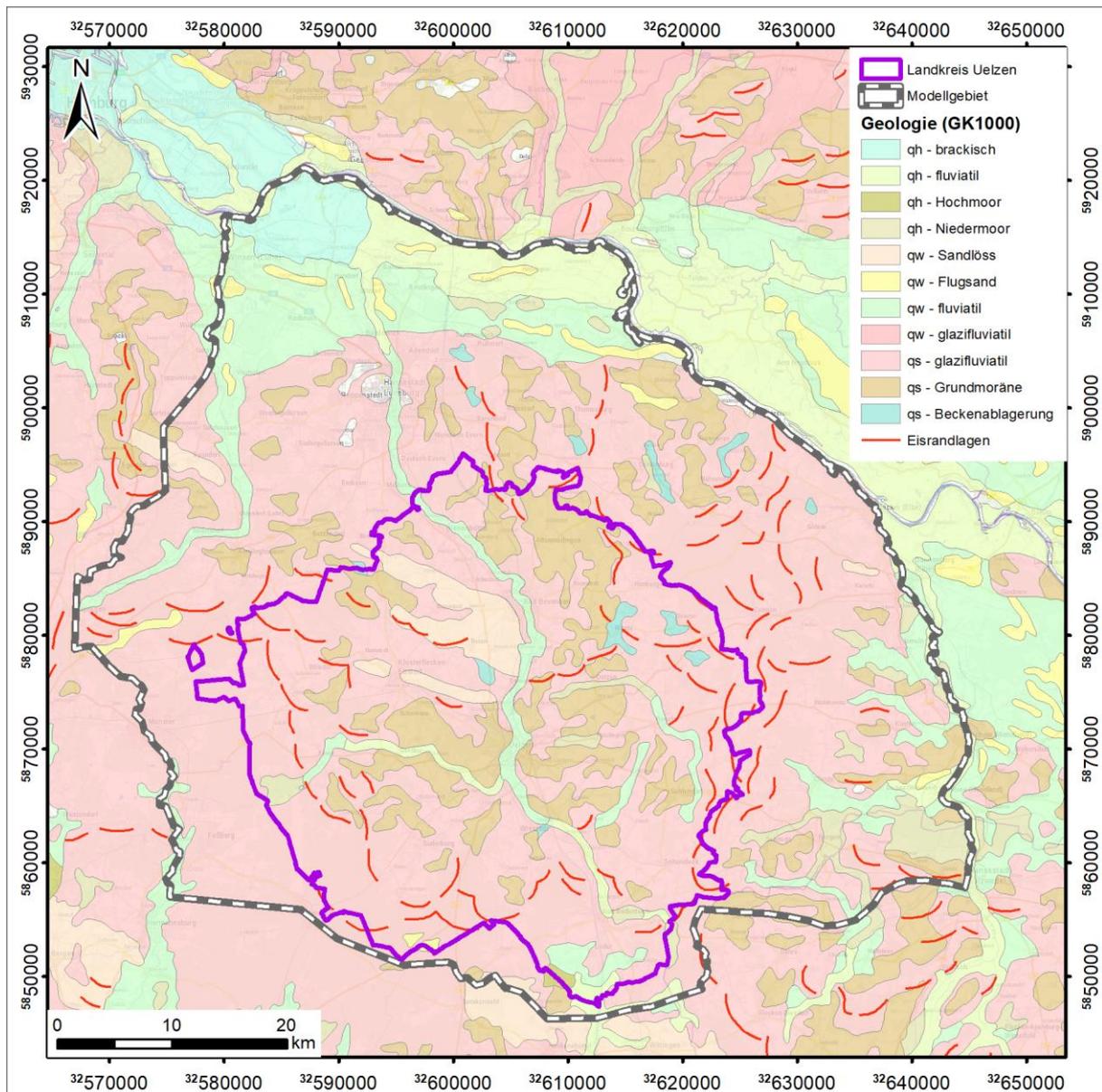


Abbildung 3: Geologische Karte mit Eisrandlagen (GK1000) [15]

Sedimente der Weichsel-Kaltzeit sind in Form lokaler Sandlöss- und Flugsandvorkommen sowie als Flugsande entlang der Täler und Niederungen vorhanden.

Holozäne Ablagerungen beschränken sich 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; dieser ist im Untersuchungsgebiet weiträumig erodiert und nur sehr lokal 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 Rinnenflanken häufig in hydraulischem Kontakt zu den benachbarten tertiären Grundwasserleitern.

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 8 bzw. 21)		Hydrogeologisches Modell Bezeichnung der Schichteinheiten	Numerisches Modell Layerstruktur	
	Hydrostratigraphische Einheiten	kf-Wert [m/s]		Layer	Slices
					S1
Quartär	L1 / 1.1 - 1.3	>1E-5 – 1E-3	AQ1	Layer 1	S2
				Layer 2	S3
				Layer 3	S4
				Layer 4	S5
	H2	>1E-7 – 1E-5	AT1	Layer 5	S6
	L2	>1E-3 – 1E-2	AQ2	Layer 6	S7
				Layer 7	S8
				Layer 8	S9
H3/ 3.1 - 3.2	>1E-7 – 1E-5	AT2	Layer 10	S11	
L3	>1E-4 – 1E-3	AQ3	Layer 11	S12	
H4/ 4.1 - 4.2	>1E-9 – 1E-5	AT3	Layer 12	S13	
L4/ 4.1 L4.2 /HL 4.2	>1E-5 – 1E-3	AQ4	Layer 13	S14	
Tertiär	H5 (+L4.3)	<1E-5	T-AQ5	Layer 14	S15
	L5	>1E-4 – 1E-3			
	H6	>1E-7 – 1E-5	T-AT5	Layer 15	S16
	L6	>1E-4 – 1E-3	T-AQ6	Layer 16	S17 = Modellbasis
	H7	<1E-5	T-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.

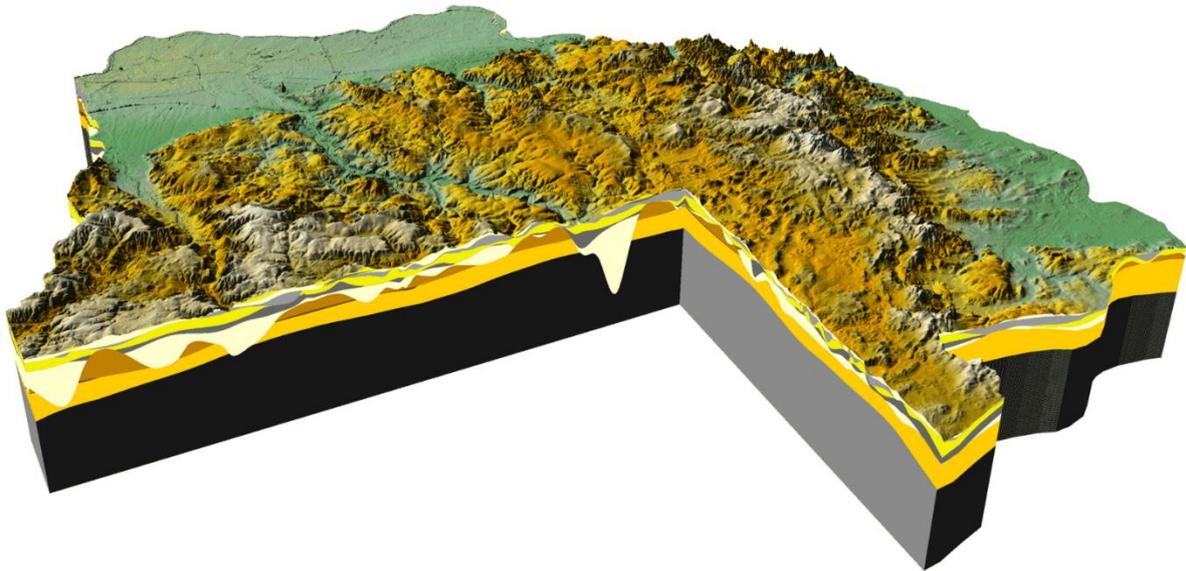


Abbildung 5: Blockbild des hydrogeologischen Strukturmodells

2.4 Klima

In Abbildung 6 sind die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen und Temperaturen der Klimaperiode 1981 – 2010 für das Gebietsmittel des Landkreises Uelzen dargestellt.

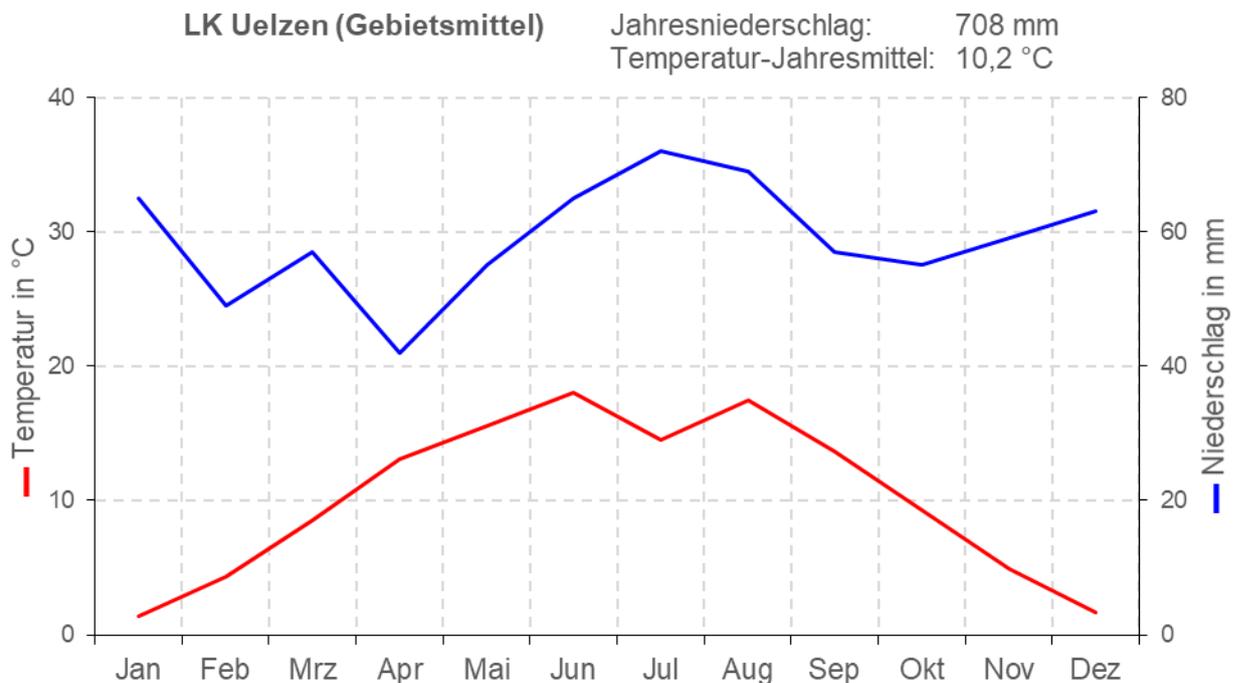


Abbildung 6: Klimadiagramm für den Landkreis Uelzen (Gebietsmittel) [8]

Die durchschnittliche Niederschlagshöhe im Untersuchungsgebiet beträgt 708 mm/a und verteilt sich im Jahresverlauf relativ gleichmäßig über die Monate. Die saisonalen Schwankungen

der durchschnittlichen Temperaturen reichen von 1,4 °C im Januar bis 18 °C im Juni bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10,2 °C.

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).

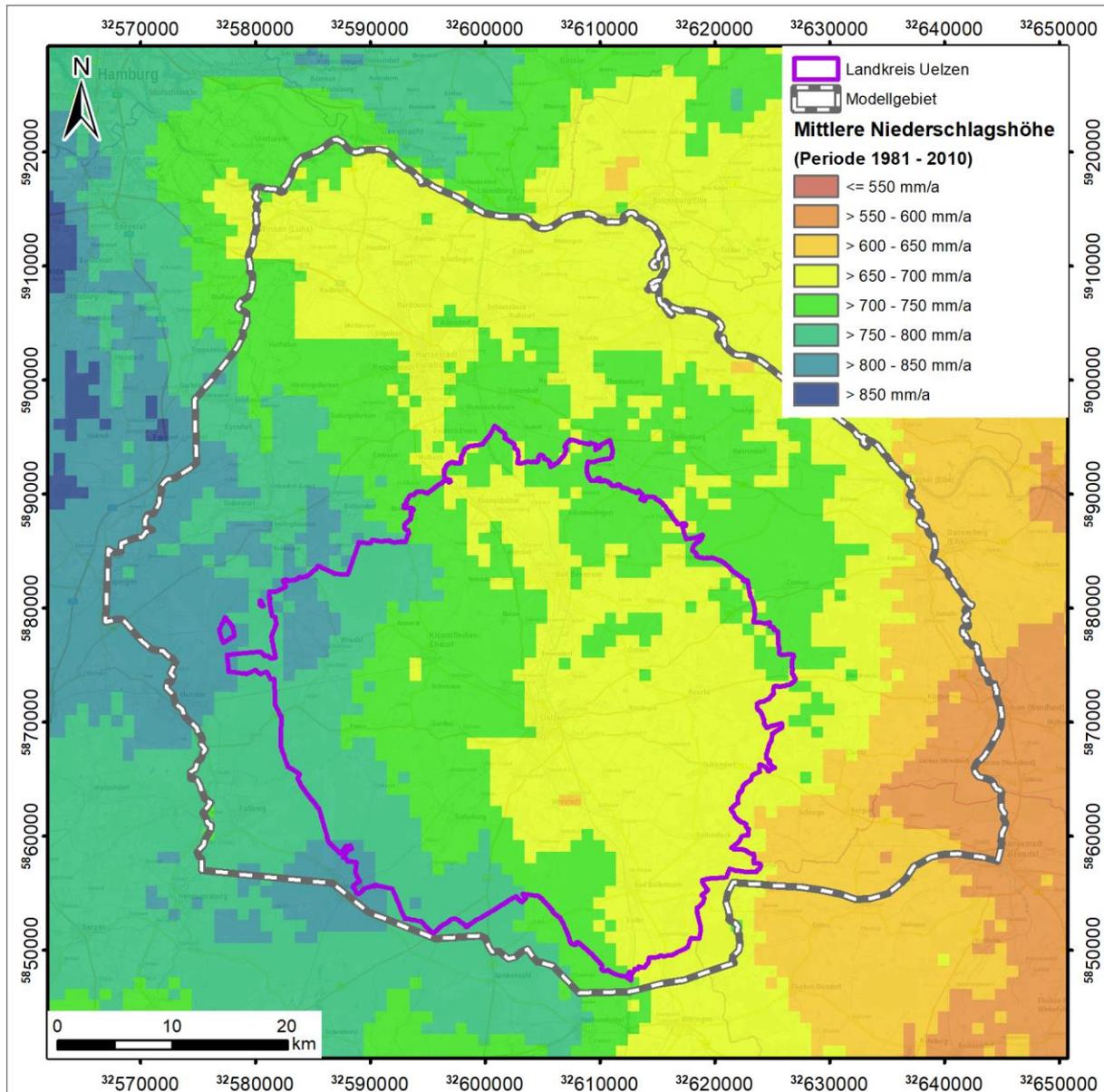


Abbildung 7: Mittlerer jährlicher Niederschlag im Untersuchungsgebiet [8]

2.5 Grundwasserneubildung

Die mittlere Grundwasserneubildung nach mGROWA im Untersuchungsgebiet beträgt im Gebietsmittel 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 Untersuchungsgebietes aufgrund der dort vorkommenden sandigen Böden in Kombination mit den höheren Jahresniederschlagsmengen. In Richtung Osten nimmt die Neubildungsrate stetig ab, darüber hinaus findet in den Tälern und Niederungen nahezu keine Grundwasserneubildung statt (Abbildung 8).

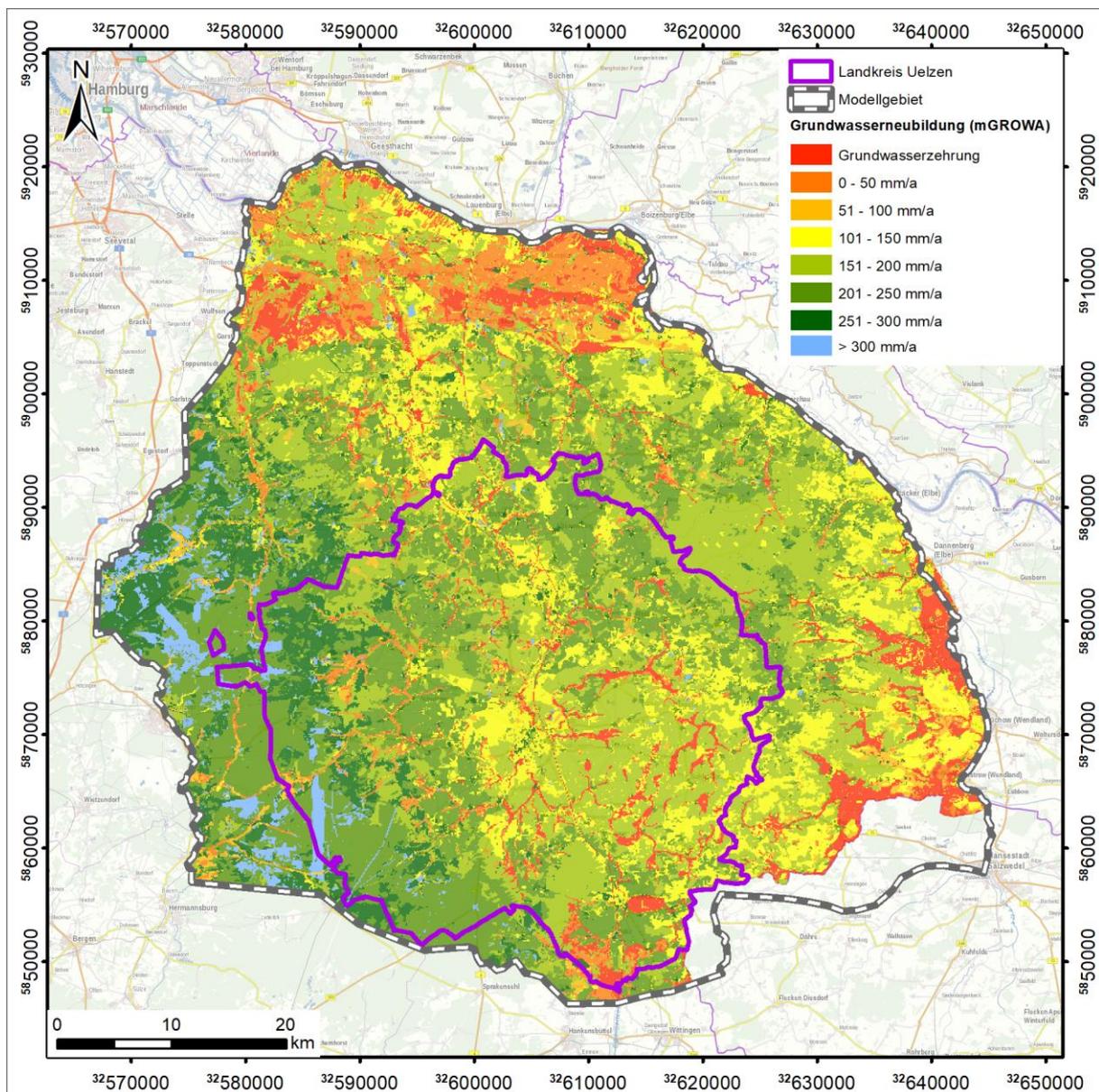


Abbildung 8: Grundwasserneubildung (mGROWA) [16]

2.6 Grundwasserentnahmen

Die Datengrundlage zur Beschreibung der Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen bildet der Datensatz der monatlich gemeldeten Grundwasserentnahmen, welcher durch den Dachverband Feldberegnung Uelzen zur Verfügung gestellt wurde. Dieser umfasst Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung und zur öffentlichen und gewerblichen Wasserversorgung. Von den 1.274 Grundwasserentnahmen, welche vom Dachverband Feldberegnung des Landkreises Uelzen verwaltet sind, werden 1.194 Entnahmen zur Feldberegnung verwendet. Die übrigen 80 Entnahmen sind Entnahmen Dritter (Fremdwasserentnahmen). Die Lage der Grundwasserentnahmen sowie ihre Nutzungsart zeigt Abbildung 9.

Weiterhin werden im Grundwassermodell die Grundwasserentnahmen im Landkreis Lüneburg, Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Heidekreis und Harburg als erweiterte Randbedingungen berücksichtigt (vgl. Abbildung 9).

Für den Landkreis Lüneburg wurden die gemeldeten Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung und zur öffentlichen und gewerblichen Wasserversorgung durch den Dachverband Feldberegnung Lüneburg zur Verfügung gestellt. Von den 887 Grundwasserentnahmen, werden 821 Entnahmen zur Feldberegnung verwendet. Bei den restlichen 66 Entnahmen handelt es sich um Entnahmen Dritter, wobei eine als Kombination aus beiden Nutzungsarten beschrieben ist. Die Daten liegen als monatlich gemeldete Werte vor.

Für die Landkreise Lüchow-Dannenberg und Gifhorn sind die Fördermengen aus dem Aquarius-Modell übernommen worden. Hierbei handelt es sich um mittlere Fördermengen für den Zeitraum 2005 bis 2009 (vgl. [2] / Tabelle 1).

Die Datengrundlage für die Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Heidekreis und Harburg wurden aus der Bearbeitung des Nordheide-Modells übernommen [3]. Für die 72 Grundwasserentnahmen im Landkreis Harburg wurden Fördermengen des Jahres 2010 als Mittelwerte verwendet.

Für die 25 Grundwasserentnahmen im Landkreis Heidekreis sind die Fördermengen nach Wasserrecht angesetzt worden.

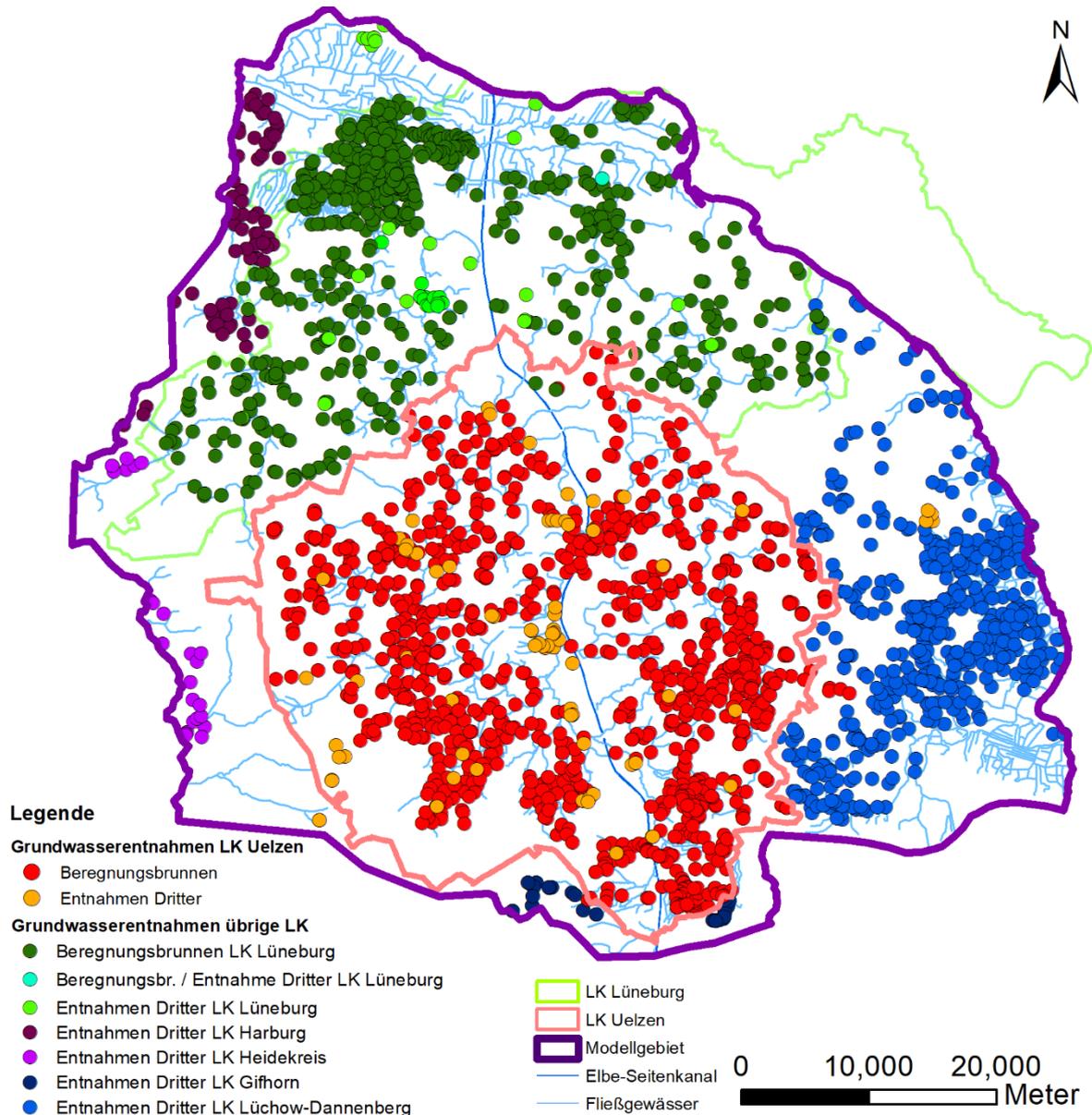


Abbildung 9: Lage der Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen sowie in den angrenzenden Landkreisen innerhalb des Untersuchungsgebietes

Eine Differenzierung der Grundwasserentnahmen und Zuordnung in die hydrostratigraphischen Einheiten zeigt, dass die Mehrheit der Entnahmepunkte des Landkreises Uelzen im quartärzeitlichen Lockergesteinsgrundwasserleiter AQ3 liegt. Aus diesem Grund wird dieser nachfolgend als bewirtschafteter Hauptgrundwasserleiter bzw. Hauptförderhorizont bezeichnet.

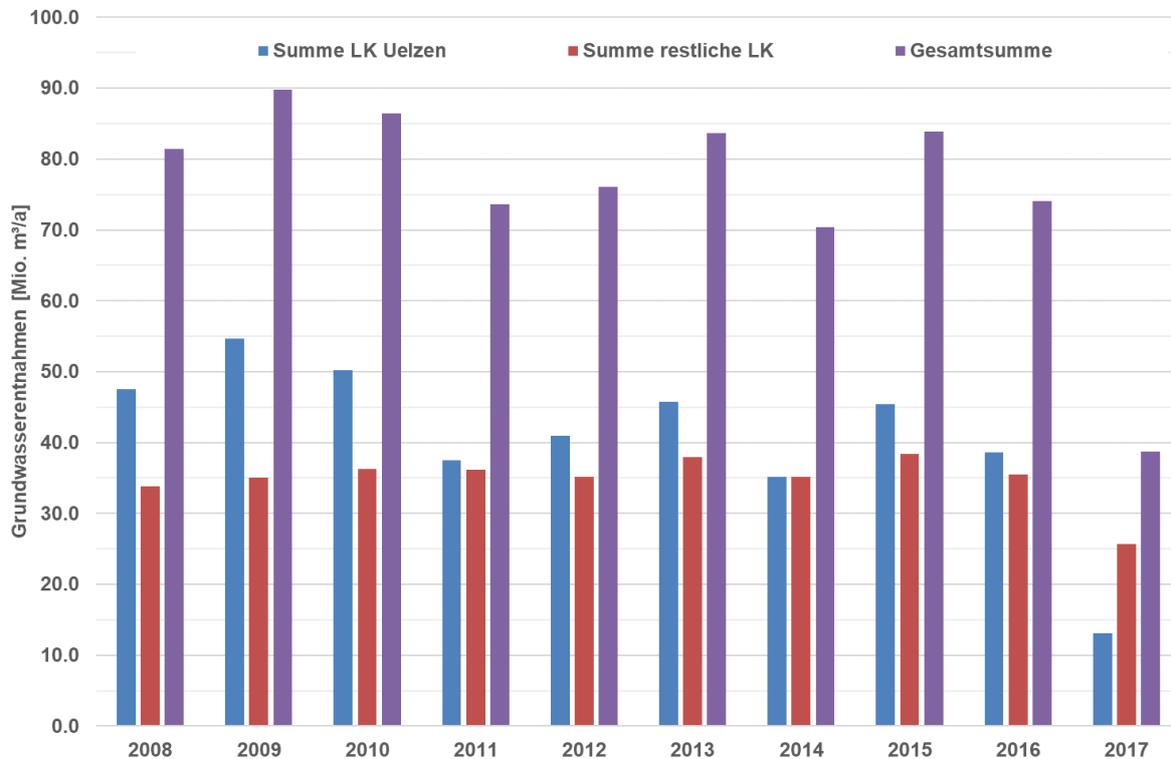


Abbildung 10: Jährliche Grundwasserentnahmen im Landkreis Uelzen sowie in den angrenzenden Landkreisen für den Zeitraum 2008 bis 2017

Das Maximum der Gesamt-Grundwasserentnahmen ergibt sich für das Jahr 2009 mit rd. 89,8 Mio. m³/a, während in 2017, mit ca. 38,7 Mio. m³/a, die vergleichbar kleinste Gesamtförderung zu erkennen ist. Für den Zeitraum 2008 bis 2012 ergibt sich ein Mittelwert von ca. 81,5 Mio. m³/a, für den Zeitraum 2012 bis 2016 liegt der Mittelwert bei rd. 77,6 Mio. m³/a. Für 2017 ergeben sich vergleichsweise deutlich geringere Werte als in den Vorjahren. Die Ursache hierfür ergibt sich aus den starken Niederschlägen in den Sommermonaten, welche die Entnahme von Grundwasser zur Feldberegnung deutlich verringert haben.

Der prozentuale Anteil der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung im Landkreis Uelzen an der Gesamtentnahme des Landkreises liegt im Mittel für den Gesamtzeitraum bei ca. 81 %. Bezogen auf die mittlere Gesamtentnahme im Untersuchungsgebiet liegt der Wert bei rd. 45 %.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Daten für die Landkreise Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Heidekreis und Harburg zeigen eine deutliche Heterogenität bezüglich ihrer zu Grunde liegenden Datengrundlagen und Zeiträume auf. Da es sich hierbei um erweiterte Randbedingungen im Sinne einer generellen Hintergrundbelastung handelt, wird die Verwendung dieser Daten als akzeptabel angenommen.

Tabelle 1: Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Lüneburg, Lüchow-Dannenberg, Heidekreis und Harburg

Landkreis	Datengrundlage / Zeitraum	Anzahl Grundwasserentnahmen	Mittlere Fördermenge [Mio. m³/a]
Lüneburg	Realisierte Fördermengen / 2008 bis 2017	887	23,7
Lüchow-Dannenberg	Mittlere Fördermengen / 2005 - 2009	501	6,9
Gifhorn	Mittlere Fördermengen / 2005 - 2009	26	0,5
Heidekreis	akt. Wasserrecht	25	1,2
Harburg	Mittlere Fördermengen / 2010	72	0,8
Gesamtsumme		1.511	33,6

2.7 Grundwassermessstellen

Die Daten der Grundwassermessstellen (GWMS) im Modellgebiet wurden vom Niedersächsischen Landesamt für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) übergeben. Von den insgesamt 293 GWMS konnten aufgrund ihrer Lage nur 249 GWMS für die Kalibrierung des numerischen Grundwassermodells verwendet werden (vgl. Abbildung 11 / Kap. 7.2).

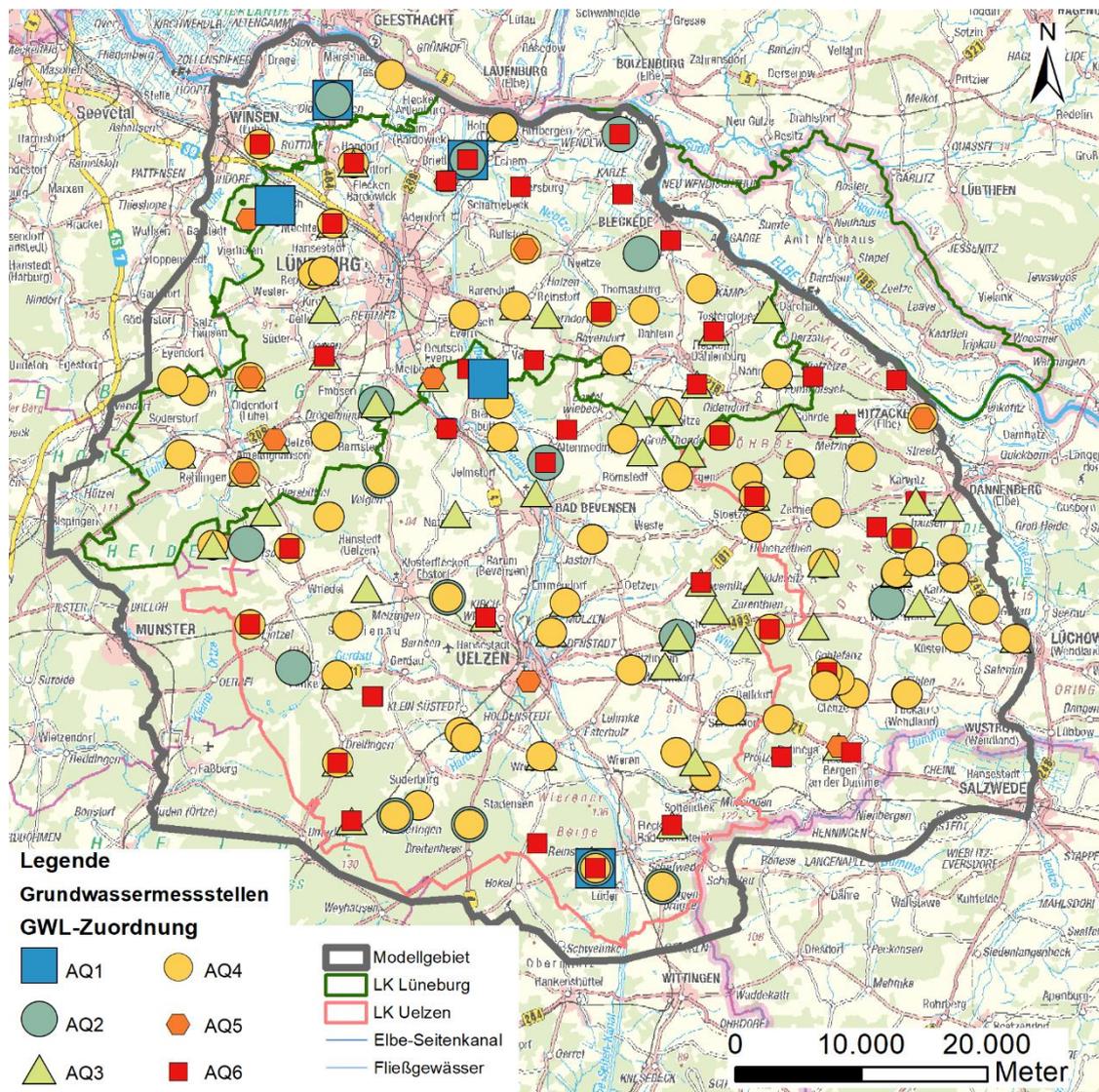


Abbildung 11: Lage und GWL-Zuordnung der Grundwassermessstellen im Modellgebiet

Von den GWMS sind etwa zwei Drittel in den Grundwasserleitern AQ 3 und AQ 4 verfiltert (vgl. Tabelle 2).

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

Grundwasserleiter	LK Uelzen	Übrige LK	Anzahl GWMS
AQ 1	2	3	5
AQ 2	10	5	15
AQ 3	28	43	71
AQ 4	38	58	96
AQ 5	2	8	10
AQ 6	18	34	52
Σ	98	151	249

Für diese 249 Messstellen lagen jeweils die Aufzeichnungen der Abstichdaten für den Zeitraum Januar 2005 bis November 2018 vor. 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. Die Abstichdaten der Grundwassermessstellen wurden vom NLWKN zusammengefasst in einer Datenbank bezogen. 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.

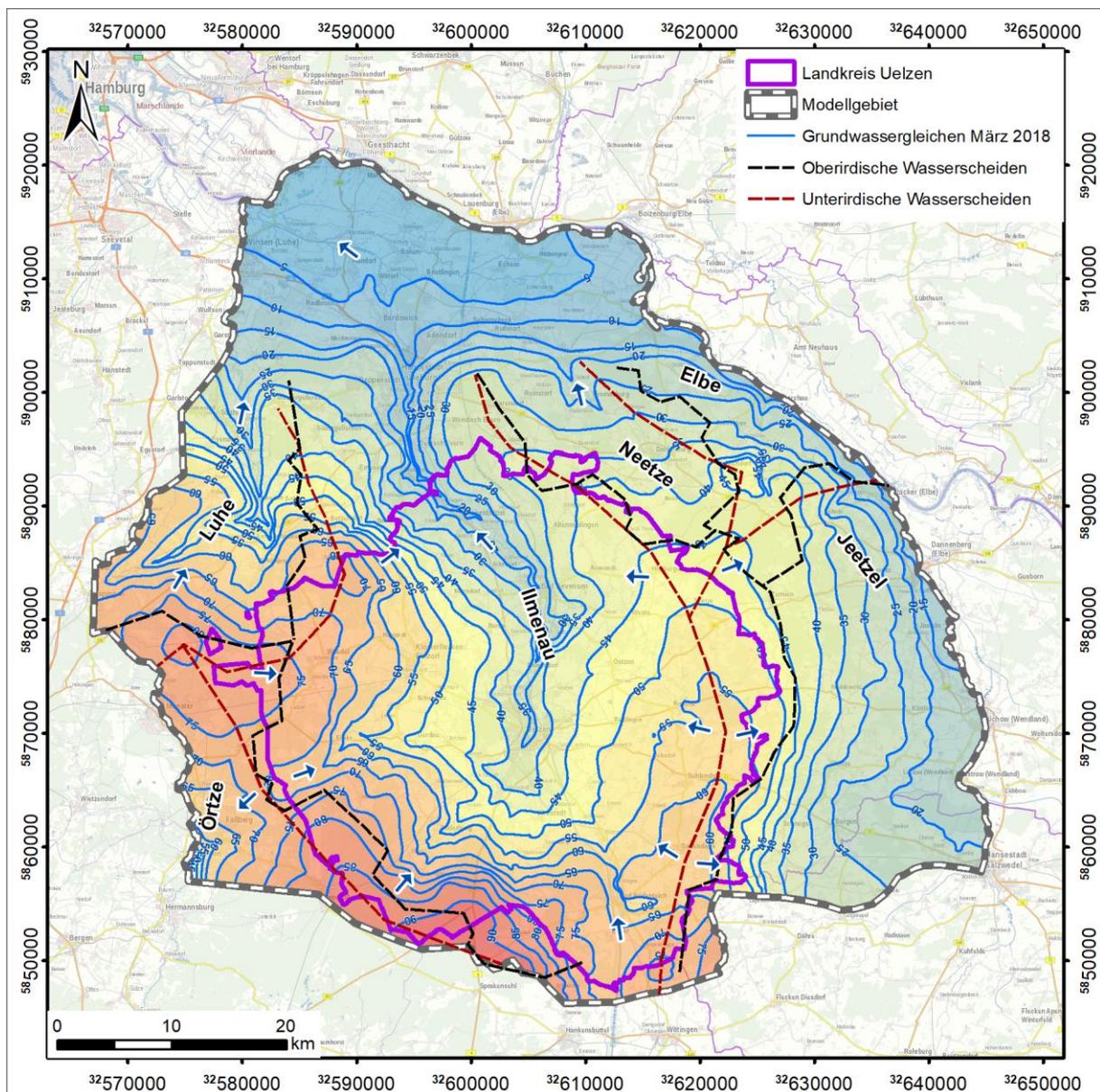


Abbildung 12: Grundwassergleichenplan (Stichtagsmessung März 2018)

Die überregionale Grundwasserfließrichtung zeigt nach Norden in Richtung Elbe (Abbildung 12). Im Landkreis Uelzen ist die Grundwasserströmung in Richtung auf die Ilmenau zugerichtet, 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. Da die Grundwasserkörper auf Grundlage des Höhenmodells abgegrenzt wurden, spiegeln sie 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 Grundwasserflurabstandsplan¹ gleicht (Abbildung 13). 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. In großen Teilen des Landkreises Uelzen beträgt der Flurabstand >5 m. Kommen in diesen Bereichen dennoch oberflächennahe wasserführende Schichten vor, so handelt es sich um Stauwasserhorizonte, bzw. um lokal verbreitete sogenannte schwebende Grundwasserleiter.

¹ 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).

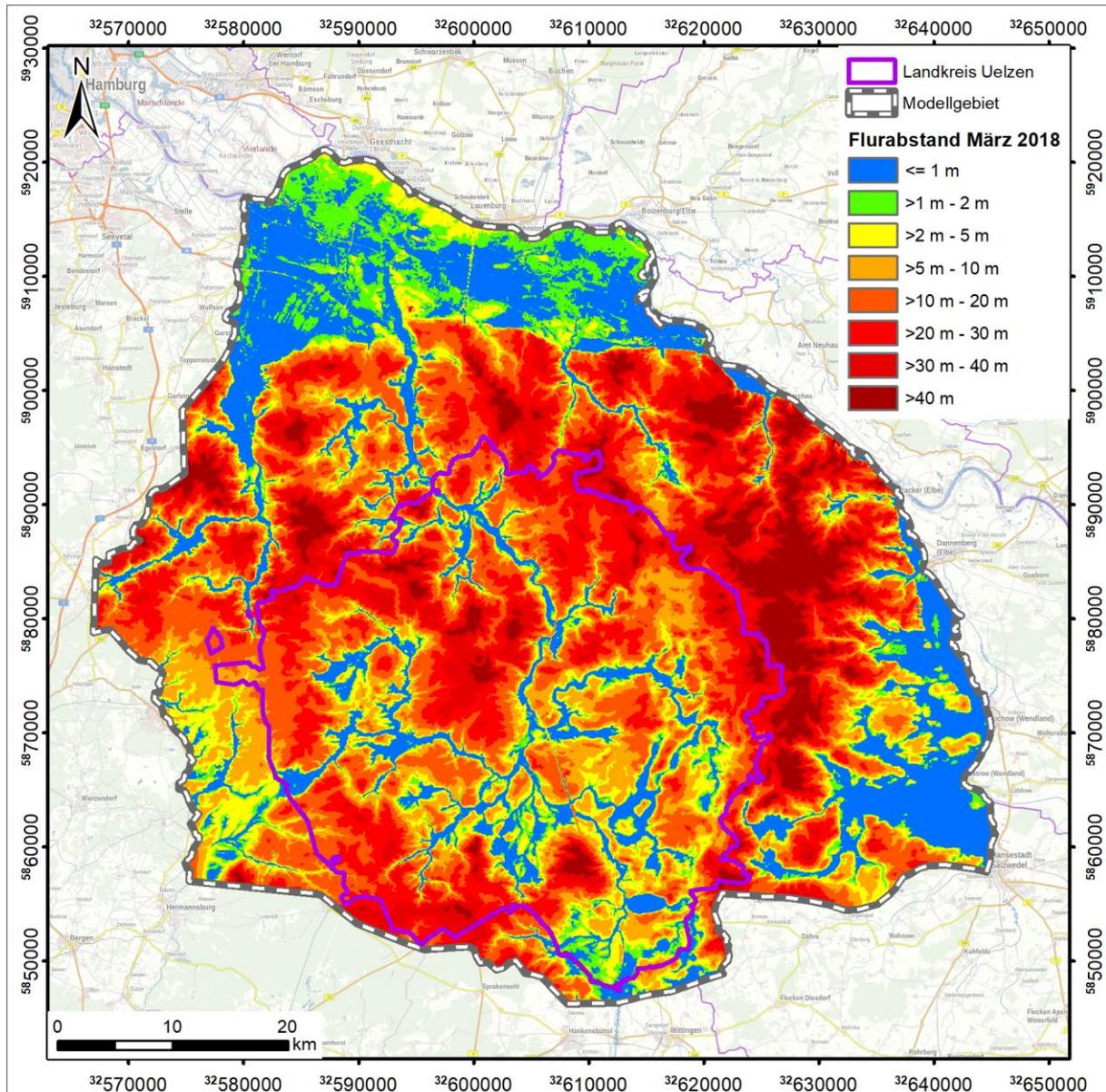


Abbildung 13: Differenzenplan zwischen Geländeoberfläche und Standrohrspiegelhöhe AQ3 (Stichtagsmessung März 2018)

2.9 Fließgewässer und Pegel

Die Fließgewässer des Untersuchungsraums wurden als Karte (Gewässer 1. und 2. Ordnung) vom NLWKN bezogen. Die Gewässerkarte wurde für die Festlegung der Randbedingungen in den Gewässeroberläufen und um zahlreiche Gewässer 3. Ordnung auf Grundlage der TK 25 ergänzt. Insgesamt wurden 813 Gewässerabschnitte aufgenommen (vgl. Abbildung 14).

Eine Besonderheit bildet der Elbe-Seitenkanal (ESK), welcher das Gebiet in nordsüdlicher Richtung mit einer Länge von ca. 73,6 km durchquert. Nach [3] sind mehrere Abschnitte des

Kanalbetts nicht gedichtet, sodass es zu effluenten Verhältnissen kommen kann. Entsprechende Abschnitte finden sich im Landkreis Gifhorn bei Hankensbüttel sowie nördlich und südlich von Uelzen (vgl. Abbildung 14). In diesen Bereichen wirkt der Elbe-Seitenkanal als Vorfluter.

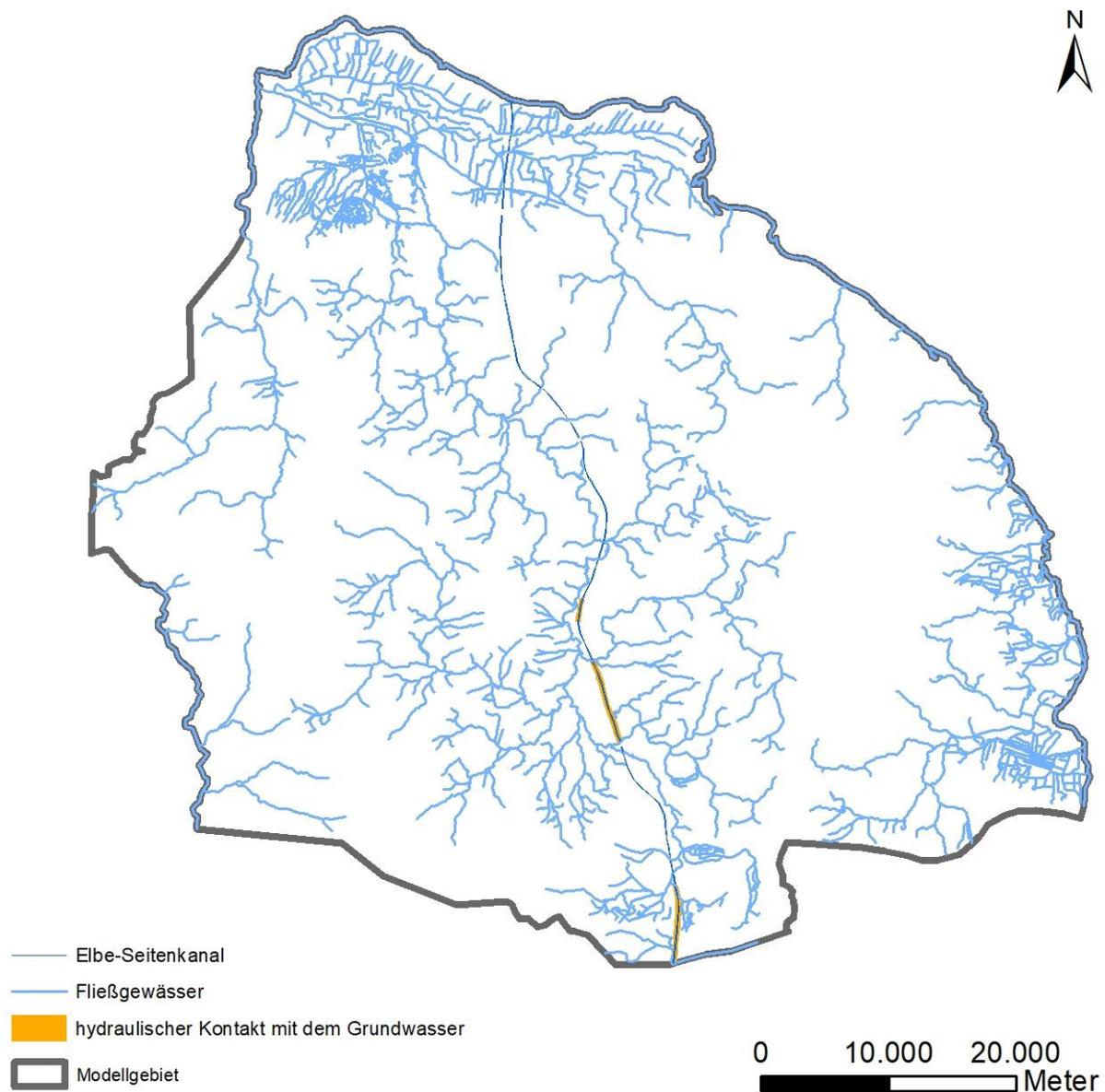


Abbildung 14: Verlauf der Fließgewässer und des Elbe-Seitenkanals im Modellgebiet

Für das Untersuchungsgebiet liegt eine Einteilung der größeren Fließgewässer nach Gewässertypen vor. Bezogen auf die Gesamtlänge aller größeren Fließgewässer haben die kiesgeprägten Tieflandbäche und -flüsse mit insgesamt rd. 72 % den größten Anteil. Die Gruppe der sandgeprägten / sand- und lehmgeprägten (großen) Tieflandflüsse macht in Summe einen

Anteil von ca. 18 % aus (vgl. Abbildung 15). Im LK Uelzen sind ausschließlich die beiden genannten Gewässertypen zu finden.

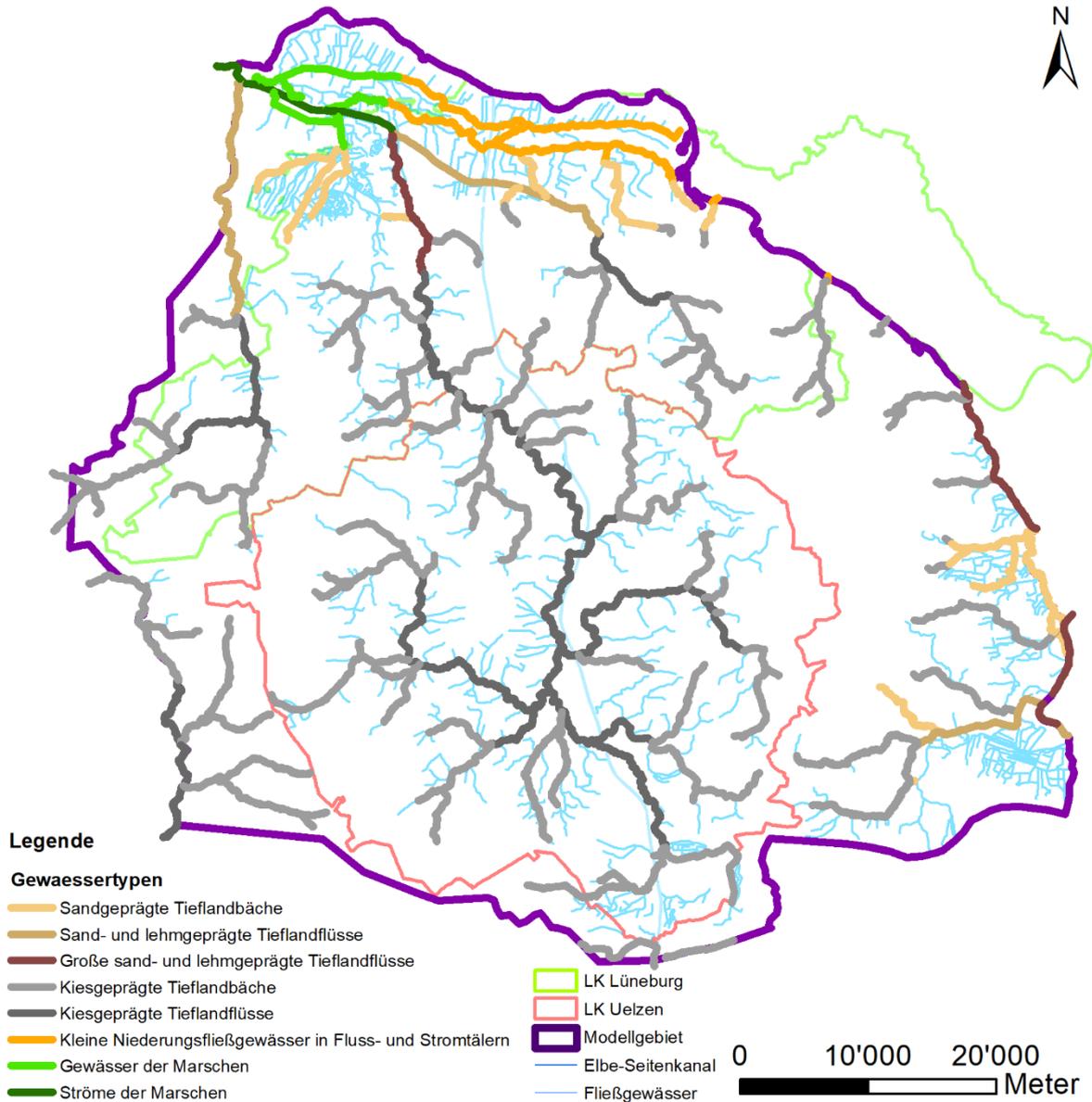


Abbildung 15: Einteilung der Fließgewässer im Modellgebiet nach Gewässertypen [4]

Weiterhin wurde seitens des NLWKN die Veränderung der Gewässer bzw. der Gewässerabschnitte in den Kategorien Laufentwicklung, Längsprofil, Querprofil, Sohlenstruktur, Uferstruktur und Gewässerumfeld ermittelt und daraus eine Gesamtbewertung abgeleitet. Anhand der Gesamtbewertung weisen die meisten Gewässerabschnitte eine deutliche bis sehr starke Veränderung des natürlichen Zustandes auf (s. Abbildung 16).

Im LK Uelzen weisen besonders der Gollernbach, der Röbbelbach und der Vierenbach im Norden, der Eisenbach und der Klein Liederner Bach im Süden sowie die Ilmenau ab der Stadt Uelzen nach Norden die größten Veränderungen des natürlichen Zustandes auf.

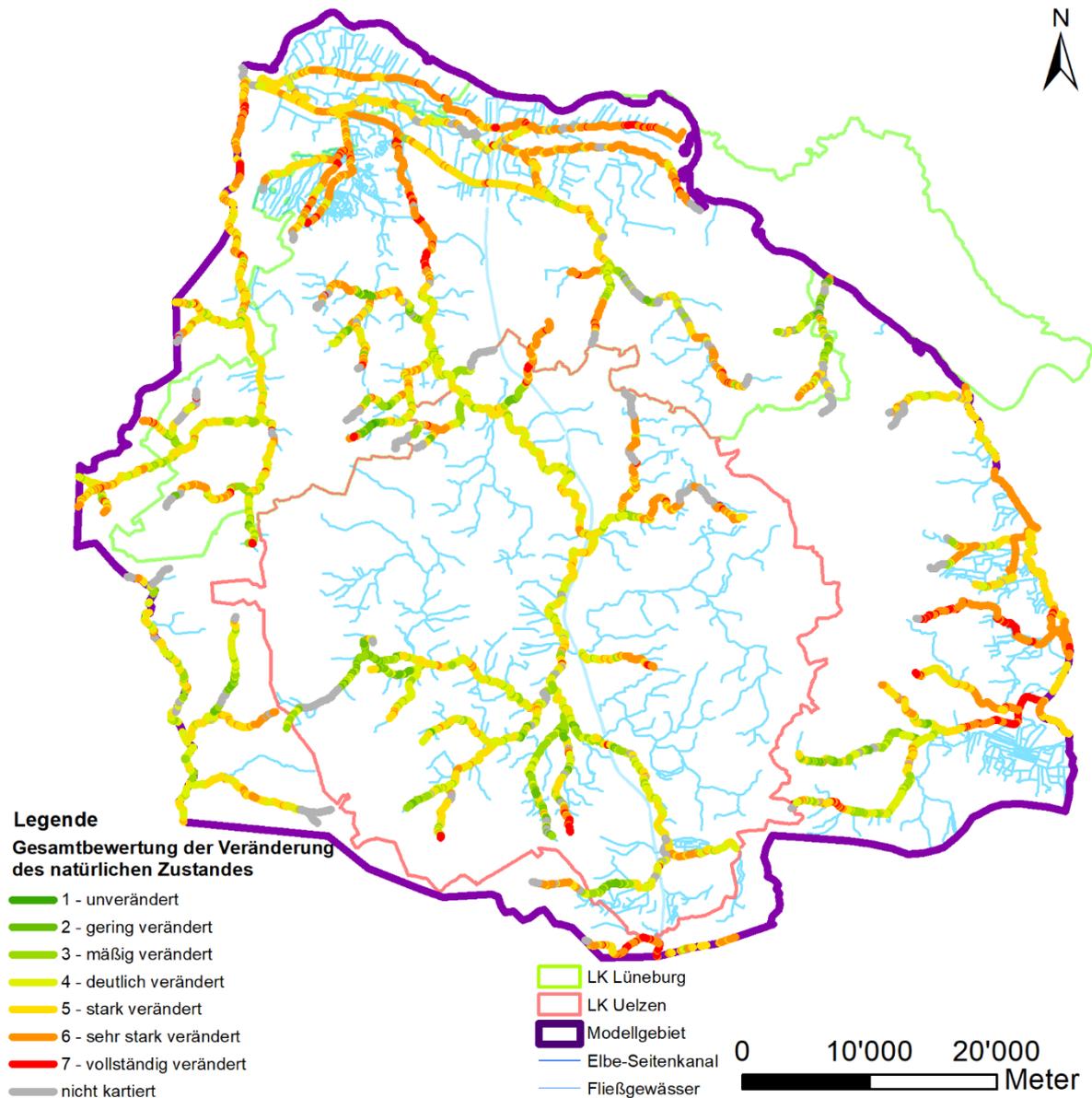


Abbildung 16: Gesamtbewertung der Veränderung des natürlichen Zustandes an den Fließgewässern im Untersuchungsgebiet [4]

Aus der erheblichen Veränderung des Gewässerzustandes u.a. aufgrund Veränderung natürlicher Bedingungen oder bestimmter anthropogener Nutzungen ergibt sich eine Veränderung des ökologischen Zustandes bzw. Potenziales. Dabei basiert der ökologische Zustand auf der Bewertung natürlicher Gegebenheiten (z.B. Klima, Geologie), während das ökologische Potenzial ebenfalls die anthropogene Nutzung berücksichtigt. Als Bewirtschaftungsziel dieser erheblich veränderten Fließgewässerabschnitte wird gem. EU-WRRL ein gutes ökologisches Potenzial angestrebt.

Die Fließgewässer im Untersuchungsgebiet sind vom NLWKN gemäß ihrem ökologischen Zustand bzw. Potenzial differenziert in Abbildung 17 dargestellt.

Bezogen auf die Gesamtlänge aller untersuchten Fließgewässer weisen nur ca. 3 % einen guten ökologischen Zustand auf (vgl. Tabelle 3). Dabei handelt es sich um die Örtze am westlichen Rand (vgl. Abbildung 17). Einen schlechten Zustand weist der Oberlauf der Aue, südwestlich von Bad Bodenteich auf.

Das ökologische Potenzial ist an keinem der Fließgewässerabschnitte als gut bewertet. Die beste Bewertung ist hier mäßiges ökologisches Potenzial, was für ca. 30,3 % der Fließgewässerabschnitte gilt. Hierzu zählen u.a. die Ilmenau zwischen Lüneburg und Oldershausen, der Ober- und Mittellauf der Lopau, der Oberlauf der Hardau sowie Teile der Neetze. Fließgewässerabschnitte mit schlechtem ökologischem Potenzial sind u.a. der Oberlauf der Neetze, der Oberlauf der Wipperau und der Oberlauf des Röbbelbachs.

Tabelle 3: Bewertung des ökologischen Zustands bzw. Potenzials nach EU-WRRL der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet

Bewertung	Zustand [%]	Potenzial [%]	Summe [%]
Gut	2,9	0,0	2,9
Mäßig	21,0	30,3	51,3
Unbefriedigend	5,8	21,9	27,7
Schlecht	1,6	6,6	8,2
Ohne Bewertung			9,9
Gesamt			100,0

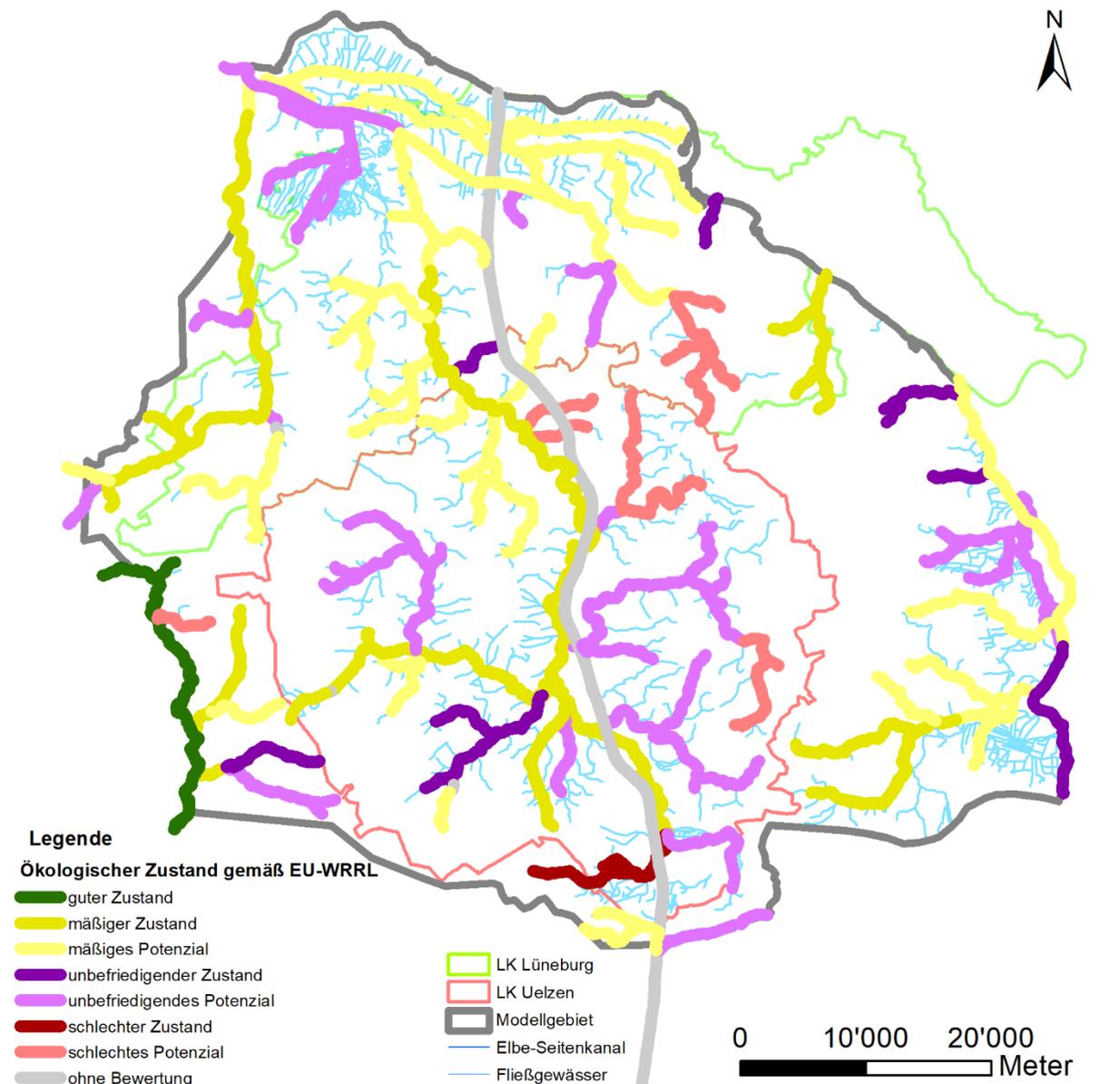


Abbildung 17: Bewertung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials nach EU-WRRL der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet [4]

Die Messwerte der Abflussmengen der Fließgewässer im Untersuchungsgebiet wurden ebenfalls vom NLWKN bezogen. Der Datensatz umfasst die Messwerte von Abflussmengen und Wasserständen an den Pegeln Thansen, Roydorf, Hansen, Suderburg, Niendorf II W, Niendorf II S, Oetzmühle, Bienenbüttel, Süttrorf, Poitzen und Köhlen für meist mehrere Jahrzehnte, vgl. Tabelle 4. Zusätzlich umfasst die Tabelle die Größe der oberirdischen Einzugsgebiete der einzelnen Pegel. 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 %.

Tabelle 4: Übersicht der Datensätze gemessener Abflussmengen und Wasserstände an den Fließgewässerpegeln im Untersuchungsgebiet

Pegelname (Fließgewässer)	Größe EZG [km²]	Zeitraum der Auswertung	MoMNQ nach WUNDT [Mio. m³/a]	Zeitraum der Auswertung	Basisabfluss nach WITTENBERG [Mio. m³/a]
Bienenbüttel (Ilmenau)	1418,5	1955 - 2018	220,9	2012 - 2018	222,6
Sudenburg (Hardau)	62,5	1961 - 2017	17,6	2012 - 2017	16,7
Roydorf (Luhe)	460,5	1961 - 2017	122,6	2012 - 2017	118,6
Süttorf (Neetze)	186,0	1970 - 2017	25,4	2012 - 2017	22,4
Hansen (Gerdau)	308,4	1973 - 2017	52,0	2012 - 2017	55,8
Niendorf II West (Bornbach)	61,1	1973 - 2017	12,8	2012 - 2017	13,2
Niendorf II Süd (Sterdau)	272,2	1973 - 2017	33,2	2012 - 2017	34,4
Oetzmühle (Wipperau)	201,3	1973 - 2017	8,6	2012 - 2018	9,8
Thansen (Luhe)	131,4	1976 - 2017	45,1	2012 - 2017	42,3
Köhlen (Köhlener Mühlen- bach)	40,7	1984 - 2016	3,7	2012 - 2017	4,1
Poitzen (Örtze)	198,0	2000 - 2017	32,5	2012 - 2017	32,2

Basierend auf den gemessenen Abflüssen an den Pegeln ist nach dem Verfahren nach WUNDT der Mittelwert der mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse (MoMNQ) berechnet worden (vgl. [5]). Dieser dient 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 4 aufgeführten Fließgewässerpegel für den Zeitraum von 2012 bis 2017 bzw. 2018 berechnet worden (vgl. Kap. 7.2.2).

Die Lage der Pegel sowie die oberirdischen Einzugsgebiete sind in Abbildung 18 dargestellt. Insgesamt liegen sechs der elf Gewässerpegel im LK Uelzen. In der Abbildung ist das Einzugsgebiet des Pegels Klein Heesebeck nicht mit dargestellt, da der Pegel nicht zur Auswertung herangezogen wurde. Da es sich hierbei um ein Teileinzugsgebiet des Pegels Bienenbüttel handelt, ist es in Abbildung 18 entsprechend gekennzeichnet.

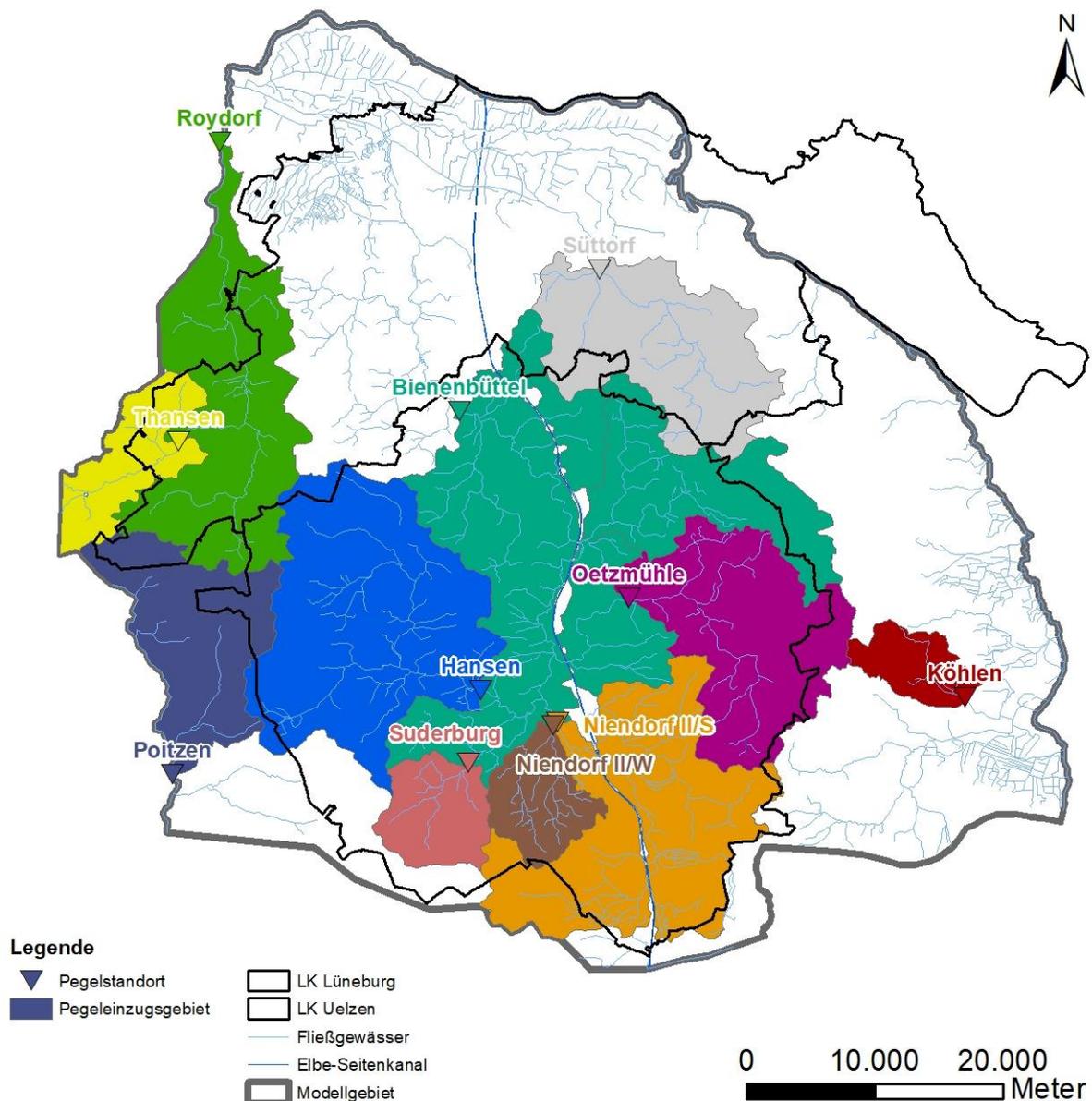


Abbildung 18: Lage und oberirdische Einzugsgebiete der elf betrachteten Pegel im Modellgebiet

3 Methodik

3.1 Konzept Monitoringsystem

Das zu entwickelnde 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 drei 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 drei 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 von 11 vom NLWKN betriebenen Abflusspegeln 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 5). 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 FFH- sowie weiteren naturschutzfachlich relevanten Gebieten vor allem Gewässerabschnitte, in denen bereits geringe Wassermengen zu einer hohen relativen Abflussreduktionen 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 im Rahmen dieses Projekts die Eignung des Verfahrens nachzuweisen und zu prüfen, wurden in einem ersten Schritt nach folgenden Kriterien drei „Pilotgebiete“ ermittelt, mit Messstellen ausgerüstet und überwacht.

Tabelle 5: 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 Auswahl der Pilotgebiete

Die Auswahl der insgesamt 3 Pilotgebiete erfolgte im Frühjahr 2018 mit dem Ziel, den Beginn der Berechnungsperiode 2018 (etwa Anfang April erwartet) messtechnisch zu erfassen. Zu diesem Zeitpunkt lagen noch nicht alle notwendigen Informationen für die Priorisierung flächendeckend für den gesamten Landkreis vor. Dies betrifft insbesondere die landkreisweite Kartierung der grundwasserabhängigen Landökosysteme sowie einen Grundwassergleichenplan zur Ableitung der Flurabstände. Der Suchraum reduzierte sich damit auf das „Aquarius-Gebiet“ [2] und damit auf den Grundwasserkörper "Ilmenau Lockergestein rechts", für den diese Daten vorhanden waren. Nachfolgend wird jedoch die zwischenzeitlich vorliegende, vollständige Datenbasis dargestellt, um die möglichen Betroffenheiten auch links der Ilmenau zu erkennen.

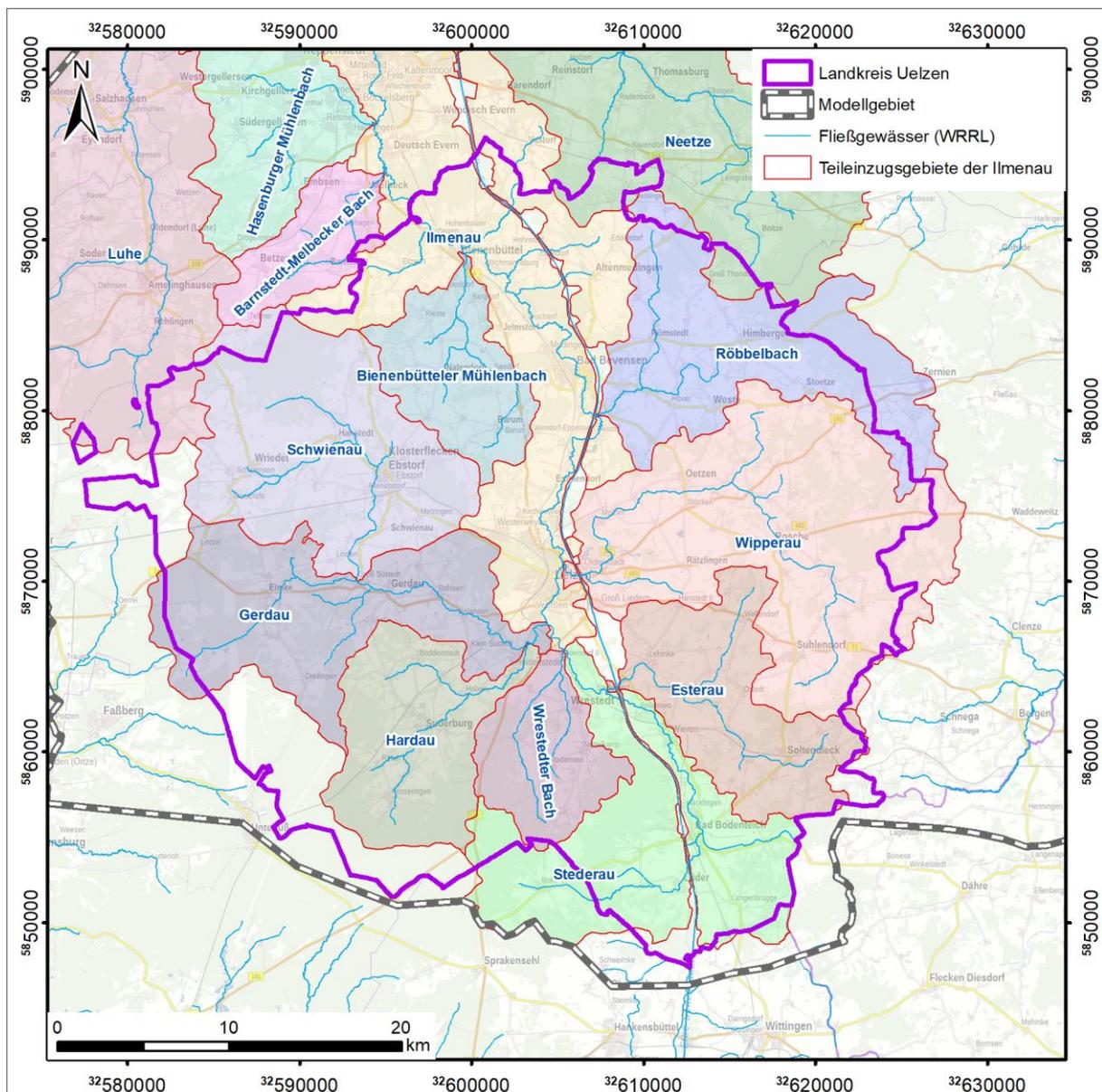


Abbildung 19: Gewässernetz (WRRL) und Teileinzugsgebiete der Ilmenau [17]

In Abbildung 19 ist das zur EU-WRRL zugehörige Gewässernetz, zusammen mit den oberirdischen Einzugsgebieten der Ilmenau-Zuflüsse im Landkreis Uelzen dargestellt. Diese Gewässer bilden die Ausgangsbasis für die weitere Abschichtung.

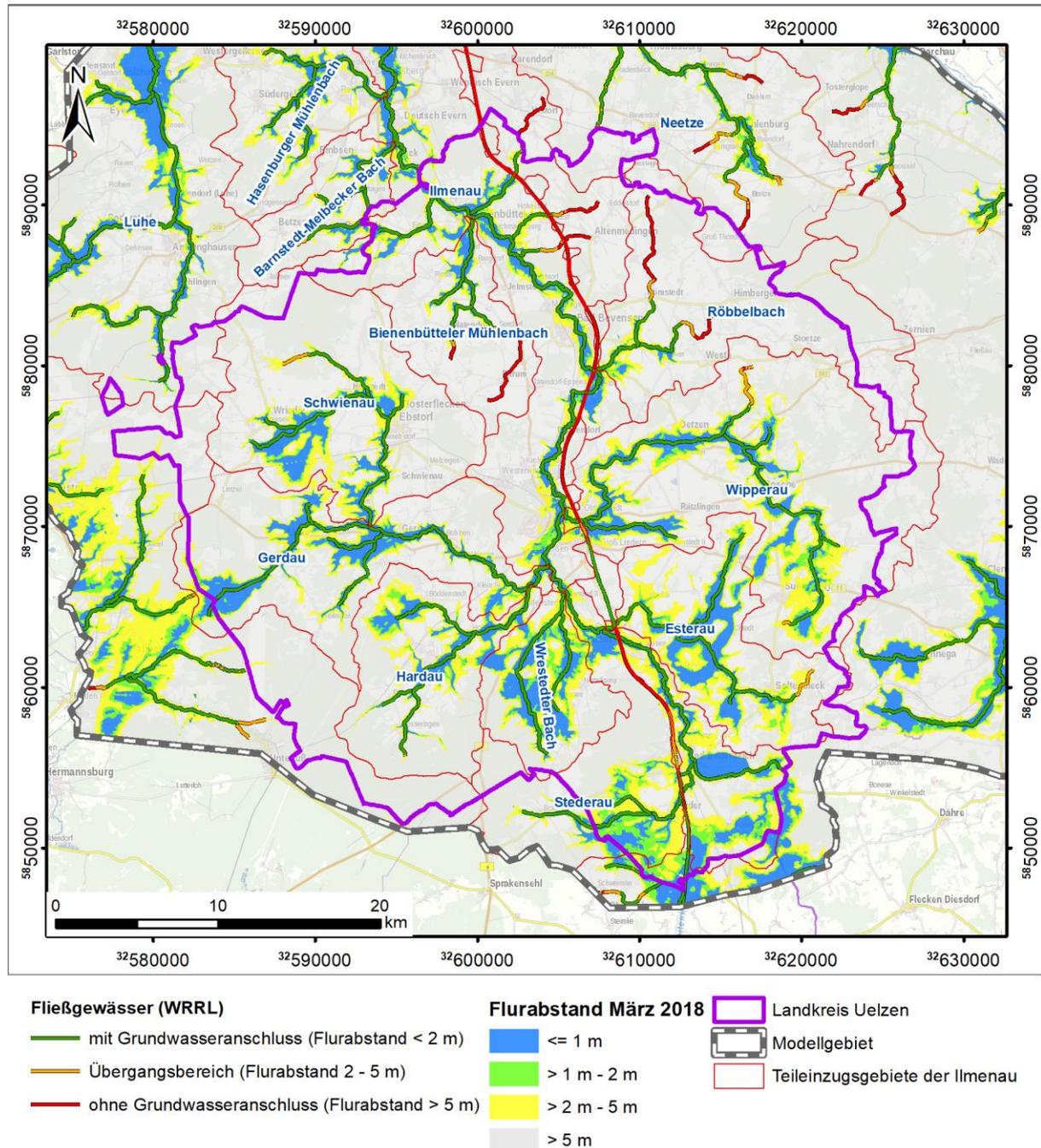


Abbildung 20: Grundwasserflurabstände < 5 m (Stichtagsmessung März 2018) [17]

Auf Basis des "Flurabstandsplans" (Abbildung 20) wurden die Gewässerabschnitte und Flächen mit Anschluss an den Haupt-Grundwasserleiter ermittelt. Nur in den Bereichen, in denen

der Flurabstand < 2 m bzw. < 5 m beträgt, können Grundwasserabsenkungen durch Wasserentnahmen Auswirkungen auf Schutzgüter haben. Die Bereiche mit Flurabständen > 5 m können von einer potentiellen Betroffenheit ausgeschlossen werden.

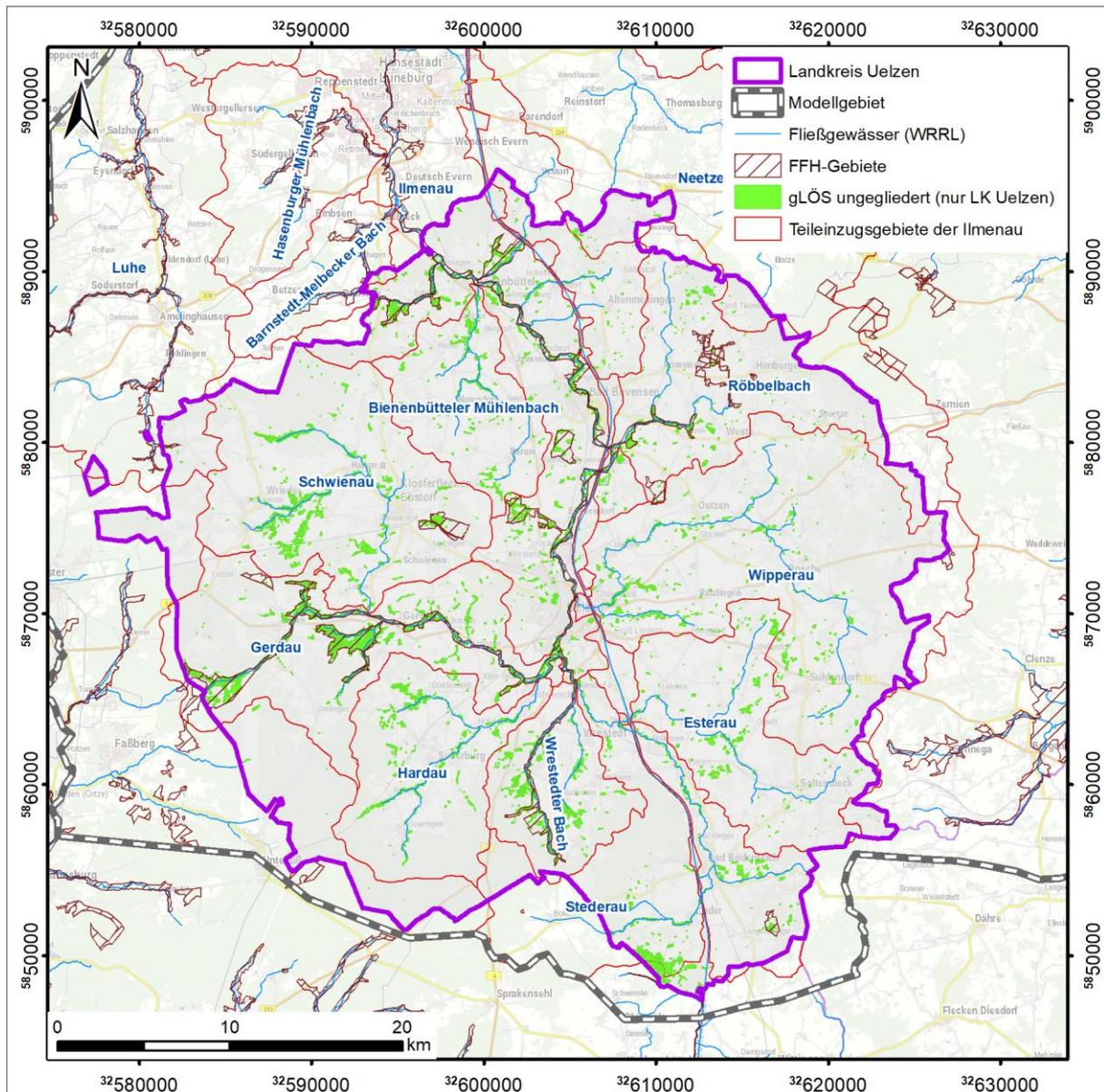


Abbildung 21: Grundwasserabhängige Landökosysteme (ungegliedert) und FFH-Gebiete im Landkreis Uelzen [17] [18] [19]

Die Verbreitung grundwasserabhängiger Landökosysteme (gwaLÖS) und FFH-Gebiete (Abbildung 21) deckt sich gut mit den Bereichen geringer Flurabstände. Der flächenmäßig größte Anteil an gLÖS befindet sich im Westen des Landkreises an den Oberläufen von Schwienau und Gerdau. Allerdings sind entlang aller Fließgewässer mit Grundwasseranschluss gLÖS verbreitet, wenn auch in geringerer Anzahl und Fläche. Vereinzelt sind gLÖS

auch in Gebieten mit großen Flurabständen kartiert, dies ist ein Hinweis auf das Vorhandensein lokaler schwebender Grundwasserstockwerke², die hydraulisch nicht mit dem Haupt-Grundwasserleiter interagieren können.

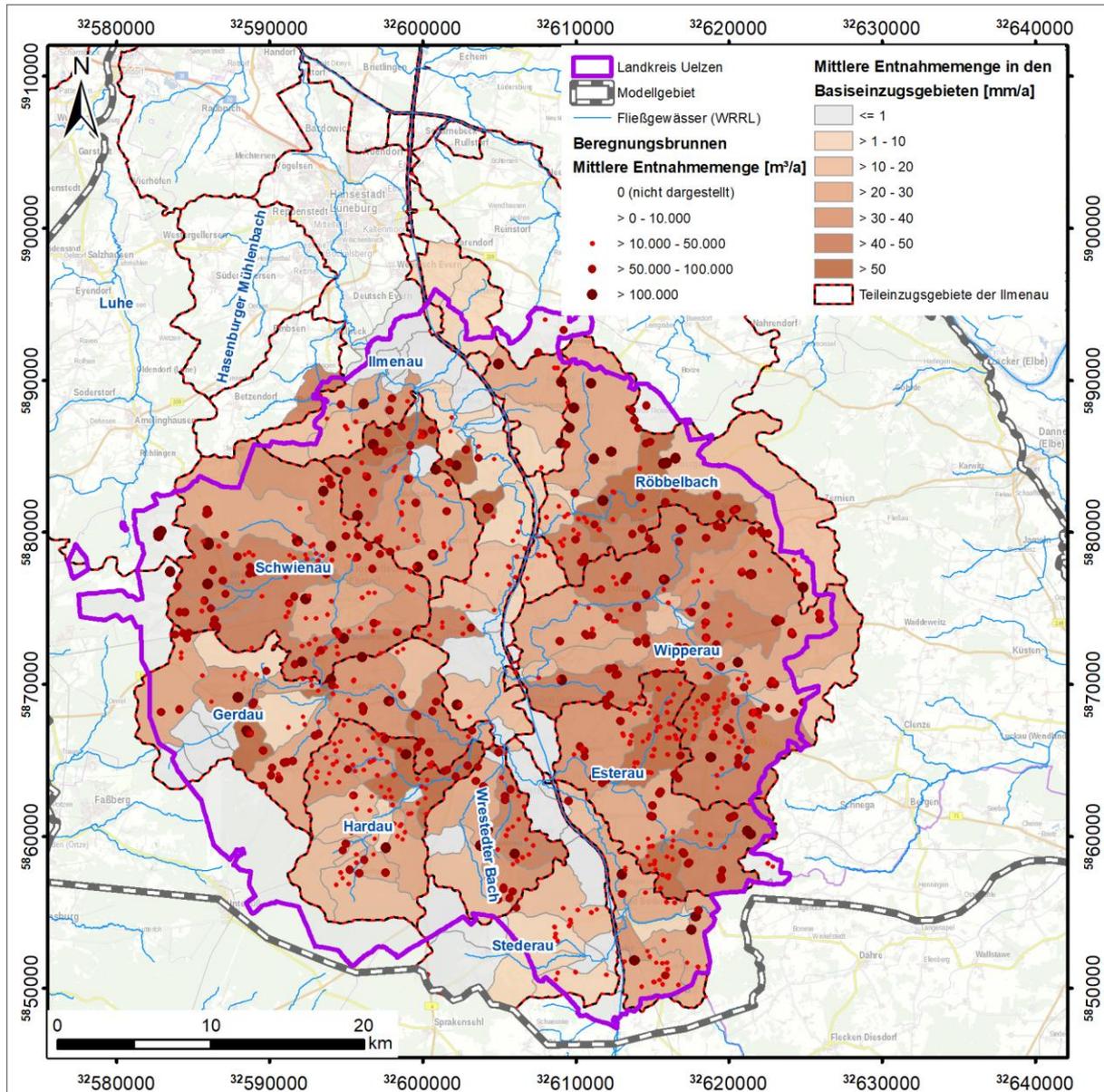


Abbildung 22: Wasserentnahmen für die Feldberechnung im Landkreis Uelzen [17]

Um die durch Grundwasserentnahmen besonders beanspruchten Gebiete zu identifizieren, wurden die Entnahmemengen der Berechnungsbrunnen für den Zeitraum 2008 - 2017 ausgewertet. Aufgrund der stark differierenden Grundwasserentnahmen zwischen den einzelnen Berechnungsbrunnen kann die alleinige Anzahl an Berechnungsbrunnen in einem Gebiet über

² Sickerwasser, welches oberhalb des Haupt-Grundwasserleiters und ohne hydraulischen Kontakt zu diesem auf einer geringdurchlässigen Schicht aufgestaut wird.

die tatsächliche Betroffenheit täuschen. Daher ist es notwendig, die Entnahmemengen aller Beregnungsbrunnen gebietsweise aufsummiert zu betrachten. Als Gebietseinheit wurden die Basiseinzugsgebiete gewählt, welche die kleinste hydrographische Gliederungsebene der oberirdischen Einzugsgebiete Niedersachsens darstellen. Bezogen auf die Flächengröße der einzelnen Basiseinzugsgebiete ergeben sich mittlere jährliche Gebiets-Entnahmemengen im mm/a, diese sind in Abbildung 22 dargestellt. Es wird deutlich, dass die größten Entnahmemengen des gesamten Landkreises in den Oberläufen des Röbbelbachs, der Wipperau und der Esterau bestehen. Weitere stark beanspruchte Gebiete sind der Barum-Bienenbütteler-Mühlenbach, der Oberlauf der Schwienau sowie einzelne Gewässerabschnitte der Hardau.

Weitere Kriterien für die Auswahl der Pilotgebiete sind die Erreichbarkeit der Messstellen (idealerweise unter einer Straßenbrücke) sowie Mindestabflussmengen während der Beregnungsphase, die messtechnisch noch erfassbar sind. Letztere wurden als gegeben angenommen, wenn das Gewässer am untersuchten Punkt bereits über längere Abschnitte Anschluss ans Grundwasser hat.

Auf dieser Grundlage wurden zunächst mehrere Standorte entlang der potentiell stark betroffenen Gewässer Wipperau, Esterau und Röbbelbach identifiziert, die für die Einrichtung einer Messstellengruppe geeignet sein könnten. Für diese Standorte wurden zunächst mit dem Aquarius-Grundwassermodell die unterirdischen Einzugsgebiete berechnet, und anhand ihrer potentiellen Betroffenheit bewertet. In einer Geländebegehung wurde die Realisierbarkeit zur Errichtung von Messstellengruppen an den identifizierten Standorten abgeschätzt. Hieraus ergaben sich 3 Standortvorschläge zur Errichtung der Pilotmessstellen, die mit der Unteren Naturschutzbehörde und der Unteren Wasserbehörde bezüglich etwaiger Restriktionen abgestimmt wurden:

1. Röbbelbach: Einzugsgebiet oberhalb von Groß Hesebeck
2. Wipperau: Einzugsgebiet oberhalb von Rosche
3. Esterau: Einzugsgebiet oberhalb von Emern

Die **unterirdischen** Einzugsgebiete dieser Gewässerpunkte definieren die sogenannten Pilotgebiete (Abbildung 23). Für die spätere Betrachtung (Grundwasserabsenkung, Abflussminderung) besonders relevant sind die Beregnungsbrunnen innerhalb und im näheren Umfeld (1,5 km-Saum) der Pilotgebiete.

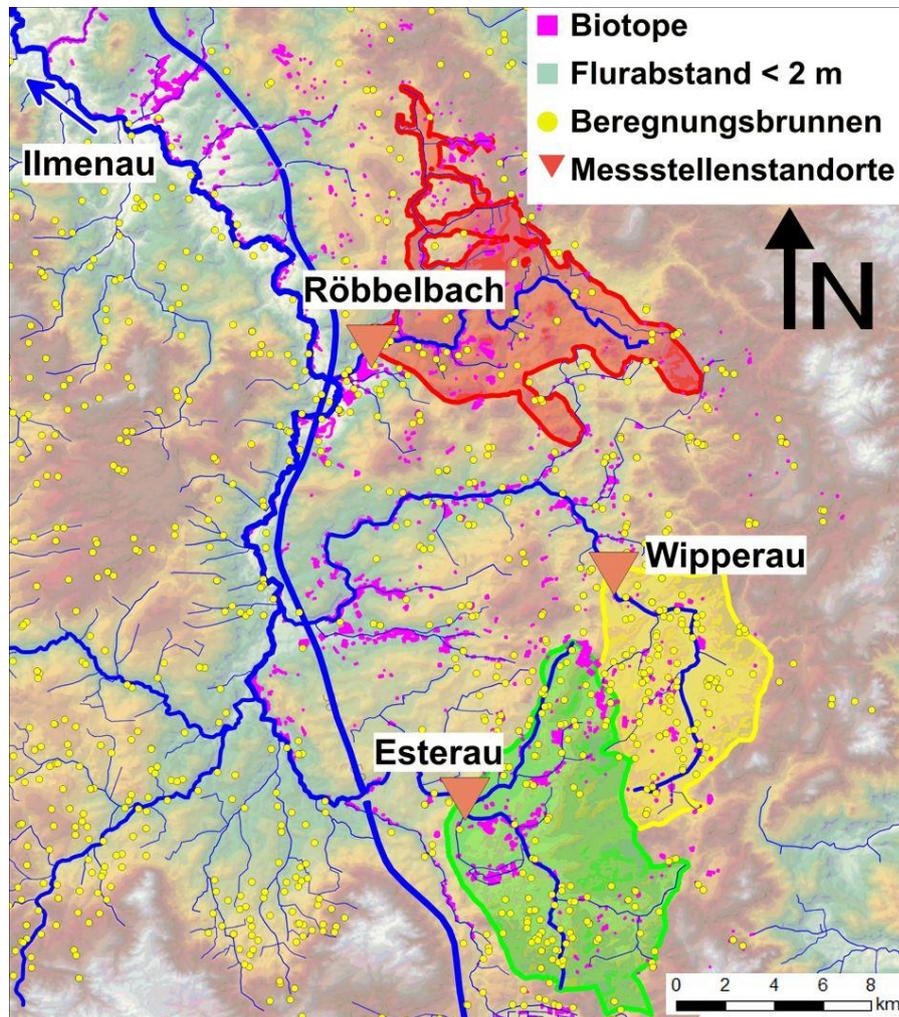


Abbildung 23: Lage der Pilotgebiete

Eine zusammenfassende Darstellung der Pilotgebiete mit den wichtigsten Kennwerten befindet sich in Tabelle 6.

Tabelle 6: Kennwerte der Pilotgebiete

Ort	Gewässer	Pilotgebiete		GW-Anschluss	FFH-Gebiete	gLÖS	Grundwasserentnahmen / A_u [mm/a]
		A_o [km ²]	A_u [km ²]				
Groß Hesebeck	Röbbelbach	145,8	55,9	+	+	++	38
Rosche	Wipperau	104,3	44,6	+	-	+	54
Emern	Esterau	83,8	69,8	+	-	+	31

3.3 Messstellenaufbau

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

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

Durch diese Messstellenkombination 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 24).

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).

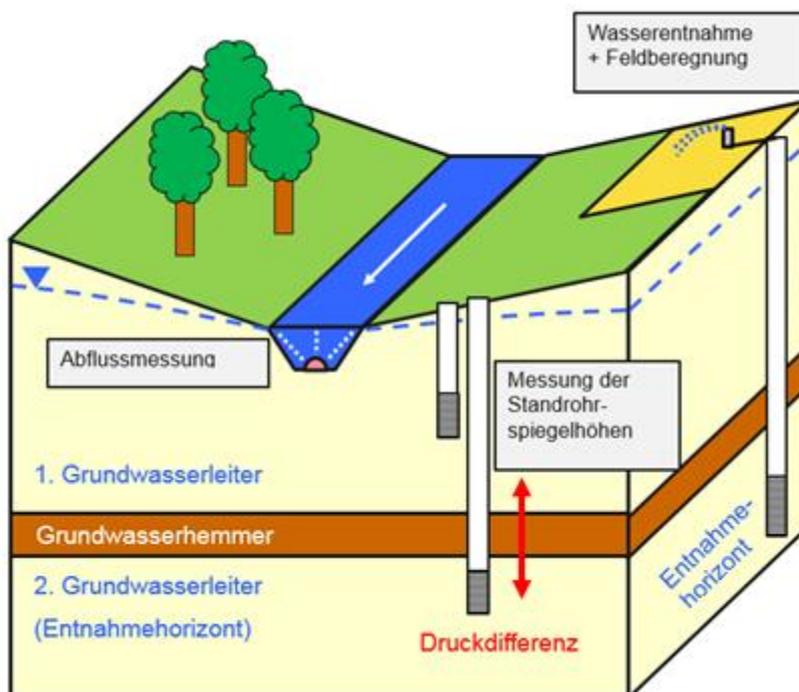


Abbildung 24: Aufbau einer Messstellengruppe (Prinzipskizze)

Die genaue Position der Messstellen wurde im Rahmen einer Geländebegehung festgelegt. Geeignete Gewässerabschnitte für die Errichtung einer Abflussmessstelle müssen möglichst laminare Strömungsbedingungen und einen konstanten Gerinnequerschnitt aufweisen; dies

ist meist unter Straßenbrücken der Fall. Es wurden Abflussmesssonden der neuesten Generation (Acoustic Doppler Current Profiler) installiert, die speziell für geringe Wasserstände ausgelegt sind, sodass auch Minimalabflussmengen (ab 8 cm Wasserstand über der Sonde) erfasst werden können (Abbildung 25).

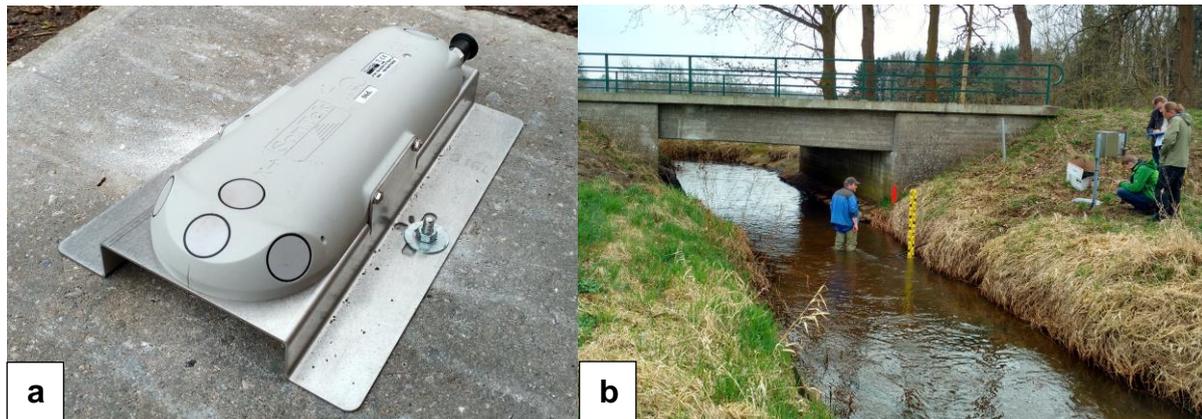


Abbildung 25: Abflussmesssonde (Sonotec IQ) montiert auf einer Gehwegplatte (a); Pegelstandort Emern unter einer Straßenbrücke mit Auslesestation am Ufer (b)

Im Nahbereich der Abflussmessstellen wurde jeweils eine neue Grundwassermessstellen-Gruppe mit Filterlagen im oberflächennahen Grundwasserleiter bzw. im darunter liegenden Hauptförderhorizont gebaut und mit Datenloggern ausgerüstet (Abbildung 26). Durch das Bohrprogramm konnten zusätzlich neue Untergrundinformationen über die Schichtenfolge hinzugewonnen, und somit das Systemverständnis verbessert werden. Die Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne der Messstellenbohrungen befinden sich in Anlage 1.

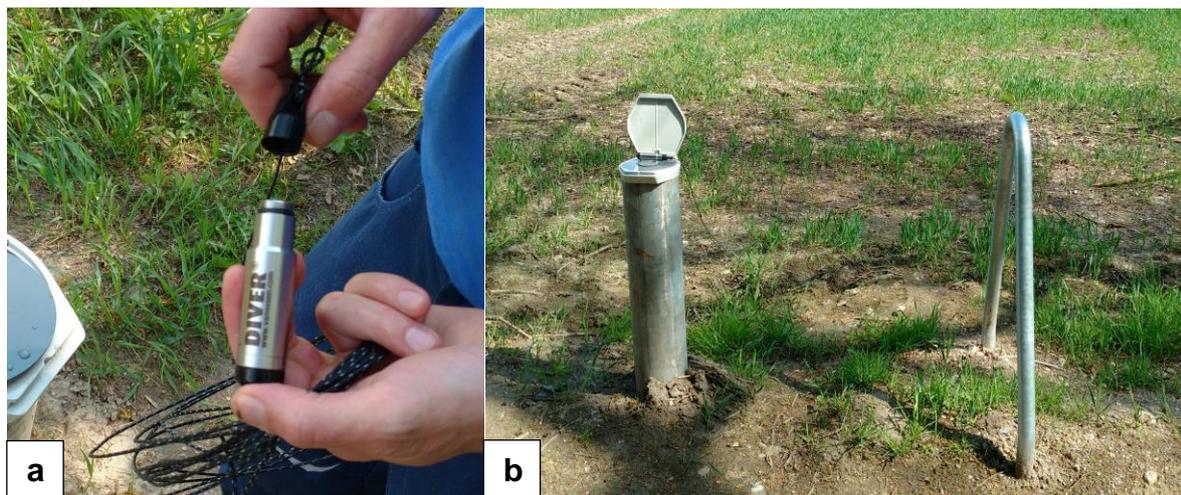


Abbildung 26: Grundwasserstandsdatenlogger (Diver) (a), Grundwassermessstelle in Rosche (b)

Die Erprobungsphase begann mit dem Bau der Messstellen im März 2018 und dauerte über zwei Beregnungsperioden bis Dezember 2019. Während dieser Zeit wurde zusätzlich eine (Basis-)Abfluss-Stichtagsmessung an weiteren Gewässerpunkten in den „Pilot-Einzugsgebiete-

ten“ durchgeführt, um das Systemverständnis weiter zu verbessern. Hierbei war auf einen geeigneten Zeitpunkt zu achten, um plausible Ergebnisse zu erhalten. Notwendig ist eine vorausgegangene Trockenwetterphase, sodass der vor Ort gemessene Abfluss als Basisabfluss angesehen werden kann.

Während der Erprobungsphase steht neben der Erfassung der Messwerte vor allem auch der Erfahrungsgewinn durch den Betrieb der Messstellen im Mittelpunkt. Ziel ist ein zuverlässiges Messsystem, das zu belastbaren und nachvollziehbaren Aussagen mit einem überschaubaren Mess- und Wartungsaufwand führt.

4 Probetrieb des Monitoringsystems

4.1 Abflussmesstechnik

Die eingesetzte Messtechnik (Sontec IQ) wird mittig in der Gewässersohle eingebaut und gehört in die Kategorie der "acoustic doppler current profiler" (ADCP). Gemessen wird das Echo eines akustischen Pulses. Aus Laufzeit und Frequenzverschiebung wird ein Geschwindigkeitsprofil generiert. Die Besonderheit des Sontec IQ ist das Vorhandensein mehrerer akustischer "beams" (Schallwandler) in unterschiedliche Raumrichtungen, sodass ein größerer Bereich des Gewässerquerschnitts messtechnisch erfasst wird (Abbildung 27).

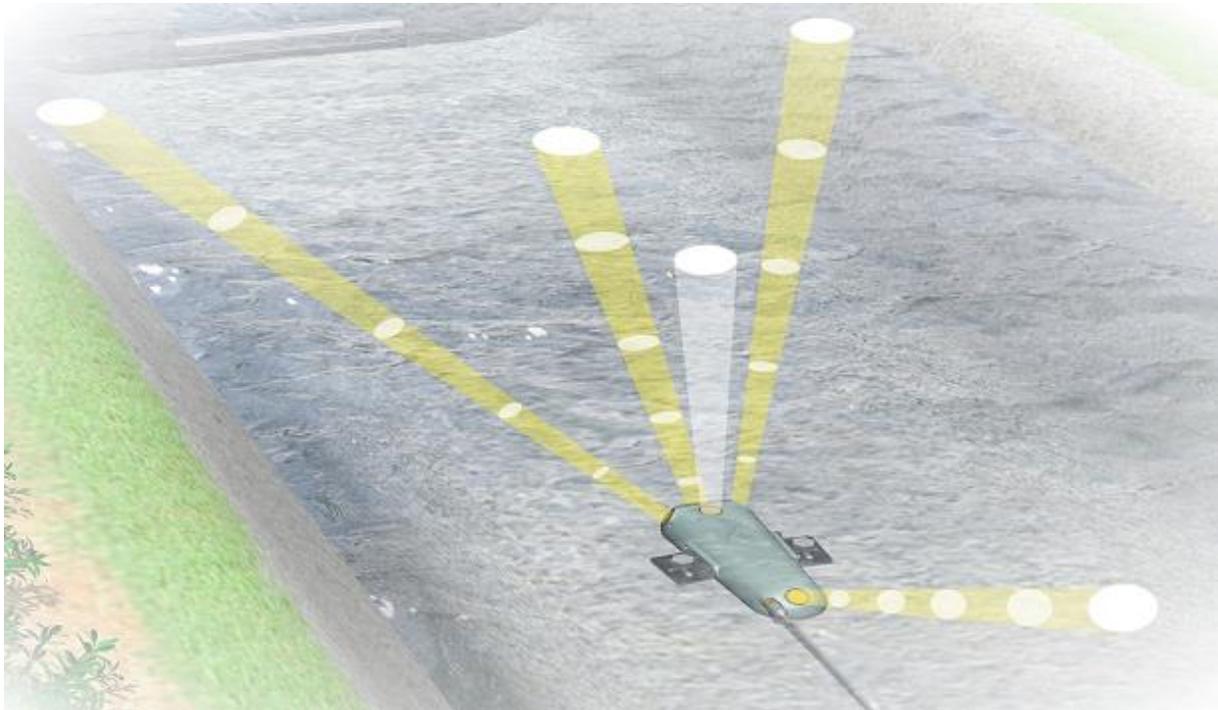


Abbildung 27: Abflussmesssonde "Sontec IQ" mit Darstellung der akustischen "beams" [14]

Die Messgeräte wurden auf einer Gehwegplatte montiert und in die Gewässersohle gelegt. Die Stromversorgung sowie der Datentransfer erfolgt über ein in der Gewässersohle verlegtes Spezialkabel, welches in einem Schaltschrank am Ufer endet. Dort sind eine USB-Schnittstelle sowie ein Akku zur Stromversorgung verbaut.

In der Gerätekonfiguration müssen zur Abflussermittlung Gerinnequerschnitt und Sondenposition definiert werden. Als Messzeitraum wurden auf Empfehlung des Messtechnik-Anbieters 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 2). An einem dieser Geländetermine (16.05.2018) hat auch der NLWKN teilgenommen, um eine Vergleichbarkeit der Kontrollmessungen gegenüber „klassischen“ Messungen mittels Messflügel herzustellen. Hierbei wurde festgestellt, dass es kaum Differenzen zwischen den nach unterschiedlichen Messmethoden ermittelten Fließgeschwindigkeiten gab. Lediglich bei vorhandener Verkrautung im Anstrom der Messstelle wurden die Fließgeschwindigkeiten durch das Ultraschall-Abflussmessgerät überschätzt. Daher wurde bei den weiteren Kontrollmessungen besonderer Wert auf ein freigeräumtes Gerinne gelegt.

Der Vergleich zwischen stationärer Abflussmessung (Sontec IQ) und Kontrollmessung zeigte hingegen erhebliche Unterschiede, sodass die intern berechneten Abflussdaten nicht ohne zusätzliche Kalibrierung verwendet werden konnten. Dazu kam es gelegentlich zu unplausiblen Sprüngen in den Abflusszeitreihen (Abbildung 28), die mit dem Über- bzw. Unterschreiten eines bestimmten Wasserstandes in Verbindung gebracht werden konnten. Es scheint, als benötigen die seitlichen "beams" einen höheren Mindestwasserstand, um in die Abflussberechnung mit einzufließen, sodass beim Übergang zwischen den Berechnungsgrundlagen diese Unstetigkeiten entstehen. Leider ist die interne Abflussberechnung des Sontec IQ weder in der Anleitung dokumentiert, noch lassen sich im Gerät Kalibriereinstellungen vornehmen. Aus diesem Grund ist es notwendig, eine nachträgliche Kalibrierung am Computer vorzunehmen.

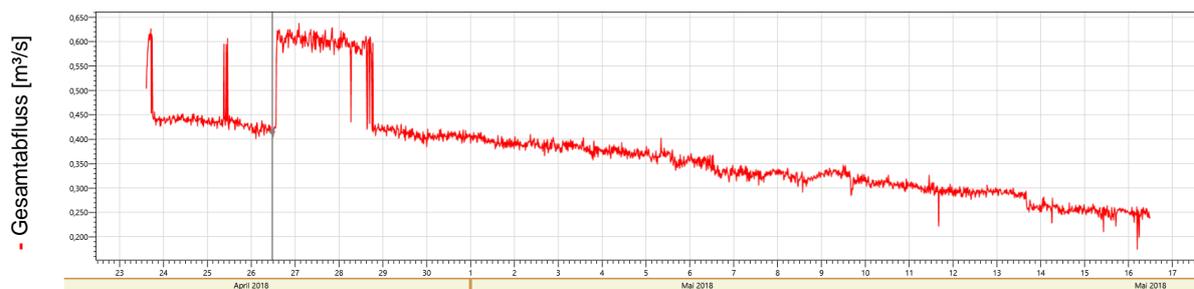


Abbildung 28: Unstetigkeiten in der geräteinternen Abflussberechnung (Bsp. Emern)

Die Messstellenkalibrierung verfolgt den Ansatz, mit den aufgezeichneten Rohdaten (Geschwindigkeit links, mittig, rechts) des Sontec IQ die Geschwindigkeitsprofile der Kontrollmessungen wiederzugeben. Hierzu wurde mit einem numerischen Optimierungsverfahren für jede Lotrechte des Gewässerquerschnitts die ideale Gewichtung zwischen der mittigen und der seitlichen (links oder rechts) Geschwindigkeit bestimmt. Mithilfe dieser kalibrierten Gewichtung kann für jede Messung ein vollständiges Geschwindigkeitsprofil, und damit auch ein Abflusswert berechnet werden. Eine Gegenüberstellung der Werte zwischen kalibrierter stationärer Messung und Kontrollmessung ist in Abbildung 29 bis Abbildung 31 (jeweils linkes Diagramm) dargestellt.

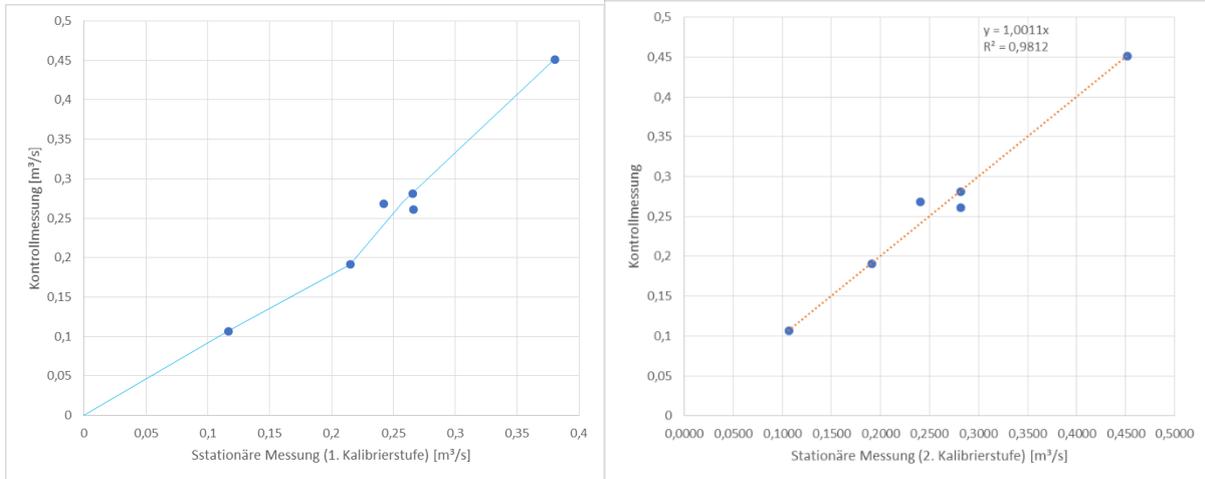


Abbildung 29: Kalibriergüte Groß Hesebeck (vor Umbau)

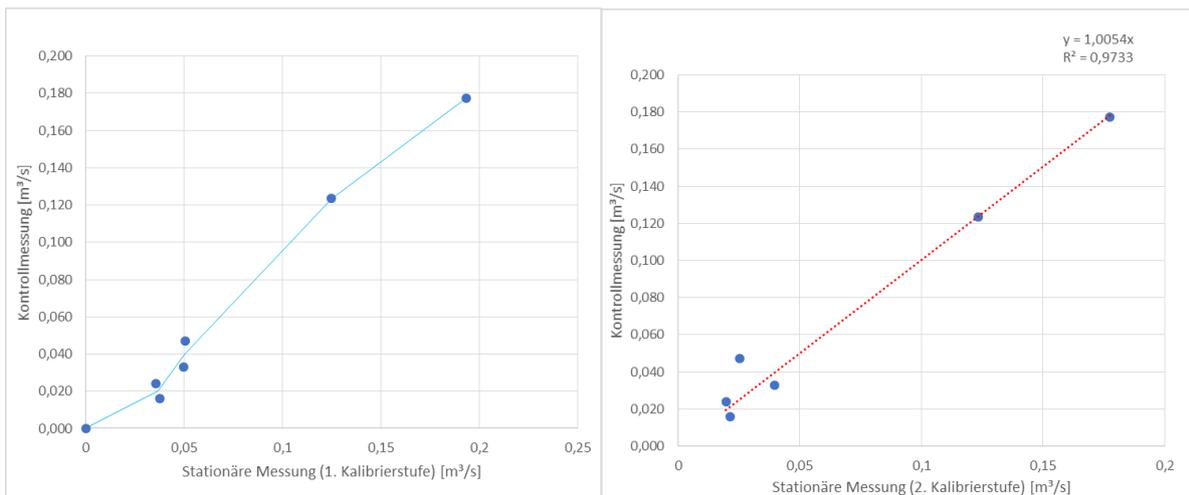


Abbildung 30: Kalibriergüte Rosche

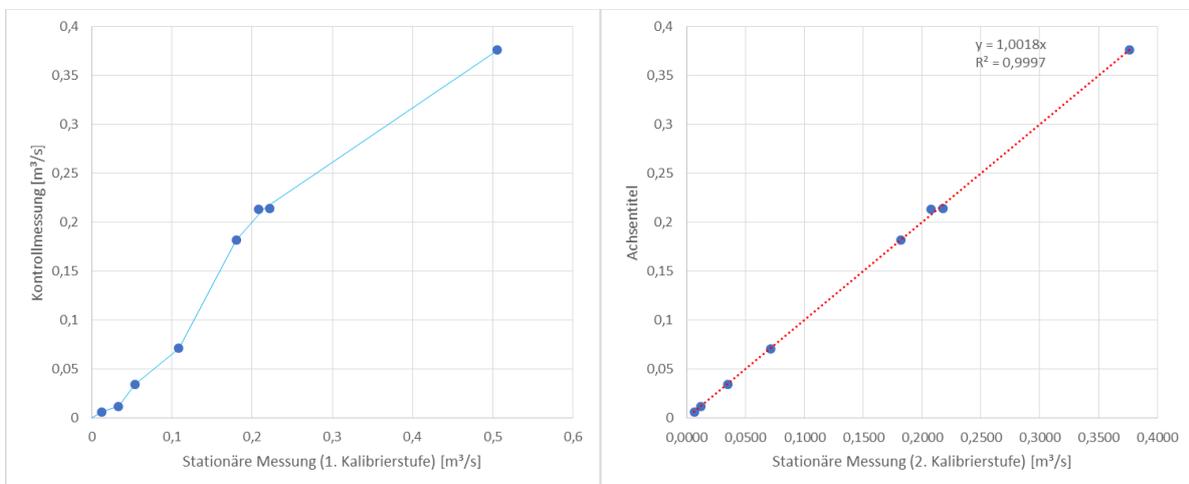


Abbildung 31: Kalibriergüte Emern

Es zeigte sich zunächst ein nicht-lineares Verhältnis, sodass ein zweiter Kalibrierschritt in Form einer Schlüsselkurve (blaue Linie) angewendet wurde. Hierbei wurden die Messwerte der stationären Messung (1. Kalibrierstufe) über Faktoren in ein lineares Verhältnis zu den Vergleichsmessungen überführt. Eine Gegenüberstellung der Werte nach der zweiten Kalibrierstufe befindet sich jeweils im rechten Diagramm. Aufgrund der kurzen Erprobungsphase musste der gesamte Messzeitraum zur Kalibrierung verwendet werden. Zukünftige Kontrollmessungen können die Gültigkeit der Kalibrierparameter validieren.

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 [3] 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. [3]).

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 mGROWA (Durchschnitt der Periode 1971 - 2000) 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. Nachfolgend werden aufgetretene Probleme sowie Lösungsstrategien und ergriffene Maßnahmen beschrieben.

- Treibholz, welches sich im Gerinne verfängt, beeinflusst das Strömungsbild und damit auch die Fließgeschwindigkeiten. Die Gültigkeit der Kalibrierung kann für diesen Zustand infrage gestellt werden. Teilweise wurden Sensoren an ihrer Messung gehindert.

Die betroffenen Zeiträume ließen sich in den Rohdaten anhand von untypischen Sprüngen im Wasserstand oder durch vermehrtes Rauschen identifizieren. Über die Verwendung dieser Daten wurde im Einzelfall entschieden.

Die Gerinne wurden schnellstmöglich freigeräumt.



Abbildung 32: Treibholz in Rosche

- Anthropogene Einflüsse (vermutlich spielende Kinder) haben in der Ortslage von Rosche mehrfach zum Bau eines Staudamms geführt. Die verringerte Fließgeschwindigkeit im Rückstaubereich führte dabei zu einer starken Versandung die die Sonde komplett begraben hat, sodass keine Messwertaufzeichnung stattfinden konnte. Darüber hinaus kam es zu leichtem Vandalismus in Form von herausgezogenen Kabeln.

Das Gerinne wurde schnellstmöglich freigeräumt und herumliegendes Sturmholz abtransportiert. Als Schutzmaßnahme gegenüber Vandalismus ist das Datenkabel in der Gewässersohle vergraben worden.



Abbildung 33: Staudamm in Rosche

- Algenbewuchs / Biofilm auf den Sensoren, der sich nur schwer entfernen lässt, entsteht vor allem bei viel Licht (Emern, Gr. Hesebeck). Ein negativer Einfluss auf die Messungen konnte bei einem 4-wöchigen Pflegeintervall noch nicht festgestellt werden.
Die Sensoren wurden bei jedem Messstellenbesuch gereinigt.



Abbildung 34: Biologischer Bewuchs und gereinigte Sensorflächen

- Geringe Fließgeschwindigkeiten sind für das Messgerät deutlich schwieriger zu erfassen. Deutlich wird dies in der größeren Streubreite der Messwerte bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten. Dies trifft vor allem auf die Messstelle in Rosche mit ihrem breiten Querschnitt zu, deren Abflussverhalten vor allem durch Veränderungen der Fließgeschwindigkeit und weniger durch den Wasserstand geprägt ist.

Die betroffenen Zeiträume ließen sich in den Rohdaten anhand von großen Streubreiten leicht identifizieren (Abbildung 35). Diese Daten wurden nicht weiter verwendet.

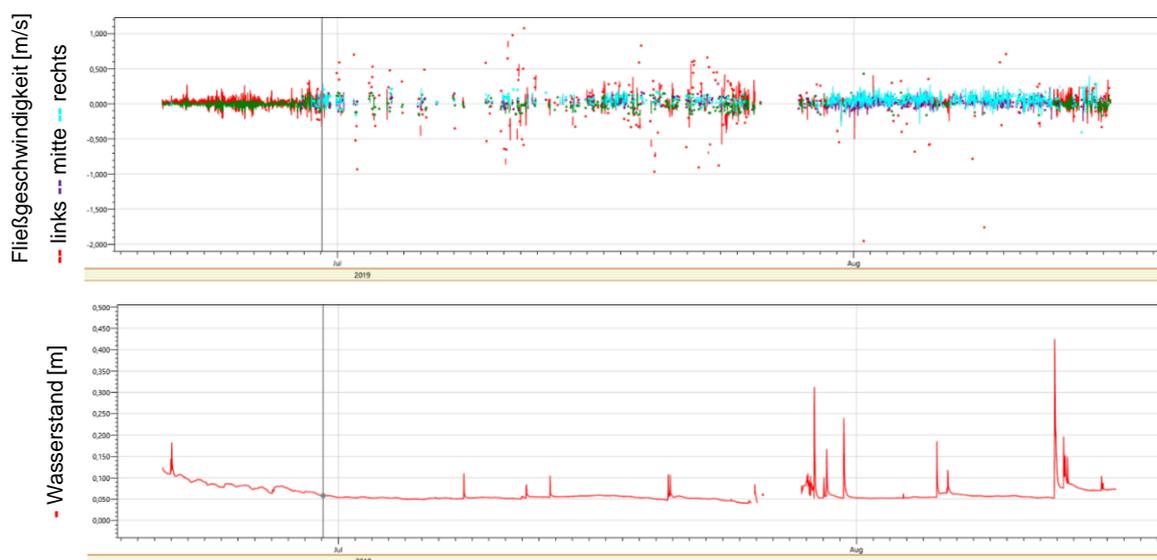


Abbildung 35: Hohe Streubreite der Geschwindigkeitsmessung in Rosche bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten und geringem Wasserstand.

- Niedrigwasser führt teilweise zu komplett anderen Strömungsbedingungen, die zum Zeitpunkt der Installation so nicht abzusehen waren. So hat sich der Standort in Groß Hesebeck infolge rückwärtiger Strömungen bzw. Strudelbildung als ungeeignet herausgestellt (Abbildung 36).

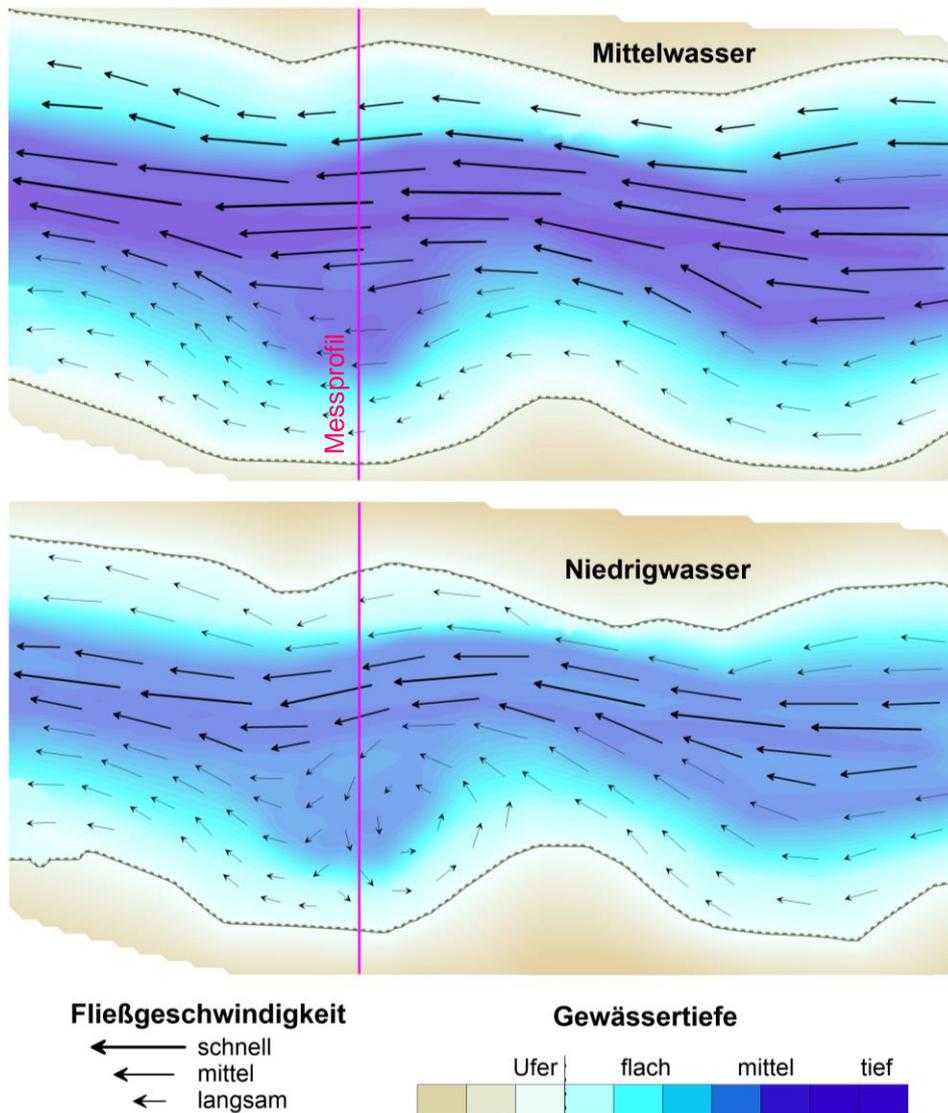


Abbildung 36: Fließverhalten des Röbbelbachs in Gr. Hesebeck (Pinzipskizze)

Infolgedessen wurde die Messstelle unter die Straßenbrücke versetzt und die dort vorhandene Auskolkung der Sohle so verfüllt, dass dort keine stehenden Wellen (ursprüngliches Ausschlusskriterium) mehr existieren.



Abbildung 37: Messstelle Groß Hesebeck nach dem Umbau (20.06.2019)

- Ein Trockenfallen der Messstelle in Emern konnte sowohl in 2018 als auch in 2019 beobachtet werden. Der Übergangsbereich zwischen 8 cm Sensorüberdeckung und ausgetrocknetem Bach kann entsprechend nicht aufgezeichnet werden. Ferner hören die seitlichen "beams" schon bei etwa 12 cm Sensorüberdeckung auf Messwerte zu liefern. Kontrollmessungen haben gezeigt, dass der Abfluss an dieser unteren Messgrenze bei $< 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt. Die nicht erfassten Abflussmengen sind bezogen auf die Monats- oder Jahresbilanz unerheblich klein.
- Die Messtechnik erzeugte Probleme durch einen Fehler in der Systemzeit. Diese stellte sich an allen 3 Messstellen aus bisher nicht nachvollziehbaren Gründen etwa 13 Jahre zurück. Die Anpassung der Systemzeit vor Ort blieb zunächst erfolglos, erst ein Firmware-Update durch den Anbieter konnte diesen Fehler beheben.

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 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 Beregnungsperiode 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 für das Jahr 2018 wurden prioritär für die unterirdischen Einzugsgebiete der Pilotgebiete mit einem zusätzlichen Suchradius von 1,5 km angefordert und nachrangig für das gesamte Modellgebiet. Zum 11.09.2019 konnten diese Wasserentnahmen für die Pilotgebiete bereitgestellt werden. Bei den Daten handelt es sich um Jahresmengen für jeden einzelnen Brunnen, die auf Grundlage des Stromverbrauchs auf die einzelnen Monate gerechnet wurden.

6 Ergebnisse aus dem Probetrieb

6.1 Groß Hesebeck

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Groß Hesebeck sind in Abbildung 38 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen und Wasserstände, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet.

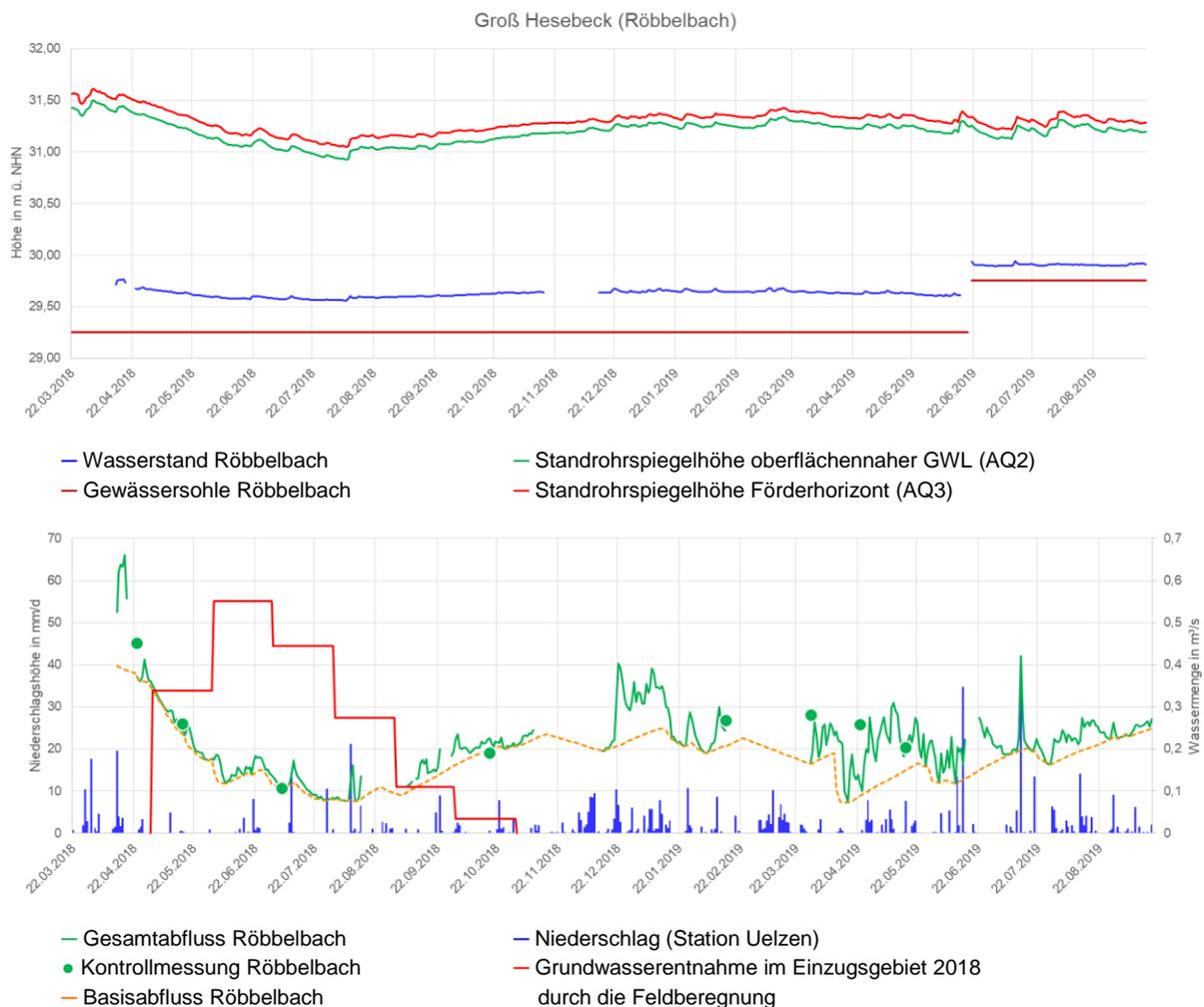


Abbildung 38: Ergebnisse der Messstellengruppe Groß Hesebeck (Wasserentnahmen 2019 noch nicht bekannt)

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. Die Ganglinien der beiden Grundwassermessstellen korrelieren stark miteinander. Die Standrohrspiegelhöhe im Förderhorizont (AQ3) liegt in einem konstanten Abstand von 10 cm oberhalb der 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.

Die Ganglinien zeigen keine starken Ausschläge, auch wenn aufgrund der großen Grundwasserentnahmen im Dürre-Jahr 2018 (2019 aufgrund noch nicht vorliegender Daten nicht dargestellt) 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 weiter entfernten Brunnen zusammen. Dieser Effekt wirkt wie eine gleichmäßige großflächige Absenkung mit längerer Reaktionszeit.

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

Die zusätzlich durchgeführte Abfluss-Stichtagsmessung im Einzugsgebiet ist in Abbildung 39 dargestellt. Der Gesamtabfluss am Stichtag kann aufgrund der vorangegangenen Witterungsverhältnisse näherungsweise als Basisabfluss angenommen werden. Es wird deutlich, in welchen Gewässerabschnitten die größten Zuströme aus dem Grundwasser stattfinden. Auffällig hierbei ist, dass im jeweiligen Oberstrom bei Römstedt (Gollernbach) und bei Höver (Röbbelbach) nur sehr geringe Abflussmengen gemessen werden konnten, sodass nahezu die komplette am Pegel Groß Hesebeck gemessene Abflussmenge aus dem relativ kurzen Gewässerabschnitt zwischen Groß Hesebeck und Röbbel stammen muss. In diesem Bereich besteht somit eine starke Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer.

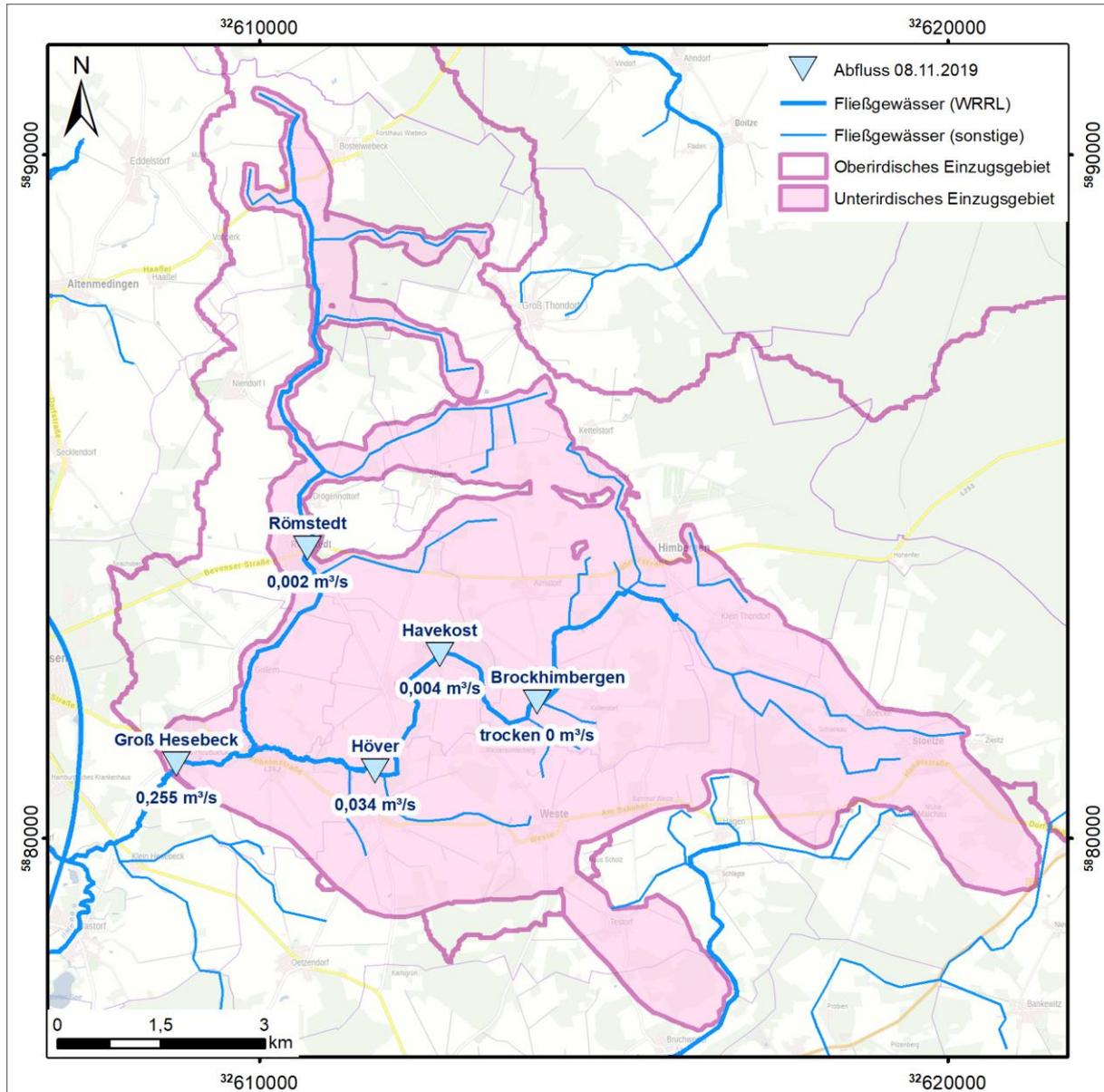


Abbildung 39: Abfluss-Stichtagsmessung Röbbelbach

6.2 Rosche

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Rosche sind in Abbildung 40 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen und Wasserstände, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet.

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. Dadurch beginnt die Beregnungsperiode 2019 mit weniger Grundwasser im System und die Standrohrspiegelhöhen unterschreiten im Sommer 2019 sogar die Werte des Dürre-Jahres 2018.

Die Wasserstandsganglinie der Wipperau unterliegt hingegen kaum Schwankungen und zeigt keine Korrelationen zu den Grundwasserstandsganglinien. Gleichwohl zeigen sich dieselben saisonalen Ausprägungen; so steigt der Wasserstand nach der Beregnungsperiode 2018 nur unwesentlich wieder an und erreicht im Jahr 2019 seinen Tiefststand.

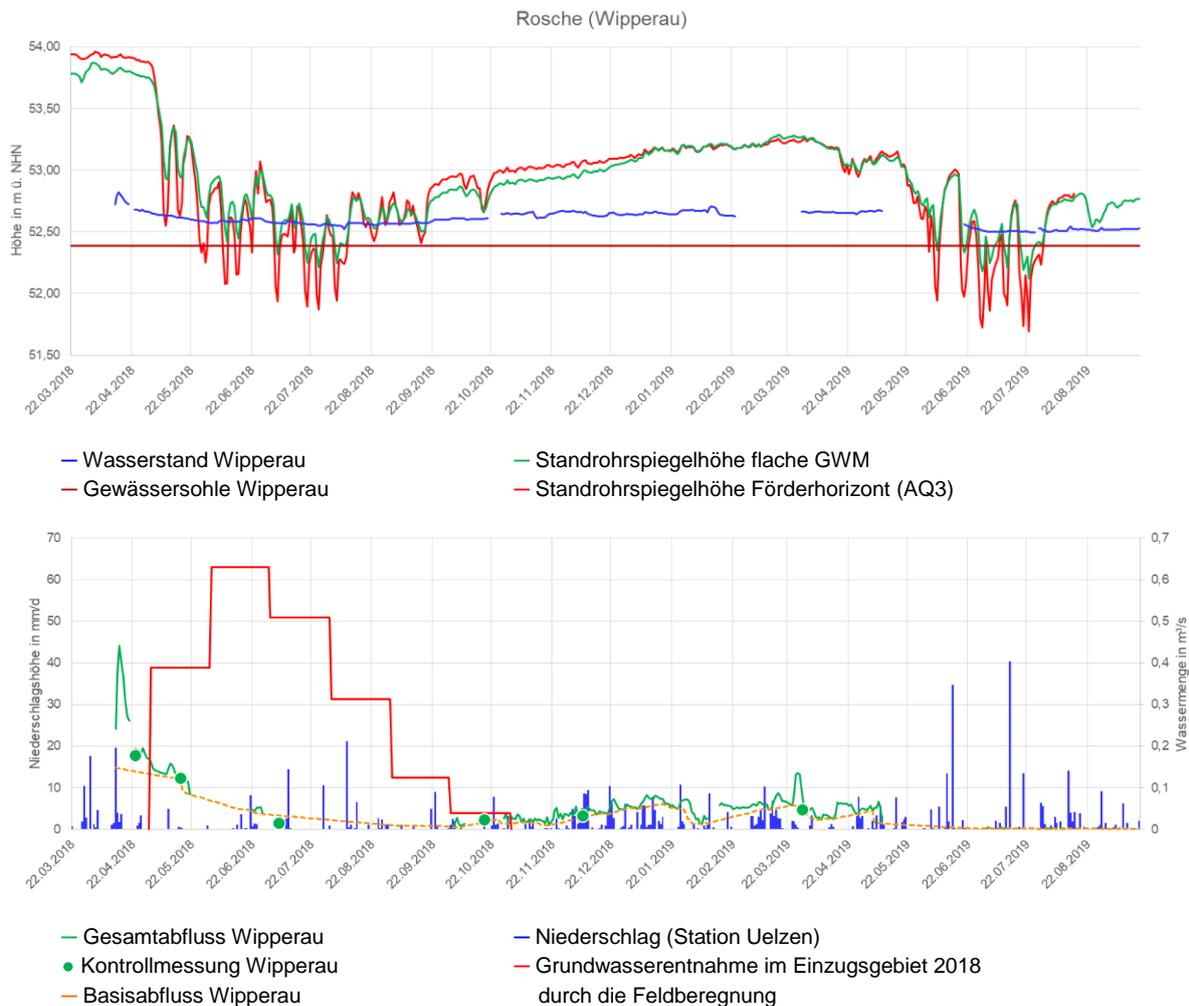


Abbildung 40: Ergebnisse der Messstellengruppe Rosche (Wasserentnahmen 2019 noch nicht bekannt)

Die Messstellenbohrung zeigt, dass die Umgebung der Messstellen von einem mächtigen Hemmer (Geschiebemergel) geprägt ist, und ein oberflächennaher Grundwasserleiter (AQ2) de facto nicht existiert. Die geringmächtige Sandschicht, in der die flache Grundwassermessstelle verfiltert ist, scheint stärker mit dem Förderhorizont (AQ3) zu interagieren (Ganglinienkorrelation), als mit dem Oberflächengewässer.

Aus den Ganglinien und der Messstellenbohrung kann geschlossen werden, dass die Wippe-
 rau im Bereich Rosche kaum mit dem Grundwasser interagiert, sondern über die geringdurchlässige Schicht aus Geschiebemergel hinwegfließt.

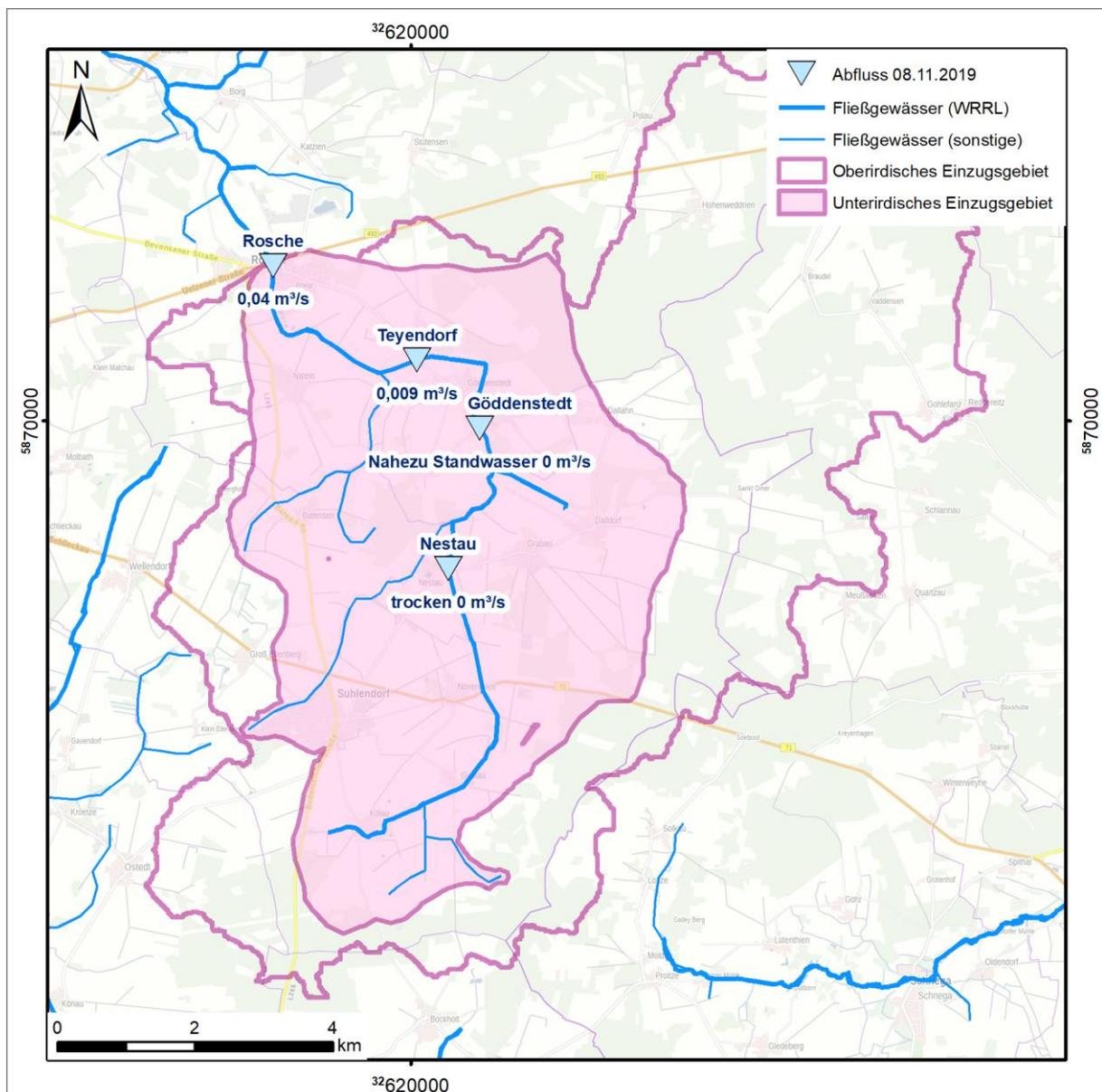


Abbildung 41: Abfluss-Stichtagsmessung Rosche

Die zusätzlich durchgeführte Abfluss-Stichtagsmessung im Einzugsgebiet von Rosche ist in Abbildung 41 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. Für die Wipperau zeigt sich ein relativ gleichmäßiger Zustrom, der am Stichtag etwa bis Gördenstedt reicht.

6.3 Emern

Die Ergebnisse für den Messstellenkomplex Emern sind in Abbildung 42 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Standrohrspiegelhöhen und Wasserstände, das untere Diagramm die Niederschläge, Abflussmengen und Wasserentnahmen im unterirdischen Einzugsgebiet.

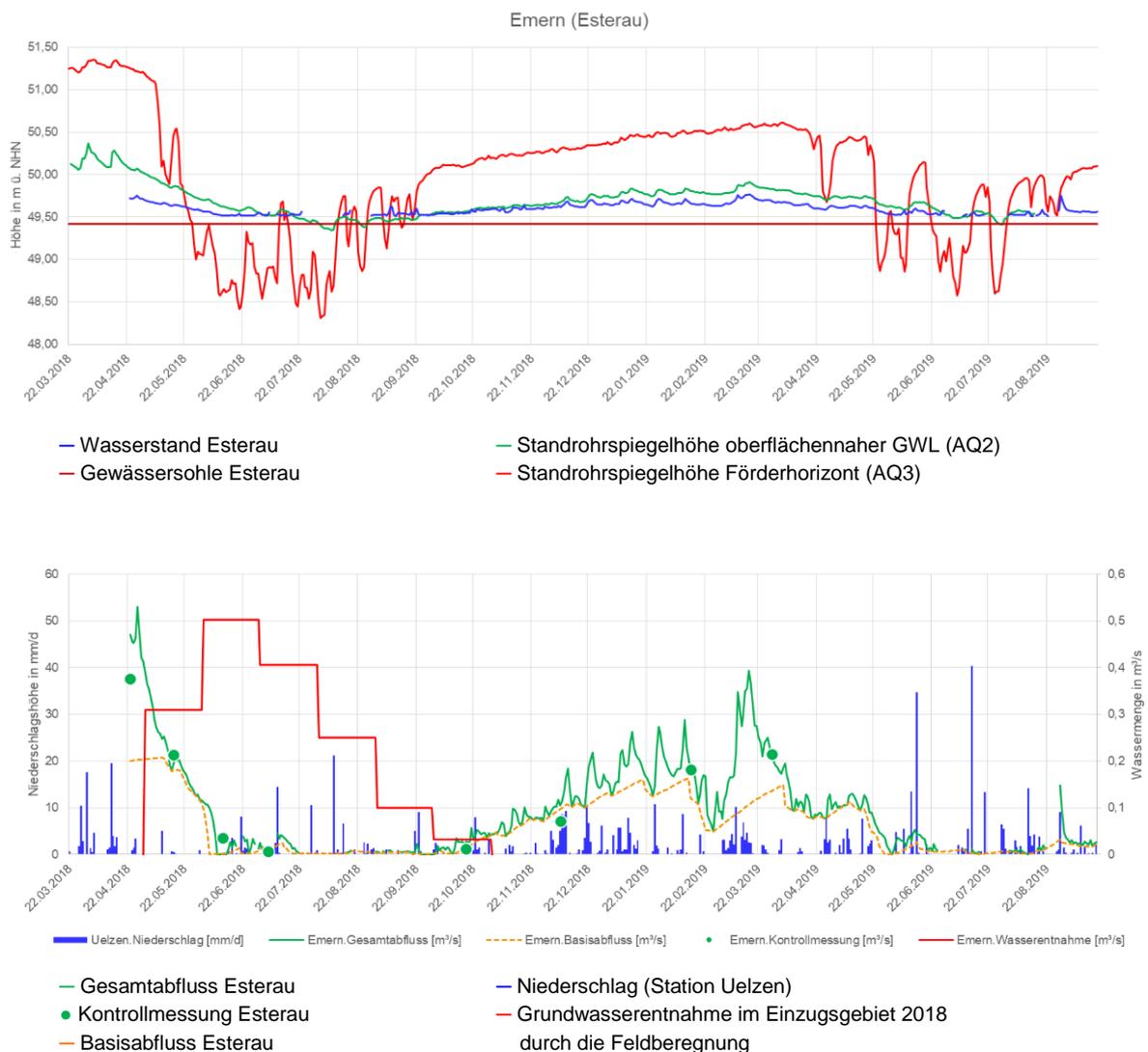


Abbildung 42: Ergebnisse der Messstellengruppe Emern (Wasserentnahmen 2019 noch nicht bekannt)

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. 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 Beregnungsperiode 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.

Auffällig am Abflussverhalten der Esterau ist die große Dynamik und damit die Amplitude der gemessenen Abflussmengen. Während im Winter teilweise Mengen von $> 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht wurden, fiel die Esterau sowohl im Sommer 2018, als auch im Sommer 2019 für mehrere Wochen trocken. Diese Dynamik weist darauf hin, dass die Esterau vornehmlich den oberflächennahen Grundwasserleiter entwässert, welcher ein relativ kleines Reservoir mit kurzen Aufenthalts- und Reaktionszeiten darstellt.

Die zusätzlich durchgeführte Abfluss-Stichtagsmessung im Einzugsgebiet von Emern ist in Abbildung 43 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 Heuerstorf und Könau stattfinden. Zwischen Könau und Emern nimmt die Wassermenge nur unwesentlich zu. Im von Nordosten kommenden Wellendorfer Bach (Groß Pretzier) konnte hingegen nur ein Standwasser beobachtet werden.

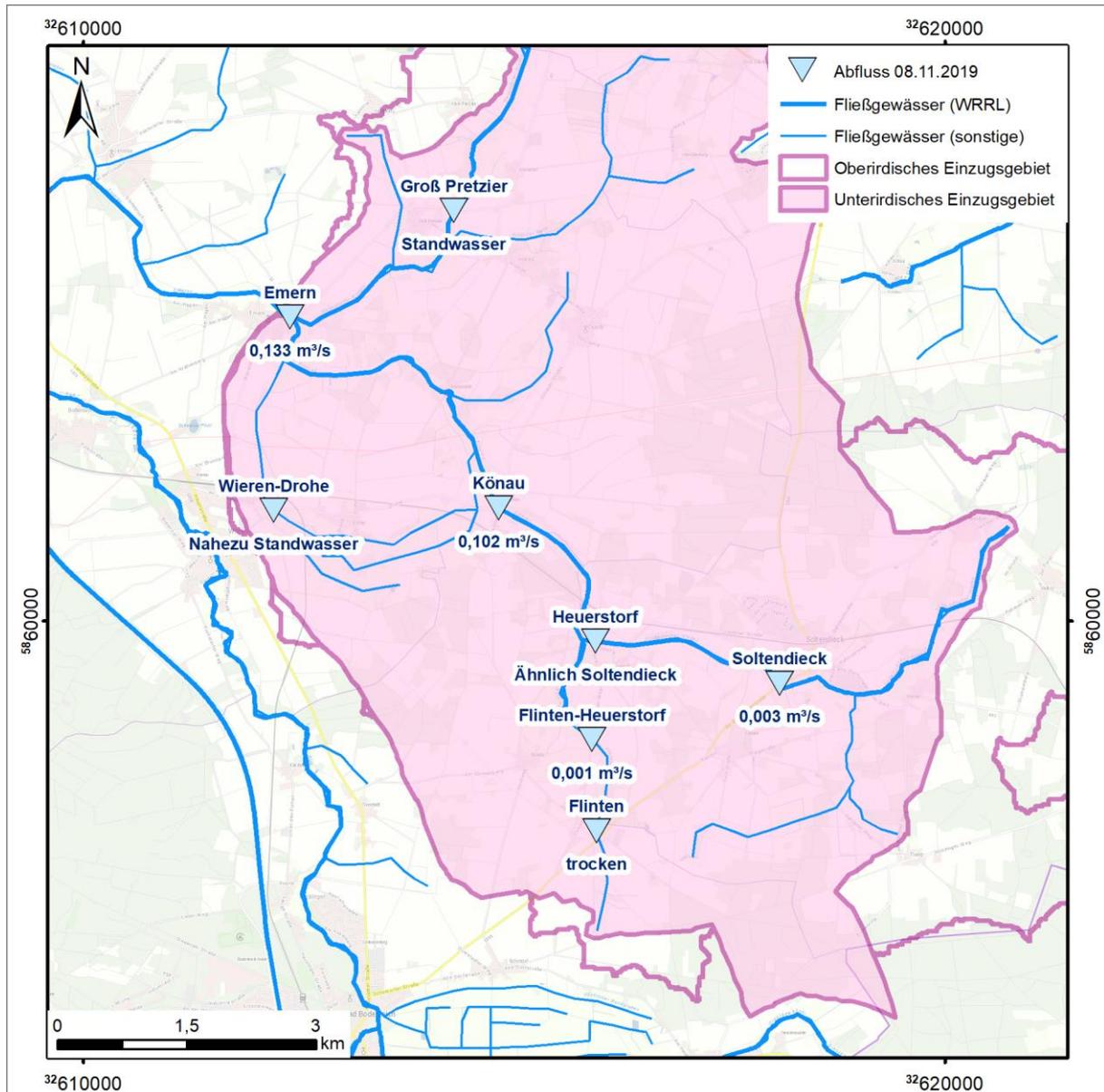


Abbildung 43: Abfluss-Stichtagsmessung Esterau

6.4 Zwischenfazit Monitoring-System

Die Kombination von Abflussmessstellen und Grundwasserdoppelmessstellen stellt sich in Verbindung mit weiteren Daten und Abflussmessungen als geeignet heraus, kleine Einzugsgebiete zu charakterisieren. Gemeinsam dargestellt werden die relevanten Mechanismen sowie die Größenordnungen der Wechselwirkung zwischen Basisabfluss und Grundwasserentnahmen im Einzugsgebiet deutlich.

Die eingesetzte Abfluss-Messtechnik ist geeignet, um mit überschaubarem Aufwand Abflussmengen aufzuzeichnen. Der Betrieb dieser Messstellen ist allerdings pflegeintensiver als erhofft, da bereits geringe Störungen einen erheblichen Einfluss auf die Messgüte haben können. Damit ergibt sich neben dem erhöhten Aufwand zur Gewässerunterhaltung (z. B. Vermeidung von Verkräutung) im Messstellenbereich auch ein höherer Aufwand in der nachträglichen Kompensierung von Messfehlern.

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, 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 [11] den Status eines Aquifersimulators aufweisen.

Um diesen Status zu erlangen, wurde das Modell zunächst anhand vorhandener Daten aufgebaut. Nach dem Aufbau wurde eine stationäre Kalibrierung mit Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Nach erfolgreichem Abschluss der stationären Kalibrierung erfolgte eine instationäre Kalibrierung sowie ein instationärer Modelltest. Beide Arbeitsschritte konnten mit dem Grundwassermodell erfolgreich abgeschlossen werden, sodass seine Prognosefähigkeit bestätigt ist.

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 [12] dokumentiert.

7.1 Aufbau Grundwassermodell

Für das abgegrenzte Modellgebiet wurde ein dreidimensionales, numerisches Grundwasserströmungsmodell mit der Software *FEFLOW® 7.1* aufgebaut [13]. Das Grundwassermodell bildet „freie“ („phreatische“) Grundwasserverhältnisse an der Grundwasseroberfläche ab, sofern entsprechende Verhältnisse vorliegen (keine Überdeckung durch Grundwasserhemmer).

Das Modell wurde anhand gemessener Standrohrspiegelhöhen für den Zeitraum Januar 2008 bis einschließlich März 2018 an 249 Grundwassermessstellen (vgl. Kap.2.7) stationär und instationär kalibriert bzw. verifiziert.

Das dreidimensionale numerische Grundwasserströmungsmodell ist ein großskaliges Regionalmodell mit einer Gesamtfläche von rd. 3.828 km² und beinhaltet den hier betrachteten Landkreis Uelzen (vgl. Abbildung 44).

Die horizontale Diskretisierung ist durch ein Dreiecksnetz mit insgesamt 348.108 Elementen und 175.262 Netzknoten realisiert worden. Die hydrogeologische Modellvorstellung (vgl. Kap. 2.3) wird im numerischen Grundwassermodell anhand von insgesamt 16 Schichten abgebildet (vgl. Abbildung 4). Daraus ergeben sich für das Gesamtmodell 2.979.454 Knoten und 5.569.728 Elemente.

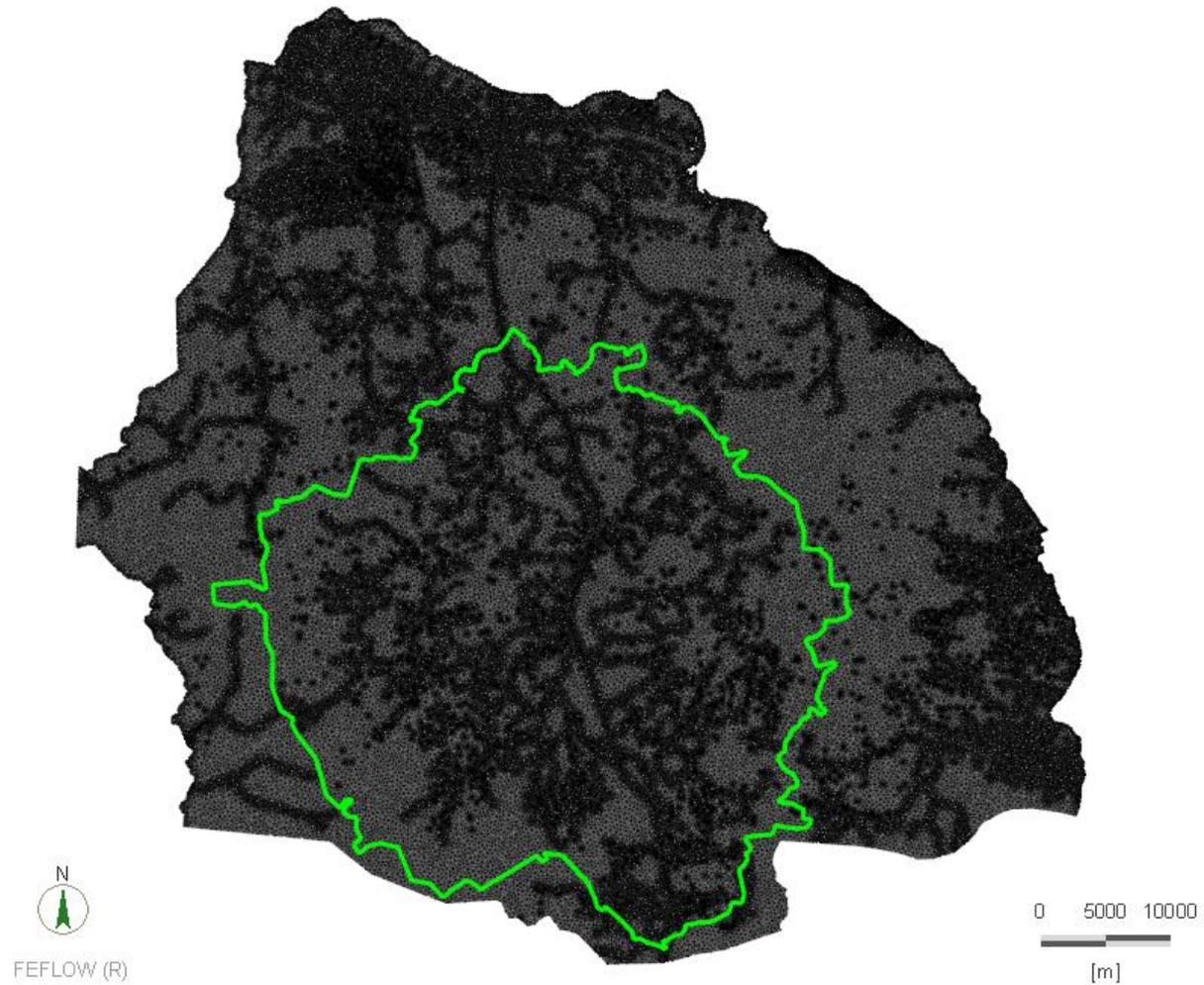


Abbildung 44: Modellnetz mit LK Uelzen (hellgrün)

Im numerischen Modell wurden die in den Kapiteln 2.3 und 2.9 beschriebenen Datengrundlagen als Randbedingungen umgesetzt:

Tabelle 7: Umsetzung der Datengrundlage als Randbedingungen im numerischen Grundwassermodell

Datengrundlage	Randbedingungstyp	Lokation im Modell
Grundwasserentnahmen	4. Art (Multi-Layer-Wells)	Modellweit, alle Grundwasserleiter
Fließgewässer / ESK	3. Art (Transfer)	Modellweit, oberer Grundwasserleiter
Grundwasserneubildung	In-/Out-Flow on Top	Modellweit
Äußere Modellränder	1. Art (Fixed-Head) 2. Art (Fluss) 3. Art (Transfer)	Äußerer Modellrand, erster, fünfter und sechster Grundwasserleiter

Zur Beschreibung der Randbedingungen 3. Art sind zusätzlich Transferraten (Leakagefaktoren) für influente und effluente Grundwasserverhältnisse definiert worden.

Die Belegung der äußeren Modellränder mit Randbedingungen 1. Art und 2. Art dient der Abbildung von Zu- und Abströmen über den nördlichen und nordöstlichen Modellrand innerhalb des Tertiärs.

Alle weiteren Modellränder, welche nicht mit Randbedingungen belegt wurden, sind als No-Flow-Boundary berücksichtigt worden.

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.

Die Kalibrierung wurde anhand von Monatsmittelwerten der gemessenen Standrohrspiegelhöhen von 249 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.

Im Ergebnis kann eingeschätzt werden, dass das Grundwassermodell mit einer guten Wiedergabetreue und einer ausgeglichenen Wasserhaushaltsbilanz als stationär kalibriert bezeichnet werden kann.

7.2.2 Instationäre Modellkalibrierung

Die instationäre Kalibrierung des Modells wurde für den Zeitraum 2012 bis 2016 durchgeführt. Dieser Zeitraum zeigt in den Ganglinien der gemessenen Standrohrspiegelhöhen der GWMS eine deutliche Variabilität bei gleichzeitig fallendem Trend.

Die instationäre Kalibrierung erfolgte anhand der gemessenen Standrohrspiegelhöhen von 249 Grundwassermessstellen sowie der nach WITTENBERG ausgewerteten Basisabflüsse an elf Oberflächengewässerpegeln (vgl. Kap. 2.7 u. 2.9).

Zur Kalibrierung wurden der spezifische Speicherkoeffizient für freie und gespannte Grundwasserverhältnisse sowie Faktoren zur Variation der monatlichen Grundwasserneubildung nach mGROWA variiert.

Der Ganglinienvergleich von messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen und Basisabflüssen zeigt eine gute Übereinstimmung, sodass auch das instationäre Grundwasserströmungsmodell als kalibriert eingestuft werden kann.

7.2.3 Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurden anhand eines stationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells die Modellparameter

- hydraulische Leitfähigkeit in Grundwasserleitern und -stauern
- Transferraten der Oberflächengewässer
- Grundwasserneubildung

in unterschiedlichen Größenordnungen variiert. Ziel war die Überprüfung des kalibrierten Ausgangszustands als „Best-Fit“ für den jeweiligen Parameter. Die Variation der hydraulischen Leitfähigkeiten und Transferraten erfolgte für 10 %, 75 %, 125 % und 1000 % des ursprünglichen Wertes. Die Grundwasserneubildung wurde für 90 %, 95 %, 105 % und 110 % des Ausgangswertes untersucht.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bestätigen den der stationären Modellkalibrierung zu Grunde liegenden Parametersatz der untersuchten Parameter als „Best Fit“.

7.2.4 Modelltest

Nach Abschluss der instationären Modellkalibrierung für den Zeitraum 01.01.2012 bis 31.12.2016 erfolgte der Modelltest des Grundwasserströmungsmodells für den Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 31.03.2018. Dieser Zeitraum unterscheidet sich durch einen kontinuierlichen Anstieg der gemessenen Standrohrspiegelhöhen von dem vorangegangenen Kalibrierungszeitraum.

Somit sind die beiden wesentlichen Anforderungen an den Modelltest nach DVGW W107 [11] erfüllt:

- Der im Rahmen des Modelltests nachgebildete Zeitraum ist nicht Teil des Kalibrierungszeitraums.
- Der im Rahmen des Modelltests nachgebildete Systemzustand unterscheidet sich möglichst grundlegend von dem der Kalibrierung.

Für die Berechnung des Modelltests wurde das instationär kalibrierte Grundwasserströmungsmodell als Grundlage verwendet. Zur Anpassung der Modellergebnisse an die Ganglinien der gemessenen Standrohrspiegelhöhen an den 249 Grundwassermessstellen sowie der nach WITTENBERG ausgewerteten Basisabflüsse an elf Oberflächengewässerpegeln (vgl. Kap. 2.7 u. 2.9) wurden die Monatsfaktoren der Grundwasserneubildung modellweit variiert.

Die Ergebnisse des Modelltests zeigen, dass das numerische Grundwassermodell in der Lage ist, Systemzustände und -entwicklungen abzubilden, welche sich von denen des ursprünglichen Kalibrierungszeitraums unterscheiden.

7.3 Modellberechnung für den Zeitraum Januar 2018 bis April 2019

Mit dem kalibrierten und verifizierten Grundwasserströmungsmodell wurden für den Zeitraum vom 01. Januar 2018 bis 01. April 2019 instationäre Berechnungen durchgeführt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da er:

- den Abschluss der Grundwasserneubildungsphase im Frühjahr 2018 beinhaltet, sodass der zu diesem Zeitpunkt vorliegende Füllstand des Aquifersystems abgebildet wird
und
- die gesamte Berechnungsperiode des Jahres 2018 sowie das anschließende Auffüllen des Aquifersystems im Winter 2018/19 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 45).

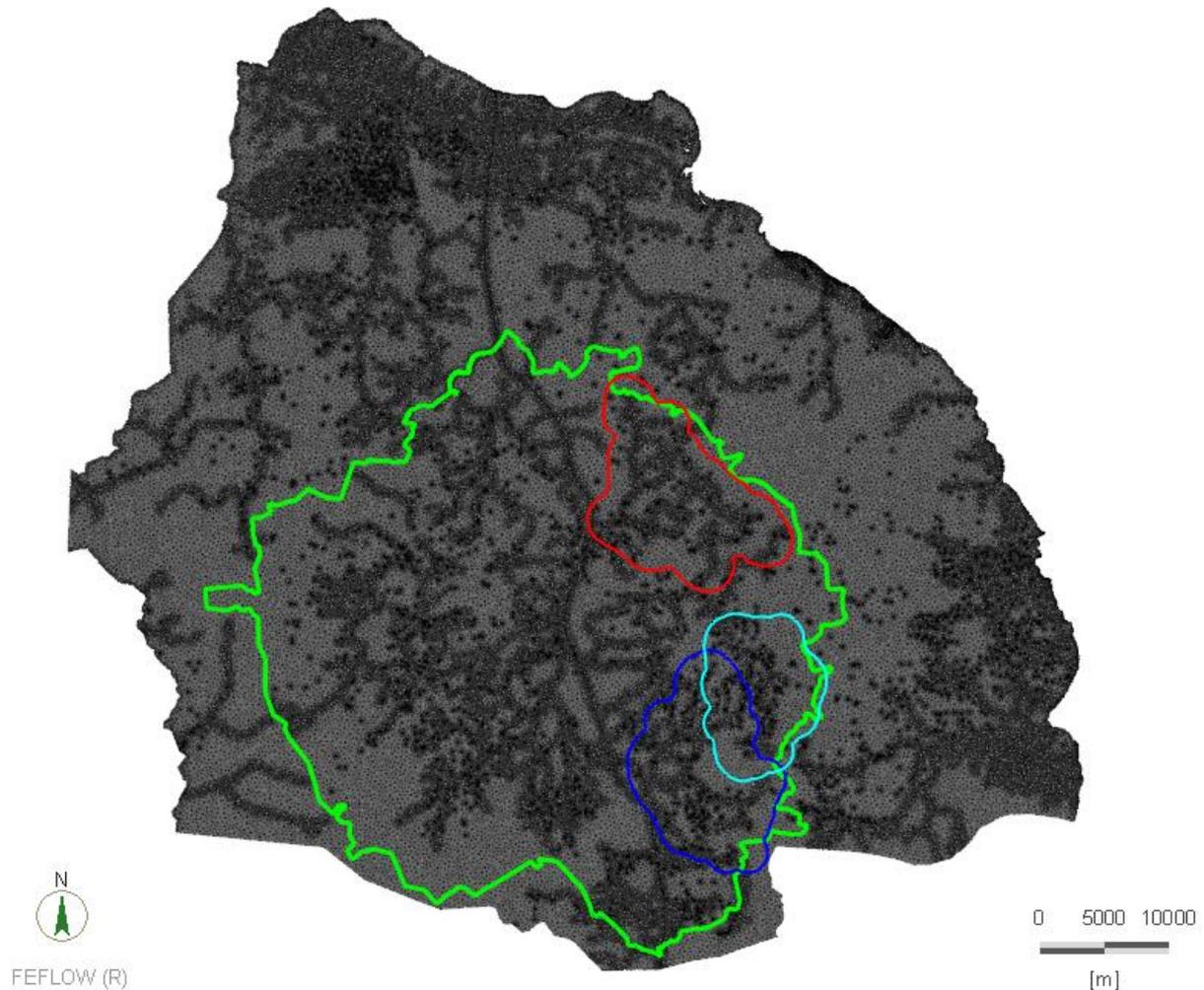


Abbildung 45: Modellnetz mit den drei Pilotgebieten mit einem Puffer von 1500m (Groß Hesebeck: rot, Emern: dunkelblau, Rosche: hellblau) im LK Uelzen (hellgrün)

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 01.04.2019 fortzuschreiben.

Anschließend erfolgte eine instationäre Kalibrierung des Modells. 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 insgesamt sechs zusätzliche Grundwassermessstellen sowie drei zusätzliche Oberflächengewässerpegel in das Modell implementiert worden. Im Rahmen der Kalibrierung wurde der Fokus speziell auf die Messstellengruppen und Oberflächengewässerpegel gelegt. Die übrigen

Grundwassermessstellen und Pegel wurden im Rahmen der Kalibrierung zwar berücksichtigt, sollen aber im Rahmen der Dokumentation zunächst nicht näher erläutert werden.

7.3.1 Datengrundlagen

Für die 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 2019 keine Daten in monatlicher Auflösung, sondern nur als Gesamtmengen vor. Abstimmungsgemäß ist daher die folgende Vorgehensweise angewandt worden um dennoch monatsbezogene Entnahmemengen zu erhalten:

- Anhand der gemeldeten Stromverbräuche einzelner Feldberegner innerhalb der drei Pilotgebiete (inkl. Pufferzone) ist vom AG eine monatlich differenzierte Verteilung der Entnahmen berechnet worden (s. Abbildung 46). Daraus ergibt sich, dass in den Monaten Mai bis Oktober des Jahres 2018 Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung durchgeführt wurden, in den übrigen Monaten nicht.
- Für den übrigen LK Uelzen ist diese Verteilung übernommen worden. Sofern keine Jahresfördermengen für 2018 vorlagen, wurden die Mittelwerte der Fördermengen für den Zeitraum 2008 bis 2016 mit Faktor 2,05 multipliziert. Dieser Faktor ergibt sich aus dem Verhältnis der mittleren Feldberegnungsentnahmen in den drei Pilotgebieten für den Zeitraum 2008 bis 2016 zu den Jahreswerten von 2018.
- Aus den Monatsfaktoren und den vorliegenden bzw. berechneten Jahresfördermengen 2018 sind Monatswerte der Grundwasserentnahmen für jeden Beregnungsbrunnen berechnet worden.
- Für alle Grundwasserentnahmen zur Trink- und Brauchwasserversorgung ist die Gesamtjahresmenge für 2018 auf die Monate gleich verteilt worden. Stand die Jahresmenge für 2018 nicht zur Verfügung, wurde der Wert aus dem Mittelwert des Zeitraums 2008 bis 2016 gleichmäßig auf die Monate verteilt.
- Die beschriebene Vorgehensweise für die Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung außerhalb der Pilotgebiete sowie zur Trink- und Brauchwasserversorgung des LK Uelzen wurden analog für die Entnahmen im LK Lüneburg übernommen.
- Für die übrigen LK Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Heidekreis und Harburg wurden die bestehenden quasistationären Grundwasserentnahmen weiterverwendet.

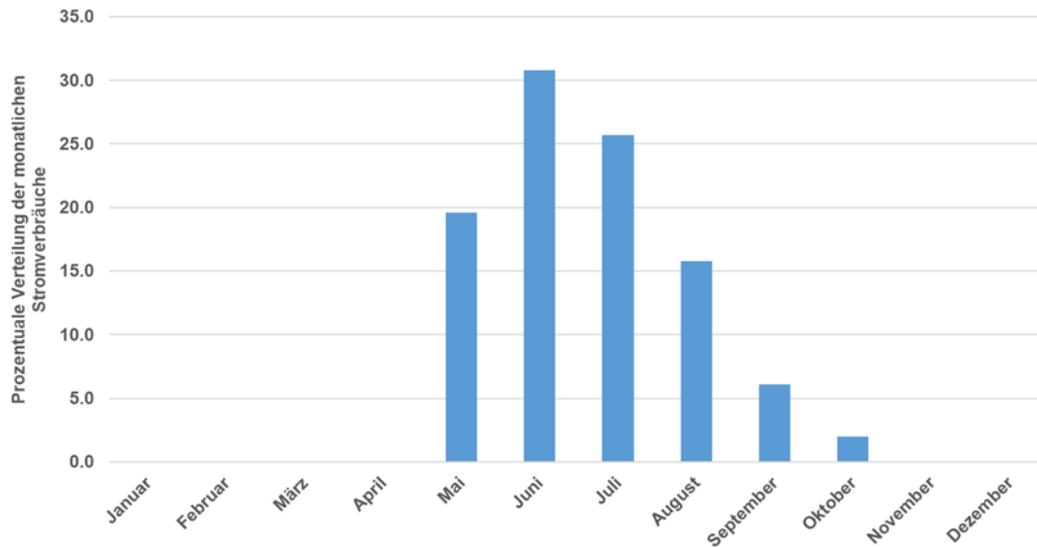


Abbildung 46: Prozentuale Verteilung der innerjährlichen Stromverbräuche zur Verteilung der gemeldeten Feldberegnungsmengen für das Jahr 2018

Nach dieser Vorgehensweise ergeben sich für die Grundwasserentnahmen in den drei Pilotgebieten, im LK Uelzen sowie im gesamten Modellgebiet die nachfolgenden Monatswerte (s. Abbildung 47).

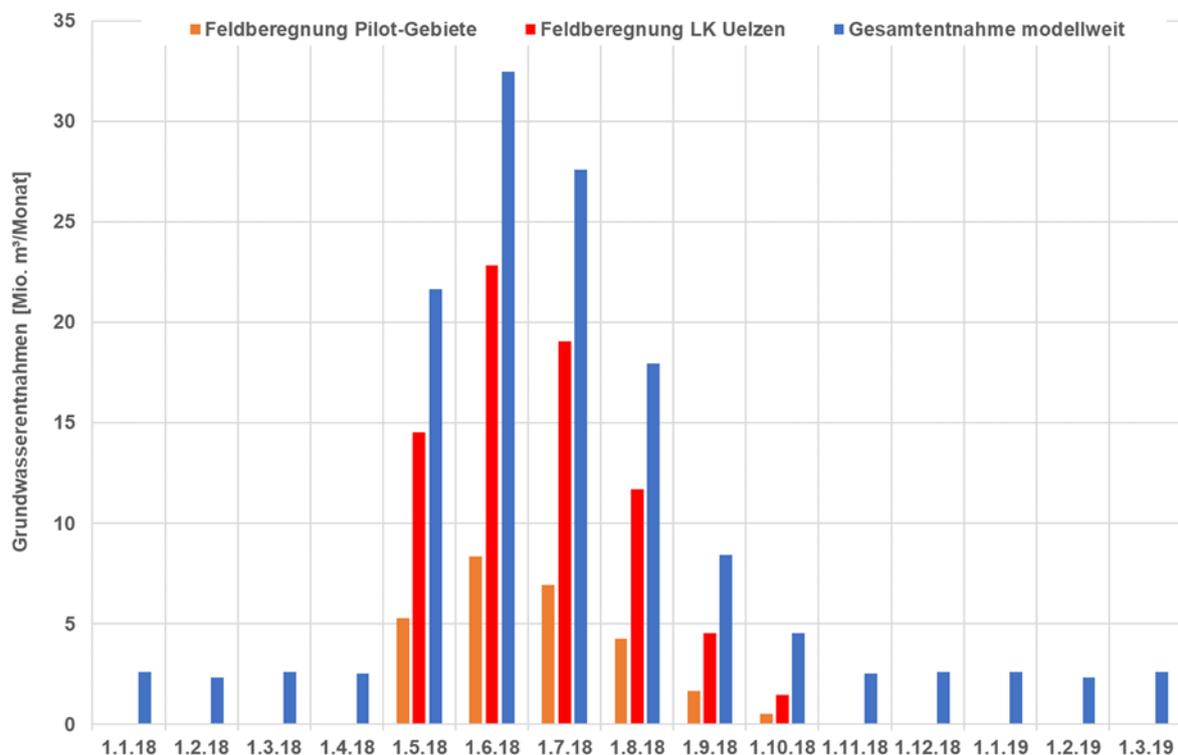


Abbildung 47: Monatssummen der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung in den drei Pilotgebieten, im LK Uelzen sowie Gesamtentnahme (inkl. Entnahmen Dritter) für das Modellgebiet

Aufgrund der in Abbildung 46 dargestellten Verteilung der Stromverbräuche finden Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung in den Monaten Mai bis einschließlich Oktober statt. Für das Jahr 2018 ergibt sich daraus eine Gesamtsumme der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung von rd. 27,1 Mio. m³ in den drei Pilotgebieten (inkl. Pufferzonen) bzw. 74,1 Mio. m³ für den LK Uelzen³. Addiert man dazu die Entnahmen zur Trink- und Brauchwasserversorgung sowie alle Entnahmen in den umliegenden Landkreisen ergibt sich für 2018 eine Jahressumme von rd. 127,8 Mio. m³. Die Höhe der angenommenen Grundwasserentnahmen liegt somit deutlich über den Werten der Vorjahre, was u.a. auf die faktorielle Steigerung der Mittelwerte der Feldberegnungsentnahmen für den Zeitraum 2008 bis 2016 zurückzuführen ist (vgl. Abbildung 10). Zur Plausibilisierung der angenommenen Zahlen ist ein Vergleich mit den tatsächlich gemeldeten Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung für das Jahr 2018 unerlässlich. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der Modellkalibrierung in Kap. 7.4.

Für die Beschreibung der **Wasserstände an den Oberflächengewässerpegeln** erfolgte für die drei Pegel der Pilotgebiete eine kontinuierliche Datenaufzeichnung mittels ADCP-Messgerätes. Die Datenreihen sind nach der Methode von WITTENBERG aufbereitet worden, wodurch eine Abtrennung der Basisabflüsse erfolgt. Aus den ausgewerteten Daten wurden Monatsmittelwerte gebildet. Diese dienen zur Kalibrierung des numerischen Grundwassermodells (vgl. Kap 4.3).

Für alle übrigen Pegel im Modellgebiet sind die Pegeldata für das Jahr 2018 vom NLWKN bezogen worden (vgl. Kap. 2.9).

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

³ Nach Auskunft der Dachverbände Feldberegnung Uelzen vom 25.03.2020 liegt die tatsächlich gemeldete Fördermenge bei etwa 80 Mio. m³/a für 2018. Es ergibt sich somit eine Abweichung von ca. 8 %. Die Gesamtentnahmen im LK Uelzen (inkl. der Trink- und Brauchwasserentnahmen) betragen 87,6 Mio. m³ für das Jahr 2018.

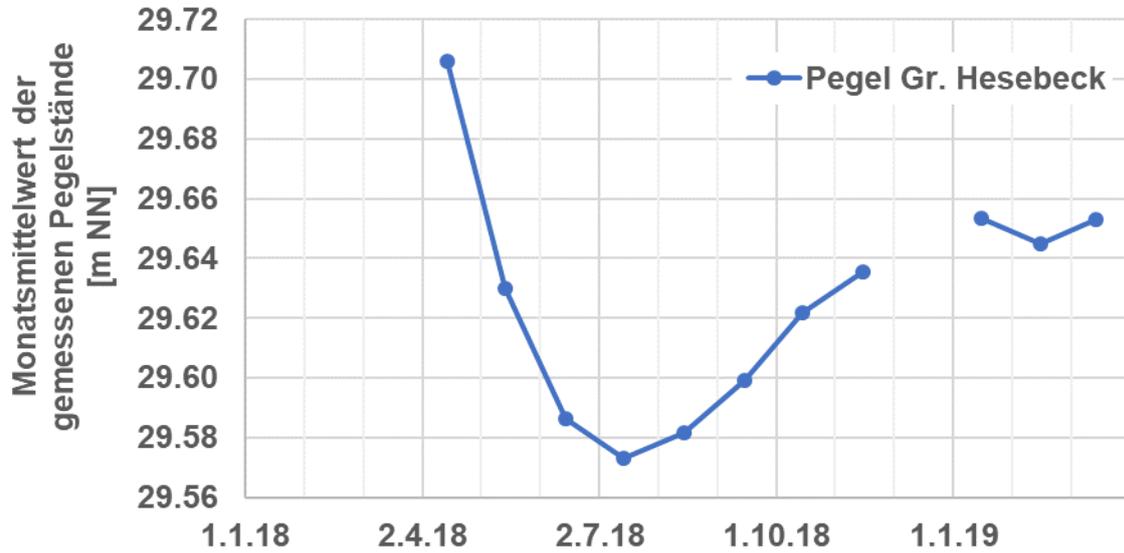


Abbildung 48: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Groß Hesebeck

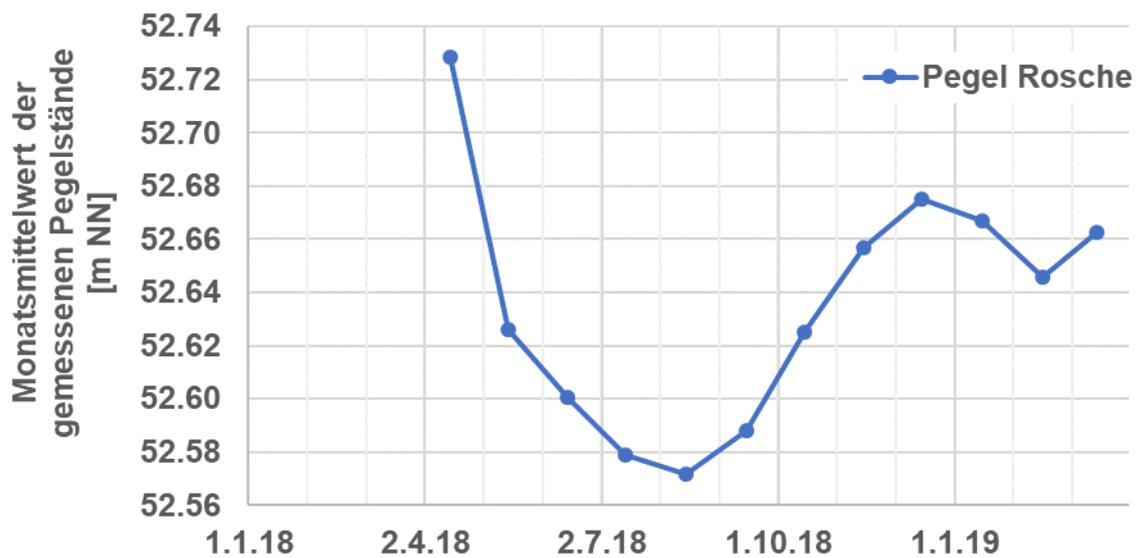


Abbildung 49: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Rosche

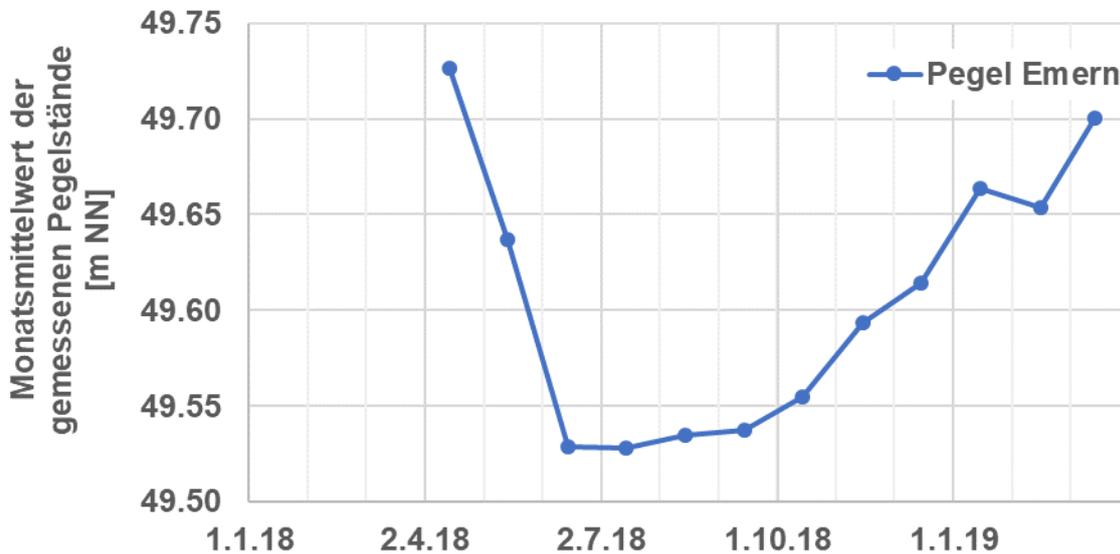


Abbildung 50: Ganglinie der Monatsmittelwerte der gemessenen Pegelstände am Pegel Emern

Die Belegung der Randbedingungen im Modell erfolgte nach der gleichen Vorgehensweise, die bereits zum Aufbau der instationären Modellkalibrierung für den Zeitraum von 2012 bis 2016 sowie für den Modelltest verwendet wurde (vgl. [12]). Gewässerabschnitte, welche in den Einzugsgebieten der drei zusätzlich betrachteten Pegel liegen, wurden entsprechend mit der Pegelganglinie unter Verwendung der in [12] beschriebenen Vorgehensweise linear interpoliert.

Randbedingungen, deren Ganglinien auf den Daten des NLWKN beruhen, sind für das Jahr 2018 entsprechend fortgeschrieben worden. Für das Jahr 2019 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 Modellkalibrierung verwendete Datensatz nach mGROWA verwendet. Die Faktoren zur Anpassung der monatlichen Grundwasserneubildung sind zunächst in den drei Pilotgebieten sowie im restlichen Modellgebiet mit dem Wert 1 (100 %) belegt worden. Im Rahmen der Nachkalibrierung des Modells für den Zeitraum von 01/2018 bis 03/2019 sind diese Faktoren variiert worden.

7.4 Kalibrierung des Zeitraums von 01.01.2018 bis 31.03.2019

Die Kalibrierung des instationären Modells für den Zeitraum 01.01.2018 bis 31.03.2019 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 errichteten Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegel gelegt.

Nach Abschluss der instationären Kalibrierung ergibt sich für das Kalenderjahr 2018 für die drei Pilotgebiete (inkl. Pufferzonen) eine Grundwasserneubildung von rd. 30,4 Mio. m³/a und den LK Uelzen von ca. 150,0 Mio. m³/a. Für das gesamte Modellgebiet liegt der Wert bei rd. 306,2 Mio. m³/a. Betrachtet man nur die drei Pilotgebiete inkl. der Pufferzonen bedeutet dies, dass ca. 89 % der Grundwasserneubildung durch die Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung genutzt werden. Dies scheint plausibel, da nach Abbildung 22 eine hohe Dichte der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung vorliegt.

In den nachfolgenden Darstellungen (Abbildung 52 bis Abbildung 57) findet sich der Vergleich von messwertbasierten und modellberechneten Ganglinien der Monatsmittelwerte der neu errichteten Grundwassermessstellen in den drei Pilotgebieten. Eine Übersicht zur Lage der Grundwassermessstellen gibt Abbildung 51. Weitere Ganglinienvergleiche der übrigen Grundwassermessstellen in den drei Pilotgebieten ist in Anlage 3 dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass die gemessenen Standrohrspiegelhöhen der GWMS, sofern diese vom NLWKN bezogen wurden, nur bis Ende Oktober 2018 vorliegen. Entsprechend hört die Gangliniendarstellung der messwertbasierten Monatsmittelwerte im Oktober 2018 auf.

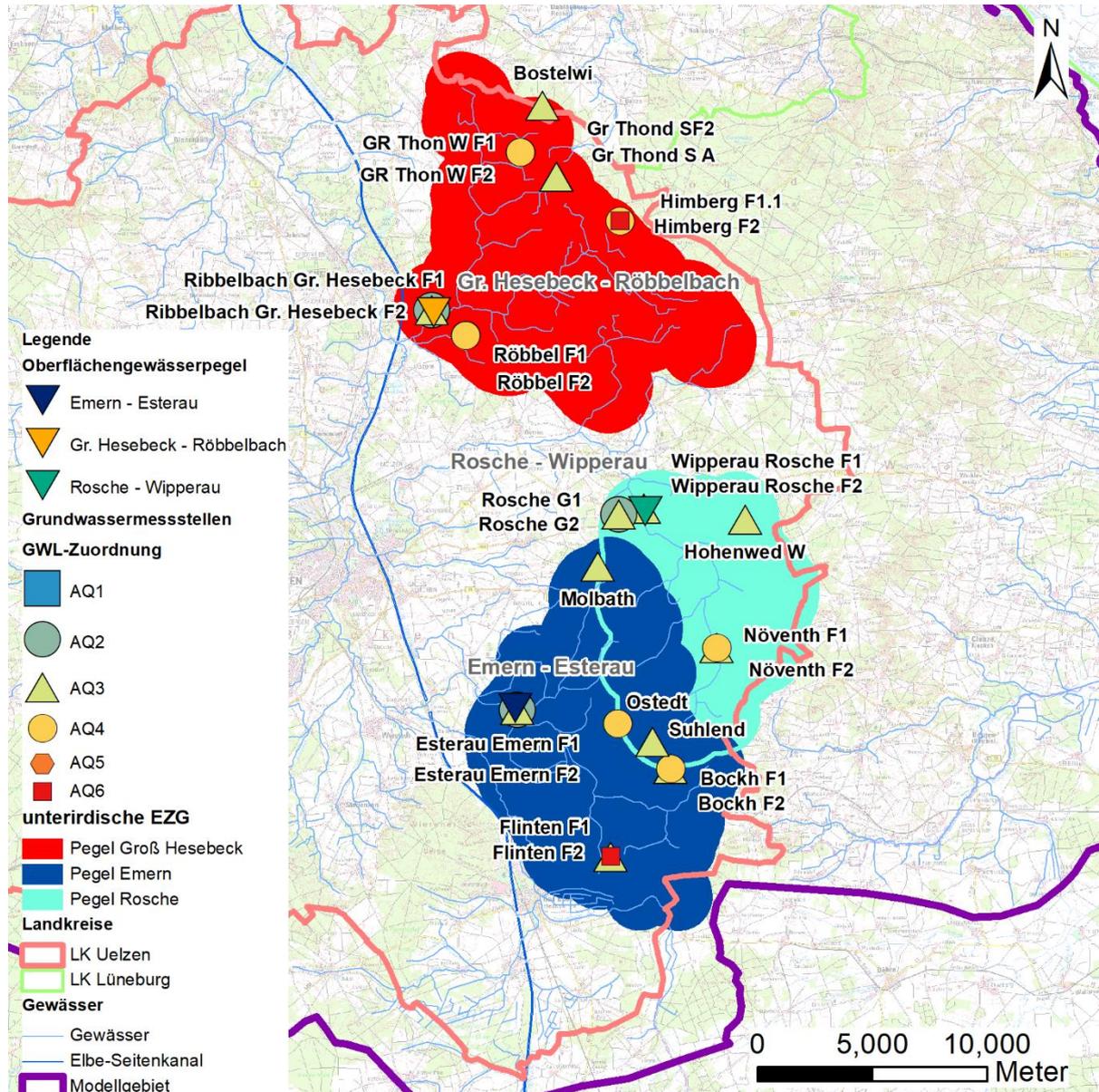


Abbildung 51: Lage der Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegel, die für die Kalibrierung des Modells für den Zeitraum Januar 2018 bis März 2019 verwendet wurden

7.4.1 Kalibrierung der Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen

Für die Grundwassermessstellen Groß Hesebeck F1 und F2 zeigt sich, dass die Amplituden der messwertbasierten Monatsmittelwerte durch das Grundwassermodell prinzipiell in plausibler Größenordnung abgebildet werden (s. Abbildung 52 und Abbildung 53). Auffällig ist allerdings, dass ein Zeitversatz vorzuliegen scheint, welcher dazu führt, dass das Minimum im Juli 2018 durch das Modell erst im September 2018 abgebildet wird.

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 das Jahr 2018 in identischer Größe abgebildet wird. Ebenfalls identisch sind die Zeitpunkte der höchsten und geringsten mittleren Standrohrspiegelhöhen im Februar bzw. September. Beides scheint vor dem Hintergrund einer fehlenden hydraulischen Trennschicht zwischen dem Hauptgrundwasserleiter (AQ3) und dem hangenden oberflächennahen Grundwasserleiter (AQ2) plausibel (vgl. Kap. 6.1).

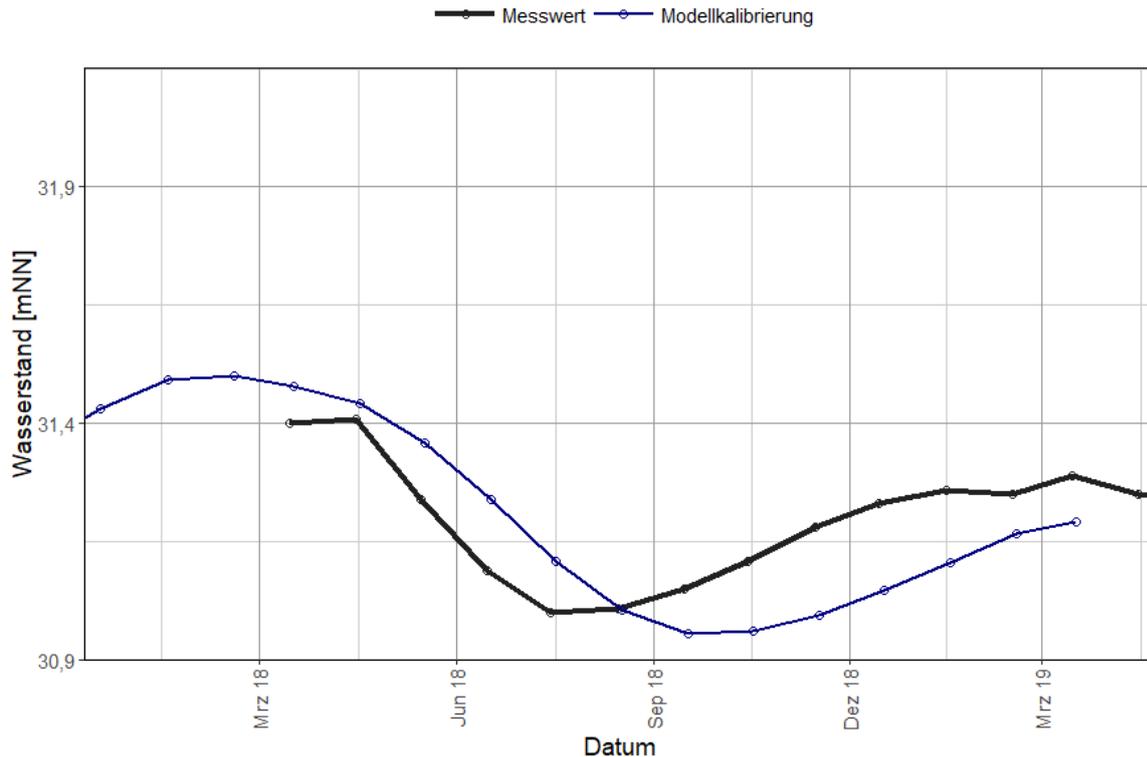


Abbildung 52: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2)

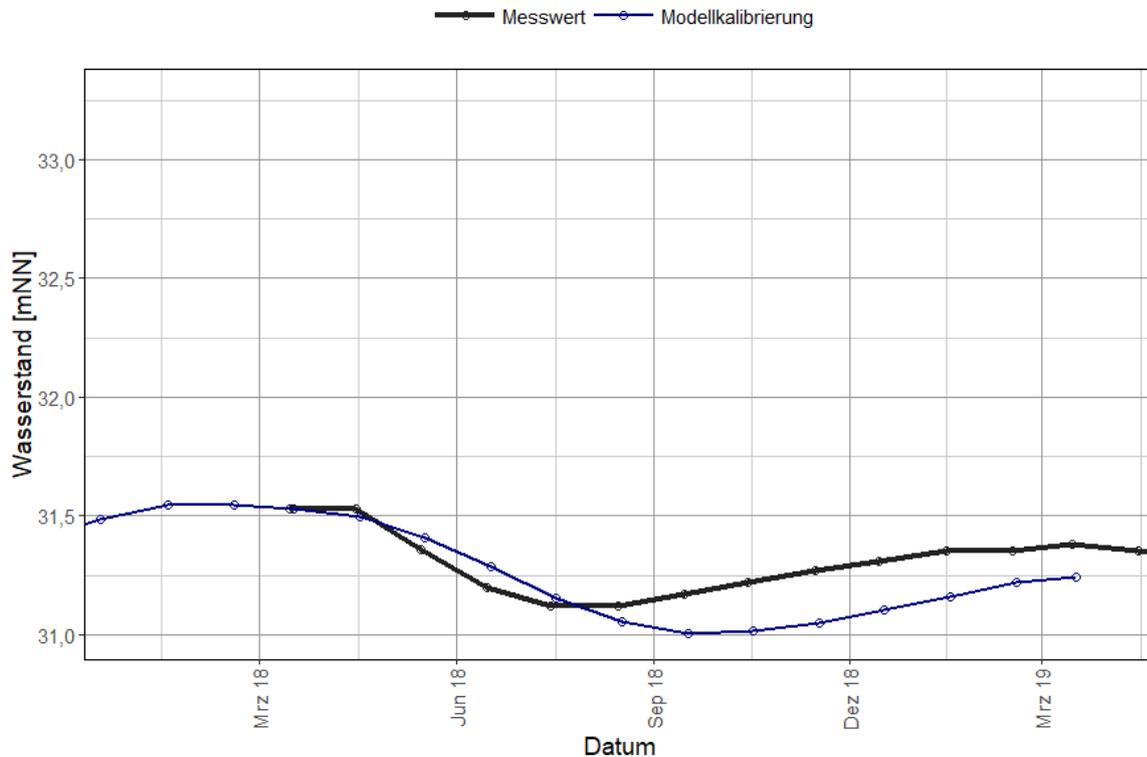


Abbildung 53: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Hesebeck F2 (AQ3)

Für die Grundwassermessstelle Emern F1 lässt sich kein Zeitversatz beobachten (s. Abbildung 54). Hier überschätzt das Modell die Mittelwerte der messwertbasierten Standrohrspiegelhöhen um im Mittel ca. 0,13 m. Die Differenz nimmt mit Erreichen der Minima in den Sommermonaten etwas zu und gegen Ende des Simulationszeitraums wieder ab. An der Messstelle F2 (vgl. Abbildung 55) werden die mittleren Messwerte sehr gut durch das Modell wiedergegeben. Differenzen zeigen sich vor allem in den Monaten Mai bis August. In diesem Zeitraum unterschätzt das Modell die tatsächlichen Grundwasserabsenkungen etwas. Auch ist hier wieder ein geringer Zeitversatz zwischen dem modellberechneten und dem messwertbasierten Minimum zu erkennen.

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 das Jahr 2018 in unterschiedlicher Größe abgebildet wird. Im Hauptgrundwasserleiter AQ3 beträgt der Wert ca. 0,75 m, im hangenden oberflächennahen Grundwasserleiter AQ2 liegt der Wert bei ca. 0,65 m. 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).

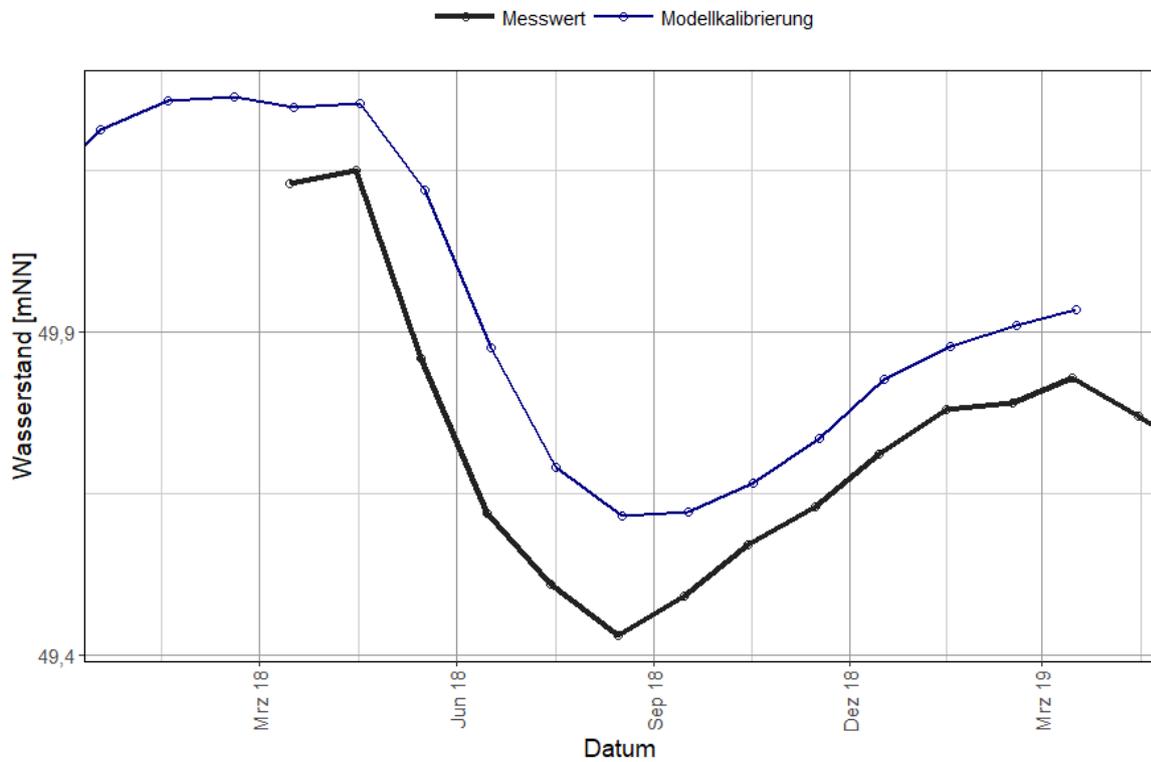


Abbildung 54: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)

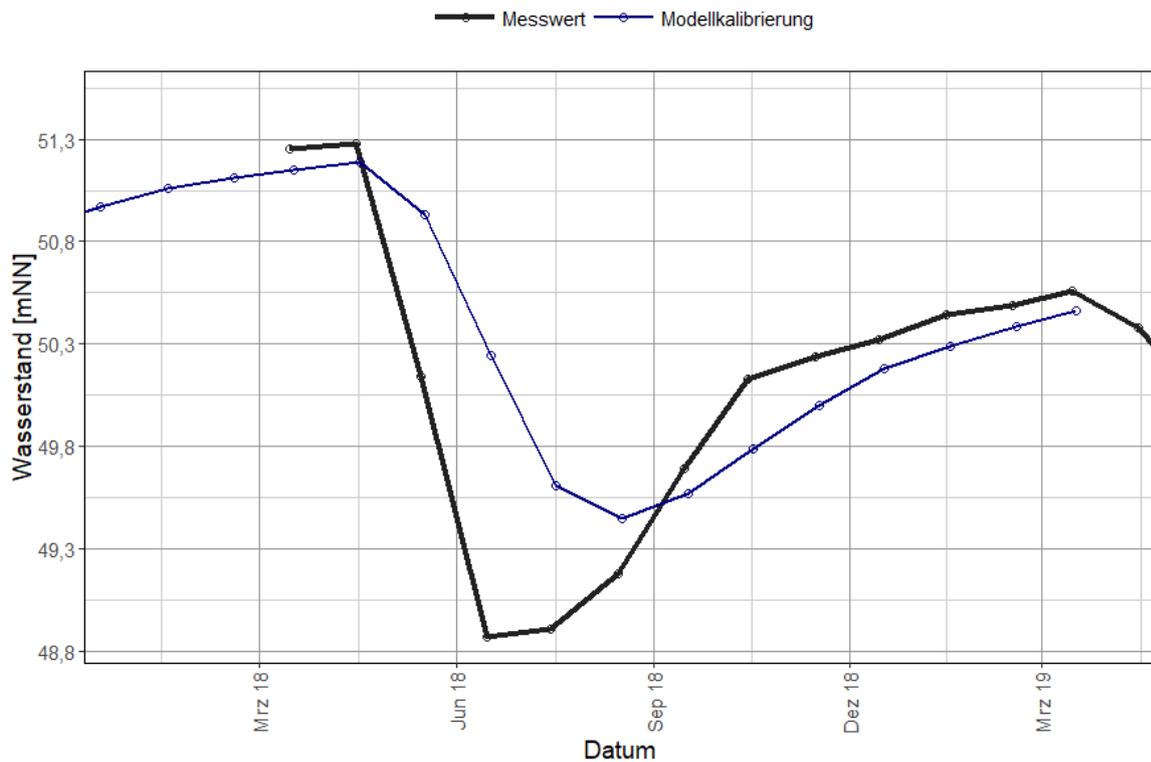


Abbildung 55: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)

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.

An den Grundwassermessstellen Rosche F1 und F2 ist wiederum ein Zeitversatz zu beobachten (s. Abbildung 56 und Abbildung 57). Dieser führt dazu, dass an beiden Messstellen die durch die Messwerte abgebildeten Jahresminima durch das Grundwassermodell erst im September 2018 abgebildet wird. Die messwertbasierten Monatsmittelwerte der Standrohrspiegelhöhen werden zu Beginn und Ende der Messreihe plausibel durch das Modell abgebildet. Analog zu den Messstellen Emern F1 und F2 werden die Absenkungen während der Vegetationsperiode (hier: Monate Mai bis August) durch das Grundwassermodell unterschätzt.

Aus dem Vergleich der modellberechneten Ganglinien im AQ3 kann festgestellt werden, dass bedingt durch die förderbedingten Absenkungen eine innerjährliche Amplitude der Standrohrspiegelhöhen für das Jahr 2018 in unterschiedlicher Größe abgebildet wird.

Im Hauptgrundwasserleiter AQ3 beträgt der Wert am Pegel F2 ca. 0,9 m, am Pegel F1 liegt der Wert bei ca. 0,77 m. Das Grundwassermodell bildet an den beiden Messstellen einerseits die in Kap. 6.2 beschriebene starke Korrelation der Ganglinien ab, gleichzeitig ist eine Dämpfung der förderbedingten Beeinflussung der Standrohrspiegelhöhen im Pegel F1 gegenüber dem Pegel F2 zu erkennen.

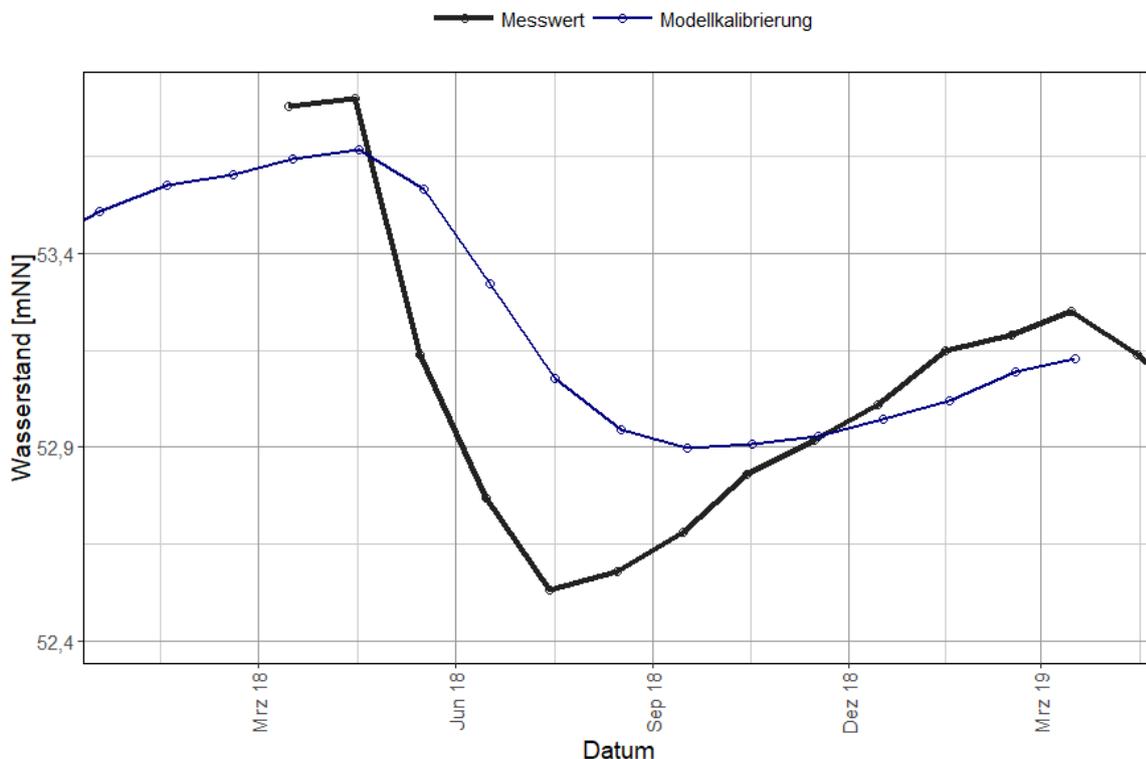


Abbildung 56: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3)

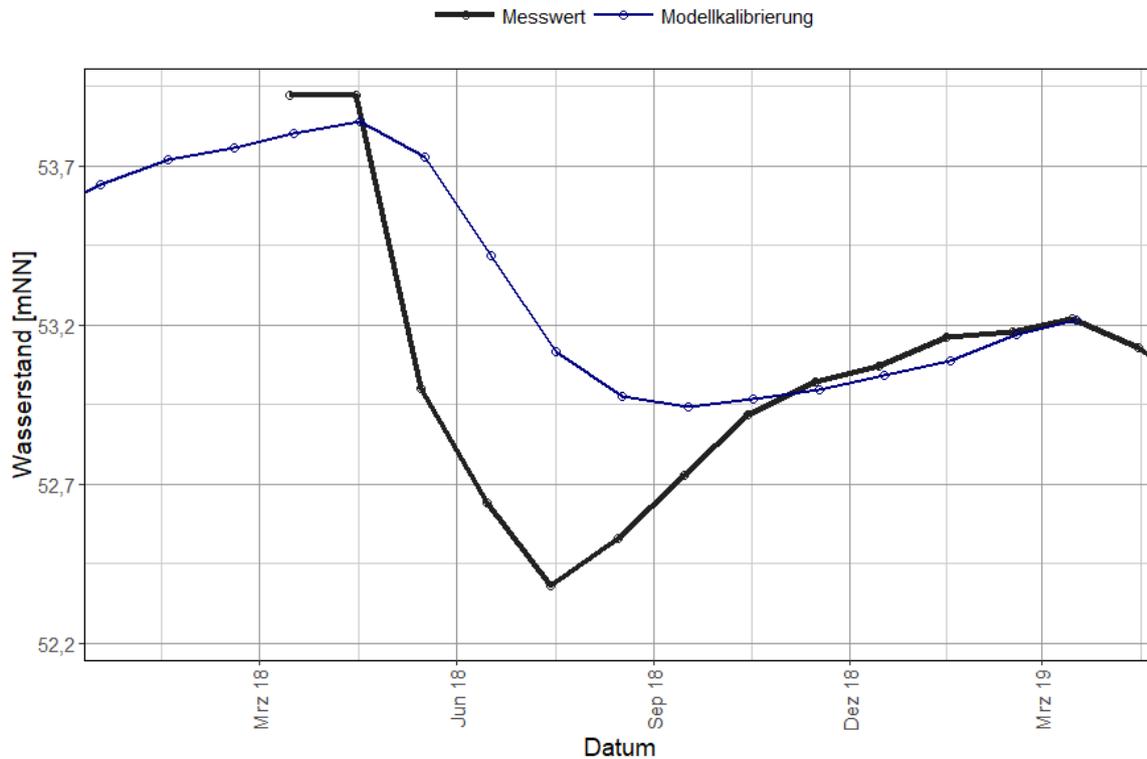


Abbildung 57: Vergleich modellberechneter und messwertbasierter Ganglinien der Standrohrspiegelhöhen an der Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3)

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 Dürre 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 Berechnungsperiode 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 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.

7.4.2 Kalibrierung der Basisabflüsse an den Oberflächengewässerpegeln

Weiterhin sind zur Bewertung der Modellanpassung die Oberflächengewässerpegel in den drei Pilotgebieten anhand von messwertbasierten und modellberechneten Ganglinien der Monatsmittelwerte der Basisabflüsse bewertet worden. Die Lage der Pegel ist ebenfalls in Abbildung 51 dargestellt.

Für den Pegel Groß Hesebeck zeigt sich, dass der messwertbasierte Basisabfluss für den Zeitraum Mai bis September 2018 vom Modell zunächst überschätzt wird. Ab Oktober 2018 bis zum Ende der Simulation ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Werte (s. Abbildung 58).

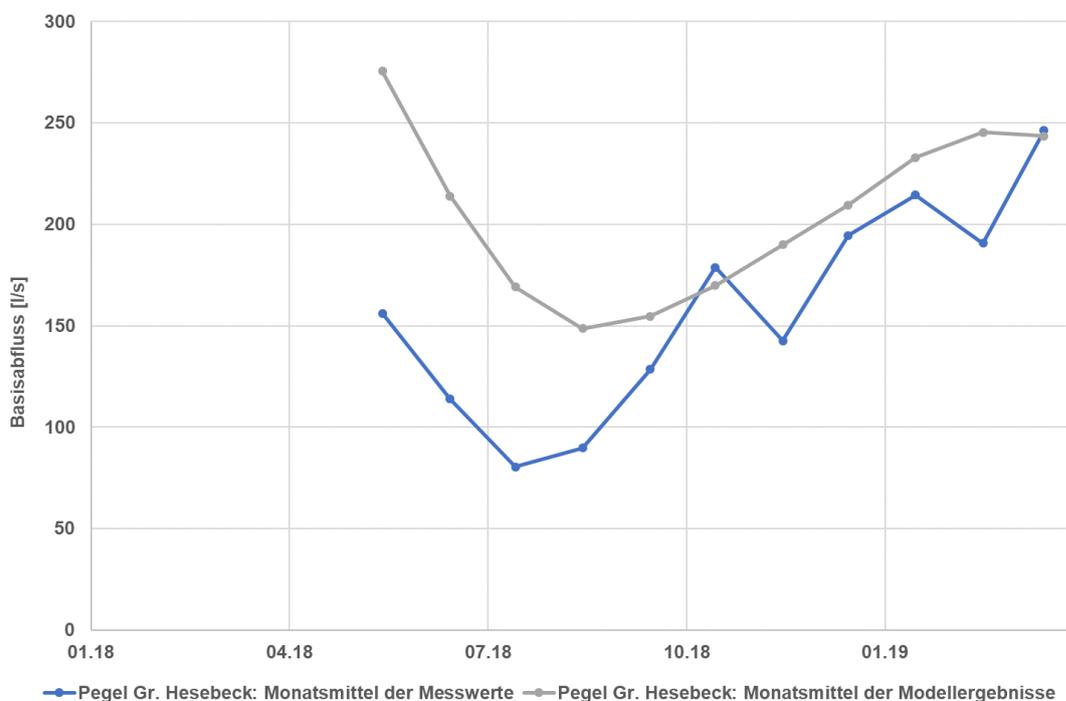


Abbildung 58: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Gr. Hesebeck

Ein ähnliches Bild wie am Pegel Groß Hesebeck zeigt sich auch am Pegel Emern. Zu Beginn der Modellberechnung werden die Basisabflüsse durch das Modell überschätzt. Ab November 2018 ist die Abbildung der Basisabflüsse durch das Modell als gut zu bezeichnen (vgl. Abbildung 59).

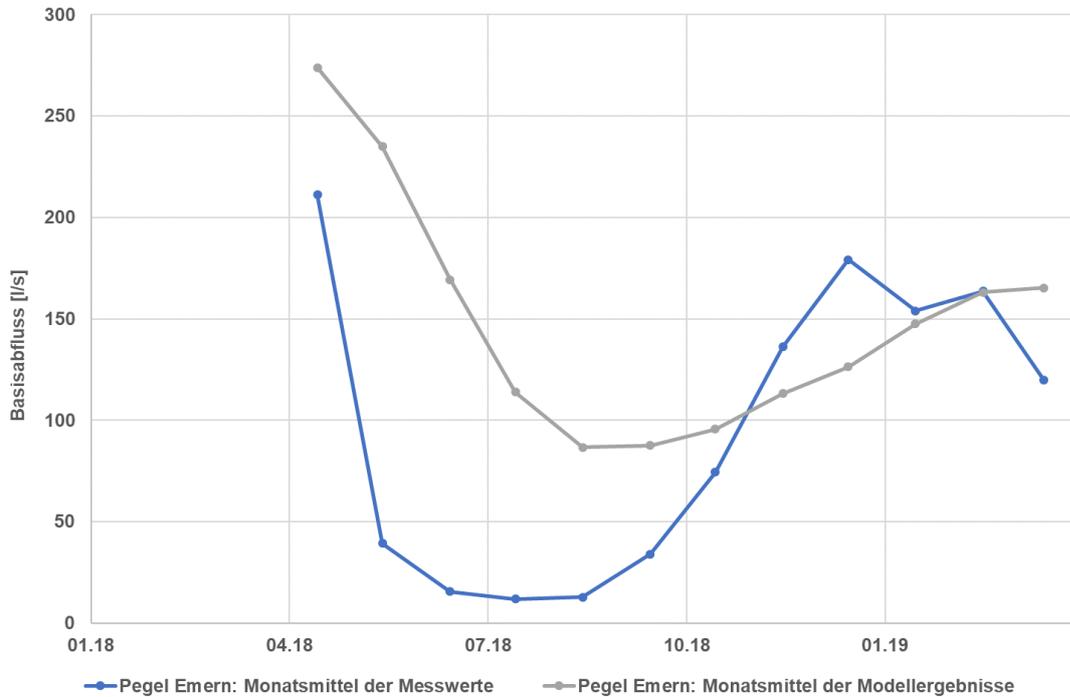


Abbildung 59: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Emern

Auch am Pegel Rosche ist eine Überschätzung der Basisabflüsse durch das Modell erkennbar. Insgesamt fallen die Abweichungen allerdings kleiner aus als an den beiden zuvor betrachteten Pegeln (s. Abbildung 60).

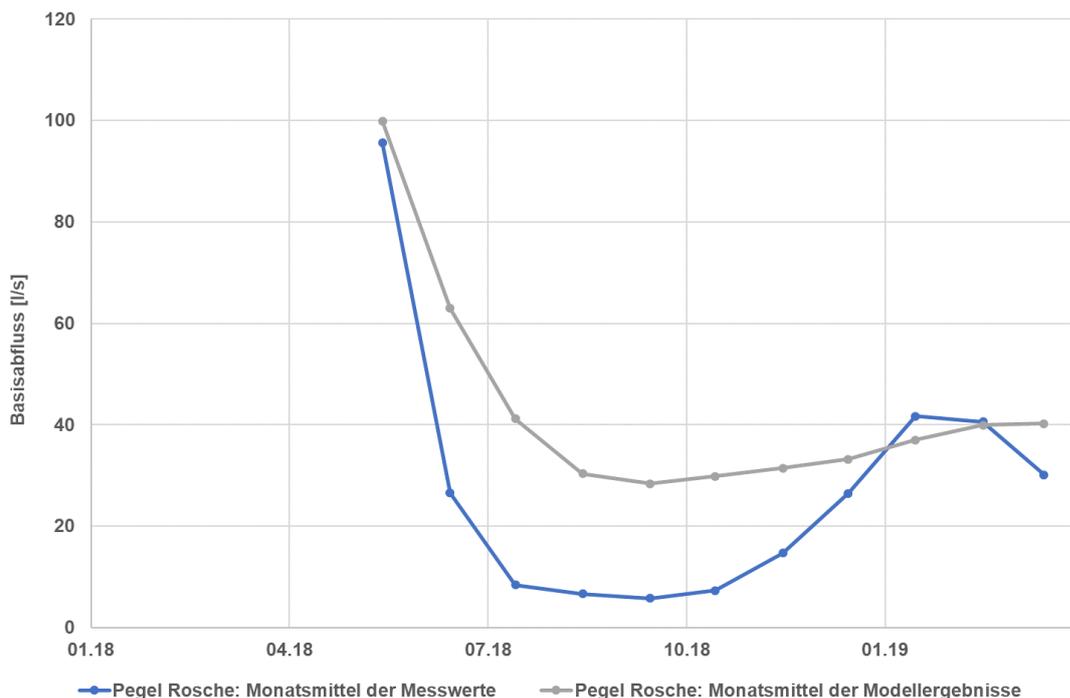


Abbildung 60: Ganglinienvergleich des Basisabflusses am Pegel Rosche

7.4.3 Zusammenfassung der Modellkalibrierung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das numerische Grundwassermodell generell in der Lage ist, die Ganglinien der messwertbasierten Monatsmittelwerte an den sechs dargestellten Grundwassermessstellen gut abzubilden. Dies gilt ebenfalls für die Basisabflüsse an den drei untersuchten Oberflächengewässerpegeln.

Allerdings zeigen die Ergebnisse auch gewisse Unschärfen. So bildet das Modell an vier der sechs 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.

Eine mögliche Ursache für die vergleichsweise zu hohen Standrohrspiegelhöhen während der Vegetationsperiode könnte u.a. eine als zu gering angenommene flächenhafte Entnahme zur Feldberechnung sein bzw. eine zeitliche Verteilung der Grundwasserentnahmen, welche nicht die tatsächliche Umsetzung abbildet. Es scheint ebenfalls eine räumliche Variabilität vorzuliegen, da das Grundwassermodell in der Lage ist, die zeitlichen Minima an einigen Grundwassermessstellen / Pegeln exakter abzubilden als an anderen.

Hier ließe sich anhand einer Modellberechnung und unter Berücksichtigung der tatsächlich realisierten Fördermengen in den drei Pilotgebieten, im restlichen LK Uelzen sowie auch im angrenzenden LK Lüneburg überprüfen, ob die o.g. Vorgehensweise zur Verteilung der Fördermengen auf die einzelnen Monate belastbar ist.

7.5 Berechnung von Szenarien mit dem Grundwassermodell

Um den zeitlichen Verlauf der Auswirkungen von Änderungen der Berechnungsbrunnenentnahmen abschätzen zu können, wurden mit dem instationären Modell insgesamt 3 Szenarien über einen Zeitraum von 1,25 Jahren berechnet und hinsichtlich der resultierenden Änderungen der Standrohrspiegelhöhen und Basisabflussänderungen bewertet.

Tabelle 8: Daten der instationären Modellszenarien

Szenario	Kurzbezeichnung & -beschreibung	Summe der Feldberechnungsmenge im Detailgebiet (01/2018 bis 03/2019)
1	Ist-Zustand Verteilung der Jahresfördermengen auf den Zeitraum 01/2018 bis 03/2019	27,1 Mio. m ³
2	Keine Feldberechnung innerhalb der drei Pilotgebiete inkl. der „Pufferzone“, ansonsten die Daten des Ist-Zustands	0,0 Mio. m ³
3	Steigerung der Feldberechnung um 30 % innerhalb der drei Pilotgebiete inkl. der „Pufferzone“, ansonsten die Daten des Ist-Zustands	35,2 Mio. m ³

Die zeitliche Verteilung der Grundwasserentnahmen auf den Zeitraum ist in Abbildung 61 dargestellt. Die höchsten Entnahmen zur Feldberechnung ergeben sich im Ist-Szenario in den Monaten Juni und Juli 2018 mit ca. 8,3 bzw. 7,0 Mio. m³/Monat. Der Anteil der Entnahmen zur Feldberechnung in den drei Pilot-Gebieten entspricht in Summe etwa 37 % der Entnahmen zur Feldberechnung im Landkreis Uelzen.

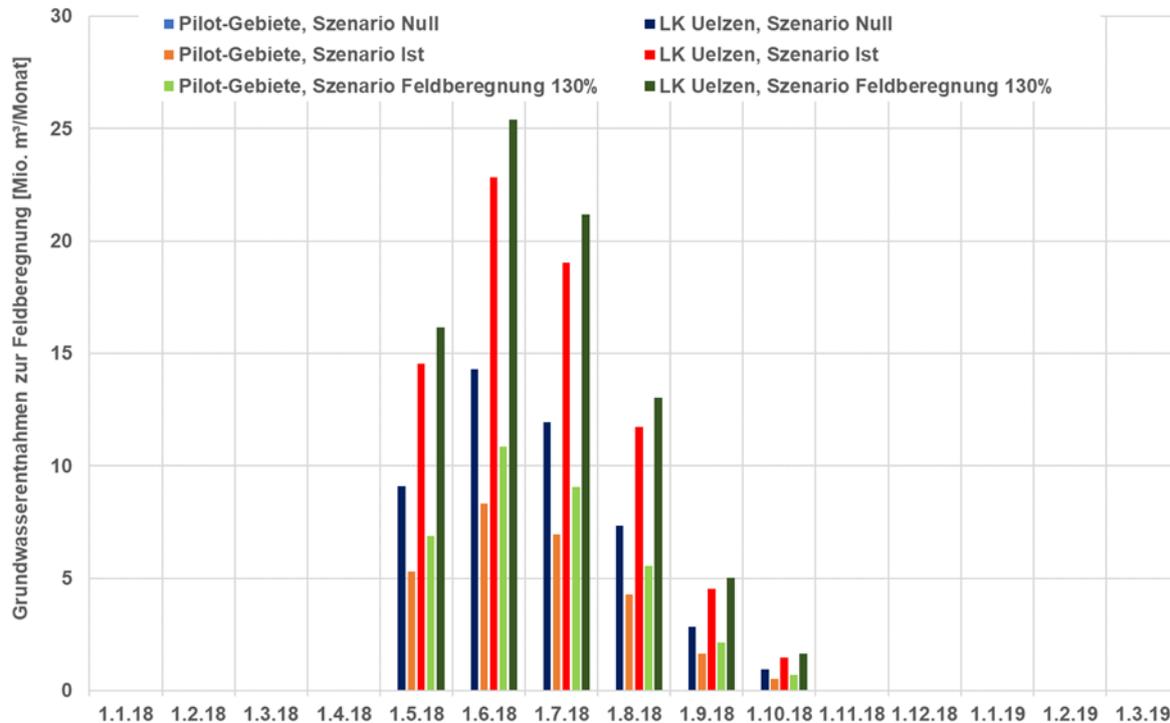


Abbildung 61: Monatsmengen der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung für die drei Szenarien unterteilt nach Summe der Pilotgebiete und Summe des LK Uelzen

Nachfolgend sollen die drei Modellszenarien kurz erläutert werden.

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 Feldberegnung in den drei 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 Feldberegnung. Die Entnahmen Dritter werden wie im Ist-Zustand im Modell berücksichtigt.

7.5.3 Steigerung der Feldberegnung in den drei Pilotgebieten inkl. Pufferzone um 30 %

Diese Modellierung dient als Grundlage für die Betrachtung und Bewertung der Auswirkungen von Entnahmesteigerungen zur Feldberegnung in den drei 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).

7.6 Vergleich der Ergebnisse der Modellszenarien

7.6.1 Veränderung der Standrohrspiegelhöhen an den Grundwassermessstellen

In den nachfolgenden Darstellungen (Abbildung 62 bis Abbildung 67) sind die modellberechneten Ganglinien der Monatsmittelwerte der sechs Grundwassermessstellen im Nahbereich der drei Oberflächengewässerpegel in den Pilotgebieten dargestellt. Zum Vergleich ist in jeder Abbildung ebenfalls die Ganglinie der messwertbasierten Monatsmittelwerte abgebildet.

Generell zeigen sich Abweichungen zwischen den modellberechneten Standrohrspiegelhöhen der drei Varianten mit Beginn der Feldberechnung im Mai 2018.

Generell kann ausgesagt werden, dass die Wirkung der veränderten Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung 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 und im AQ2.

Im zeitlichen Verlauf der Berechnungssaison 2018 erreichen die modellberechneten Standrohrspiegelhöhen in den Monaten August bzw. September ihre Minima. Auffällig hierbei ist, dass dies nicht die Monate mit den höchsten Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung sind (vgl. Abbildung 61). Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass sich in ungesättigten bzw. teilgesättigten Modellbereichen die Wirkung der Grundwasserabsenkung nicht direkt zeigt und eine Reaktion (Absinken der Standrohrspiegelhöhen) erst zeitverzögert auftritt.

Ein interessanter Aspekt ergibt sich an den Messstellen Emern F1 / F2. Die Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen, dass das Minimum der modellberechneten Standrohrspiegelhöhen im Null-Szenario gegenüber den beiden Szenarien mit aktiver Feldberechnung in den Pilotgebieten abweicht. Das witterungsbedingte Minimum, welches im Null-Szenario im Oktober liegt, wird durch die Wirkung der Feldberechnung auf den Aquifer zeitlich um ca. 2,5 Monate nach vorn verschoben. Bei den übrigen Messstellen ist dieser Effekt nicht erkennbar.

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 im August 2018 ca. 0,3 m. Zwischen dem Ist-Szenario und dem Szenario mit den um 30 % erhöhten Feldberechnungsentnahmen liegt die Differenz zum gleichen Zeitpunkt bei rd. 0,1 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).

Zu Beginn der Simulation, vor Beginn der Feldberechnung, zeigen sich in den Ganglinien an der Grundwassermessstelle Emern F1 bereits geringe Differenzen. Diese ergeben sich aus Oszillationen an den nahegelegenen Gewässerrandbedingungen, welche in die Bildung der Monatsmittelwerte eingehen.

Vergleicht man die modellberechneten Standrohrspiegelhöhen zwischen den Szenarien Ist-Zustand und Steigerung der Feldberegnung in den drei Pilotgebieten auf 130 %, so zeigen sich zeitabhängige Differenzen während des Simulationszeitraums. Bezieht man zusätzlich die Ganglinie der messwertbasierten Monatsmittelwerte in die Betrachtung mit ein, ergibt sich an der Grundwassermessstelle Emern F1 eine vergleichsweise bessere Modellanpassung durch die Steigerung der Feldberegnungsentnahmen in den drei Pilotgebieten. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass die o.g. Herangehensweise der Ableitung der monatlichen Fördermengen über die Stromverbräuche mit einer gewissen Unschärfe behaftet ist, welche sich an dieser Stelle zeigt. Eine Plausibilisierung könnte nachfolgend über die Verwendung der tatsächlichen Monatsfördermengen erfolgen.

Für die modellberechneten Standrohrspiegelhöhen an den GWMS Rosche F1 und F2 zeigt der Ganglinienvergleich allerdings auch, dass sich bei einer Zunahme der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung um 30 % das aus den Messwerten hervorgehende Minimum der Standrohrspiegelhöhen im Juli 2018 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.

Ebenfalls wäre denkbar, dass die quasistationäre Betrachtung der Grundwasserentnahmen im angrenzenden Landkreis Lüchow-Dannenberg eine zu vereinfachte Betrachtung dieser erweiterten Randbedingung darstellt. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass im Landkreis Lüchow-Dannenberg ebenfalls Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung stattfinden, welche einen innerjährlichen Gang aufweisen, dessen Wirkung sich aufgrund der räumlichen Nähe bis in die hier betrachteten GWMS auswirken kann. Eine Plausibilisierung könnte zukünftig durch die Recherche der tatsächlich realisierten Grundwasserentnahmen und deren Implementierung im Grundwassermodell erfolgen.

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 Feldberegnung auf 130 % in den drei 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 Ende Oktober 2018 vorliegen. Entsprechend hört die Gangliniendarstellung der messwertbasierten Monatsmittelwerte im Oktober 2018 auf.

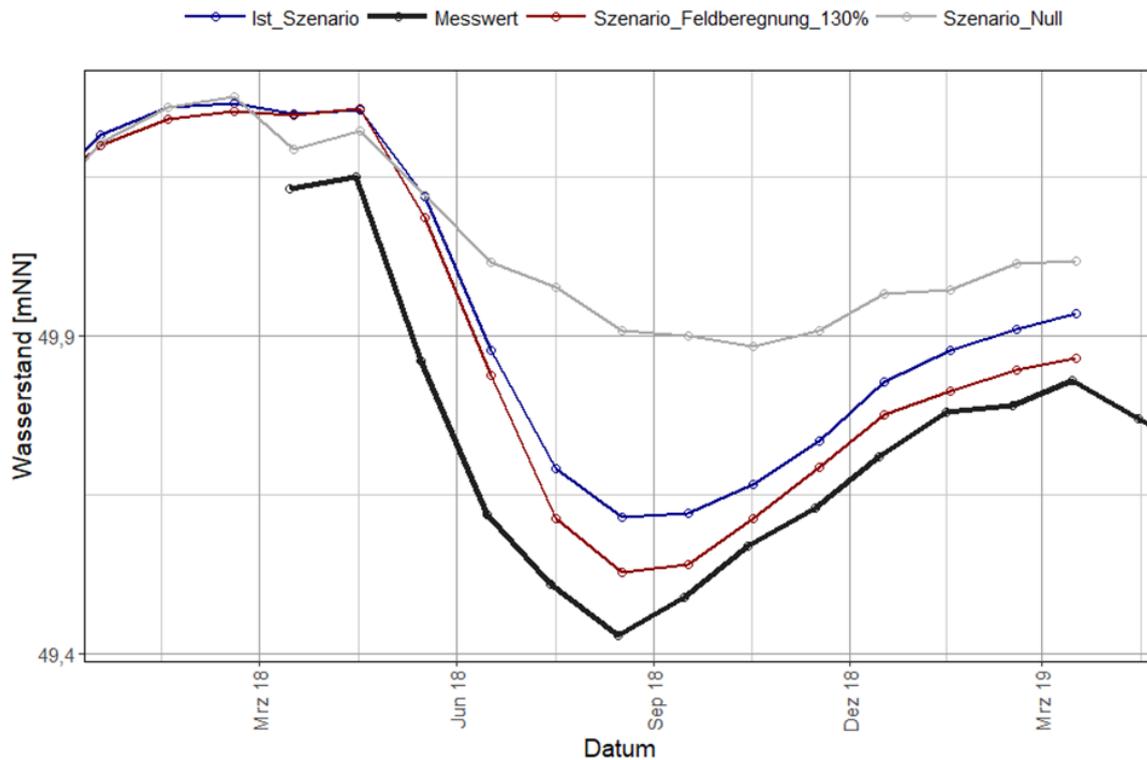


Abbildung 62: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F1 (AQ2)

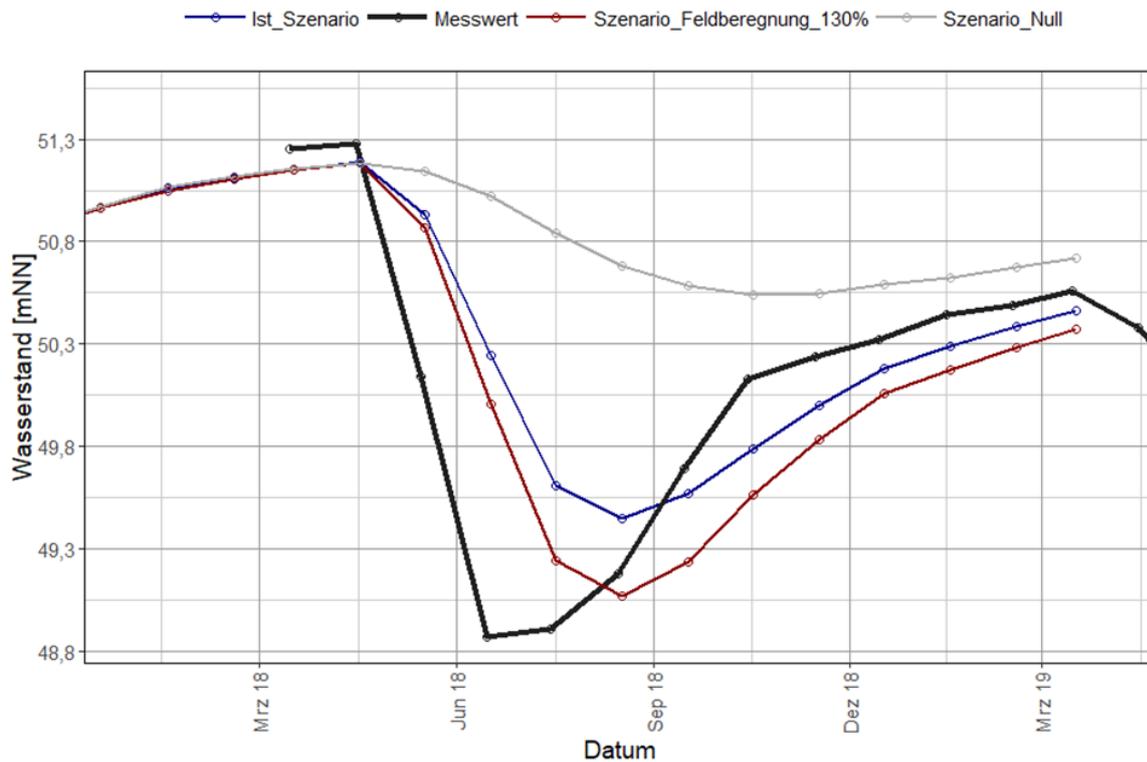


Abbildung 63: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Emern F2 (AQ3)

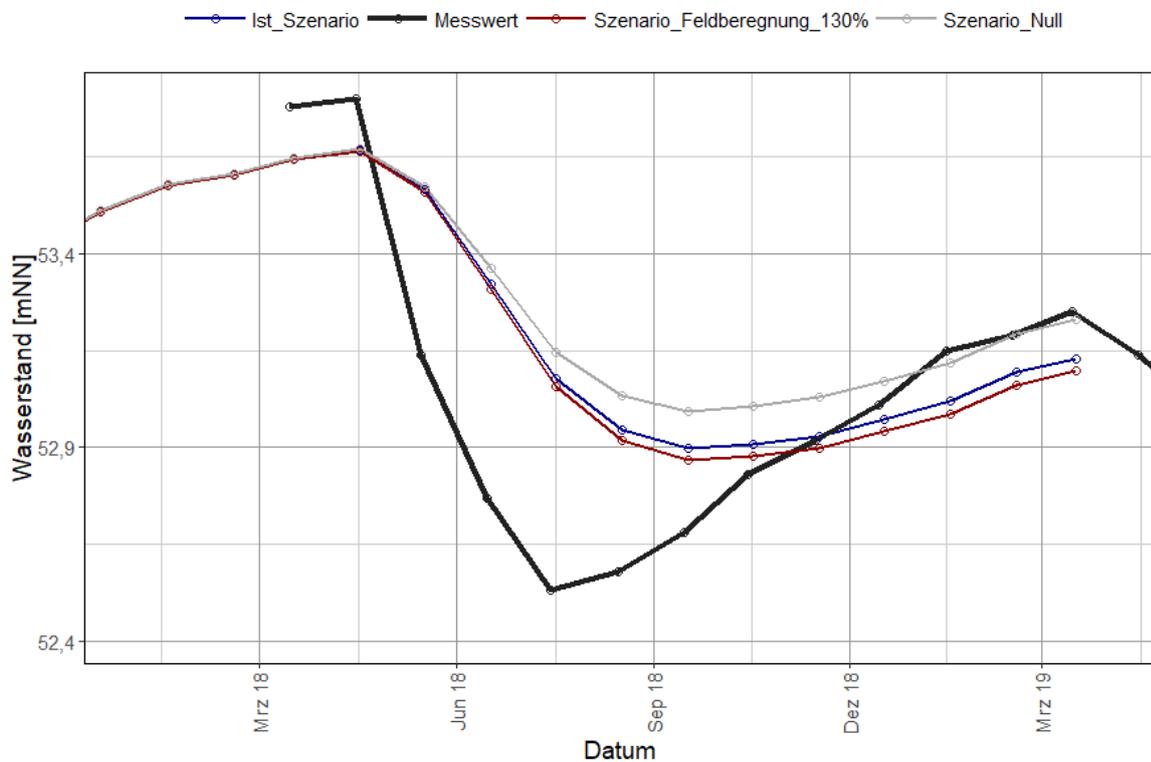


Abbildung 64: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F1 (AQ3)

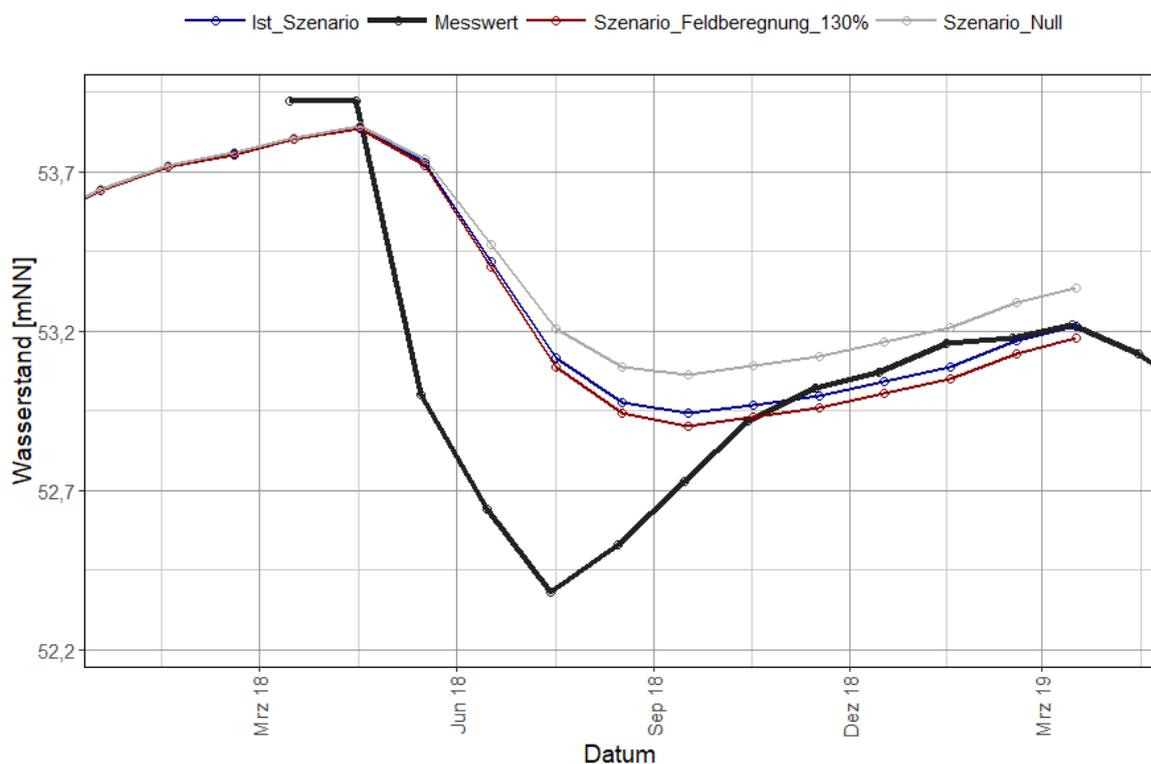


Abbildung 65: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Rosche F2 (AQ3)

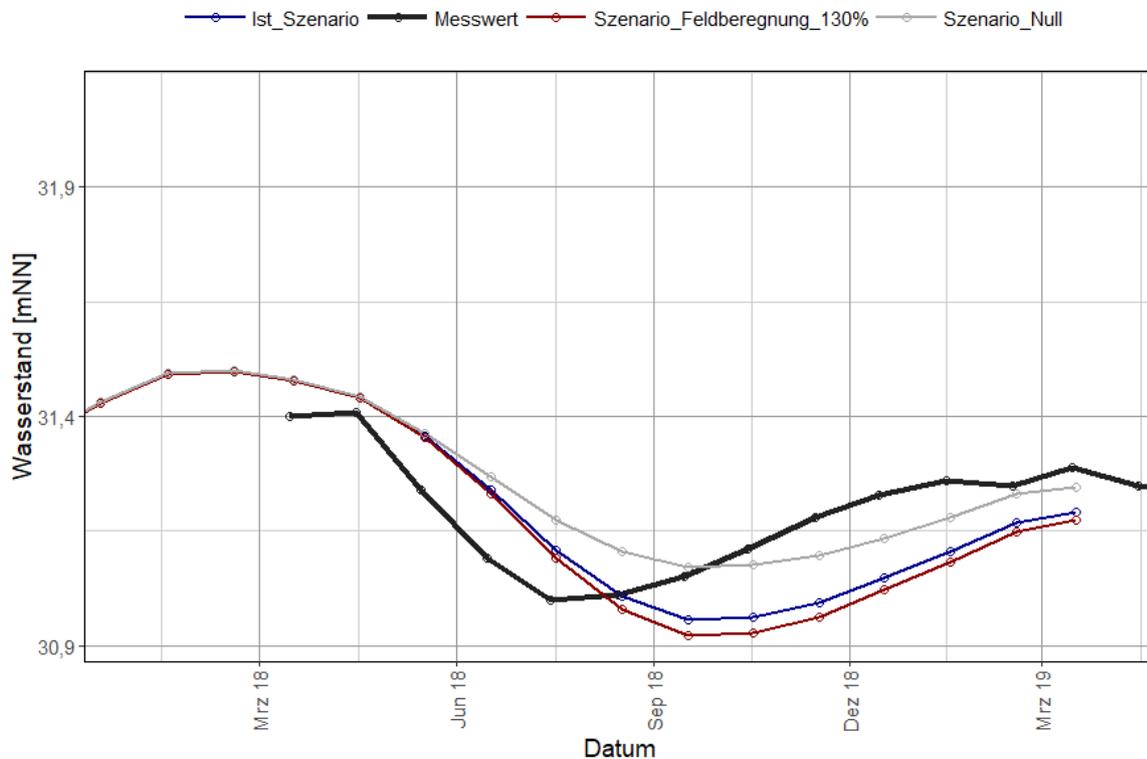


Abbildung 66: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F1 (AQ2)

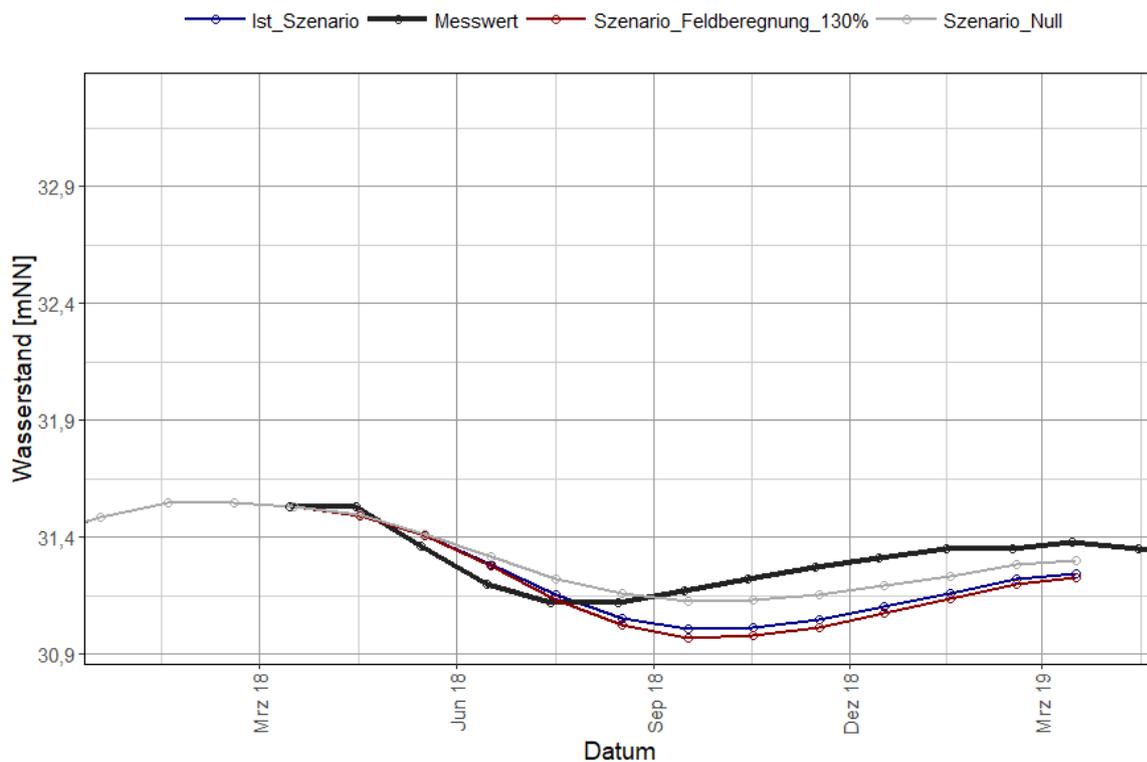


Abbildung 67: Ganglinienvergleich der messwertbasierten und modellberechneten Standrohrspiegelhöhen für die Grundwassermessstelle Groß Hesebeck F2 (AQ3)

7.6.2 Veränderung des Basisabflusses an den Oberflächengewässerpegeln

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

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

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

Tabelle 9: Modellberechnete Abflüsse an den Pegeln in den drei Pilotgebieten

Pegel	Keine Feldberegnung			Ist-Zustand			Steigerung der Feldberegnung um 30%		
	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel
	[l/s]								
Rosche	56,5	120,5	81,5	28,4	118,1	61,3	23,3	116,9	57,5
Emern	150,4	291,2	211,3	86,6	288,8	173,7	70,5	287,7	163,4
Groß Hesebeck	214,8	315,5	258,7	148,7	315,0	228,5	129,1	310,4	218,0
Summe	421,7	727,2	551,5	263,7	721,9	463,4	222,9	715,0	438,9

Weitere interessante Aspekte zeigen sich an den drei Pegeln. Die mittleren Abflüsse des Szenarios **Steigerung der Feldberegnung um 30 %** entsprechen etwa den minimalen Abflüssen des Szenarios **Keine Feldberegnung**. Ohne die Feldberegnung in den drei Pilotgebieten nimmt die Summe der mittleren Basisabflüsse um ca. 19 % zu, während sie bei einer Erhöhung der Feldberegnungsentnahmen um ca. 5 % geringer wird. Am Pegel Rosche führt die fehlende Feldberegnung in den drei Pilot-Gebieten zu einer etwa Verdoppelung der minimalen Basisabflüsse. Für den Pegel Emern liegt die Zunahme bei rd. 74 %, am Pegel Groß Hesebeck bei etwa 44 %. Deutlich zu erkennen ist, dass eine Zu- oder Abnahme der Grundwasserentnahmen zur Feldberegnung nahezu keine Auswirkungen auf die berechneten maximalen Basisabflüsse hat.

Trägt man die monatlichen Mittelwerte der modellberechneten Abflüsse aus den drei Varianten prozentual gegeneinander auf, zeigt sich, dass die Abweichungen am Pegel Rosche die größten Werte erreichen. In der Darstellung bilden die Werte des Modellszenarios Ist-Zustand jeweils den 100 %-Wert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die modellberechneten Basisabflüsse des Szenarios Null aufgrund der verminderten Grundwasserentnahmen zur Feldberegung in den drei Pilot-Gebieten gegenüber dem Ist-Szenario deutlich ansteigen. Das Maximum der gesteigerten Abflüsse liegt zwischen ca. 145 % am Pegel Groß Hesebeck und ca. 203 % am Pegel Rosche. Demgegenüber sinken die Basisabflüsse durch die um 30 % erhöhten Grundwasserentnahmen zur Feldberegung auf ca. 87 % am Pegel Groß Hesebeck und etwa 80 % am Pegel Emern ab. Sowohl Maxima wie auch Minima werden an den drei Pegeln etwa zeitlich im August bzw. September erreicht.

Auffällig ist, dass an allen drei Pegeln die Wirkung der erhöhten / verringerten Grundwasserentnahmen zur Feldberegung auf die modellberechneten Basisabflüsse bis zum Ende des Simulationszeitraums nicht abgeklungen sind. So liegt der mittlere modellberechnete Basisabfluss des Null-Szenarios am Pegel Rosche für den März 2019 bei ca. 174 % des Wertes im Ist-Szenario. Diese Abweichung lässt sich auch für die beiden anderen Pegel in unterschiedlicher Größe beobachten. Für alle drei Pegel gilt dies auch für die Verringerung des Basisabflusses bei Steigerung der Feldberegung um 30 %.

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

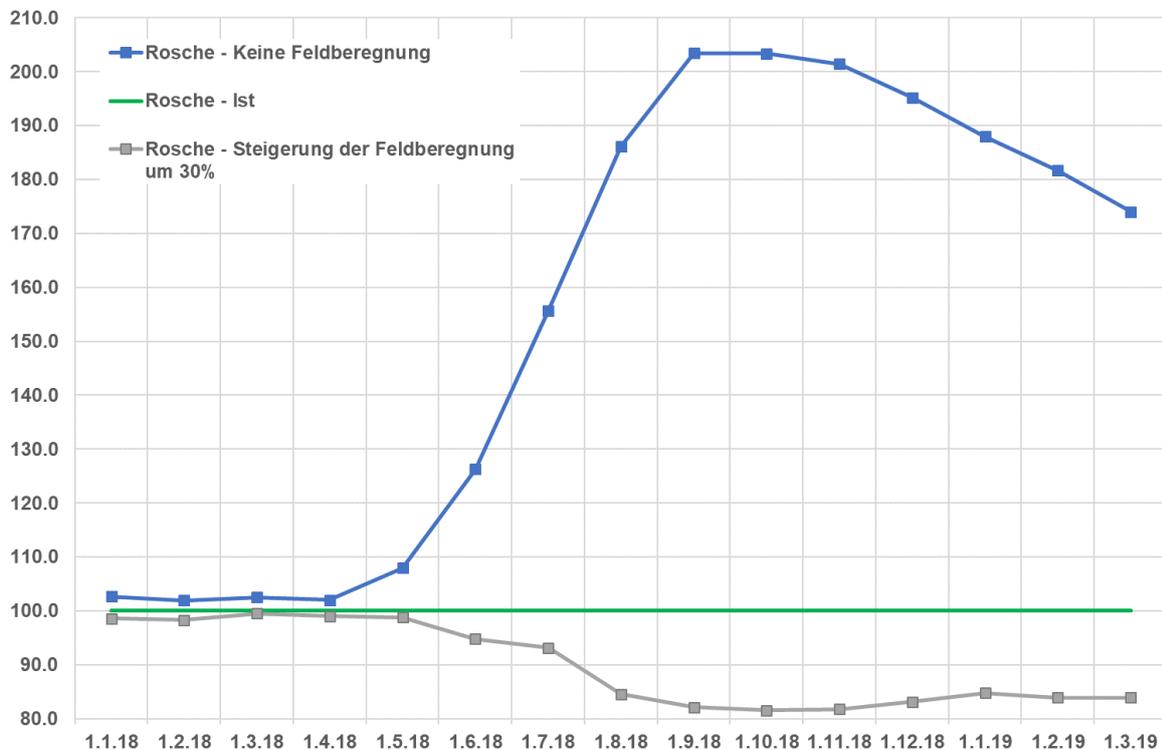


Abbildung 68: Prozentuale Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Rosche

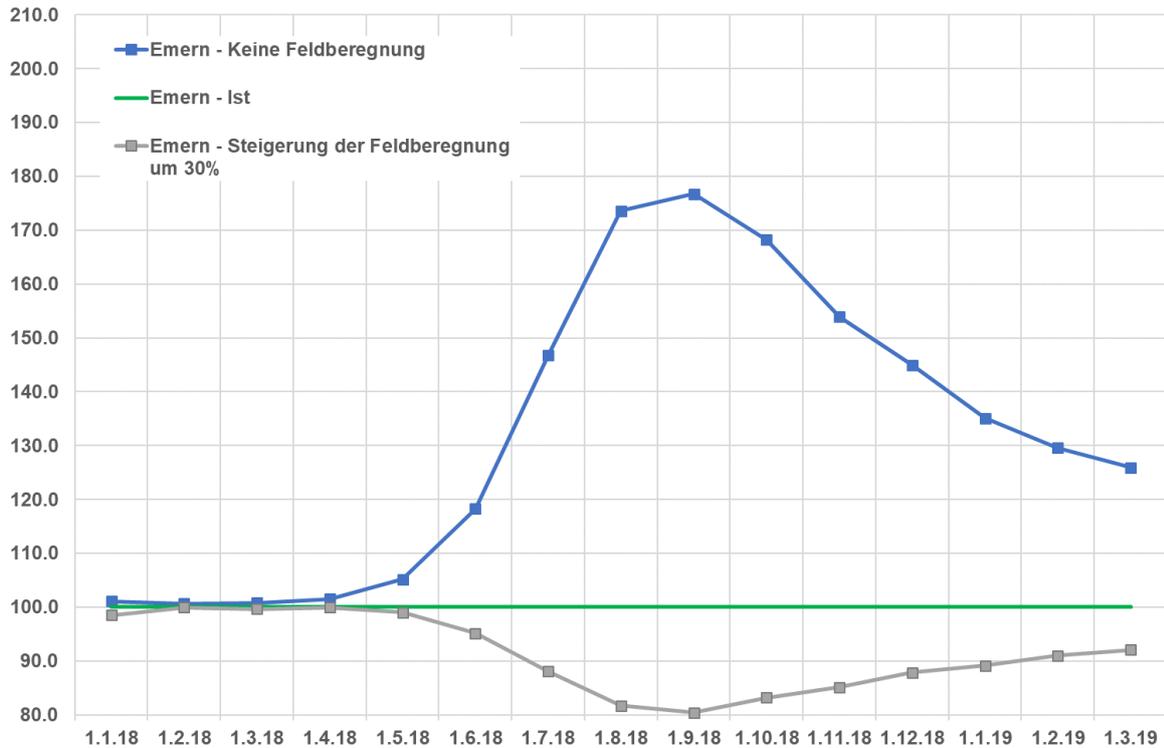


Abbildung 69: Prozentuale Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Emern

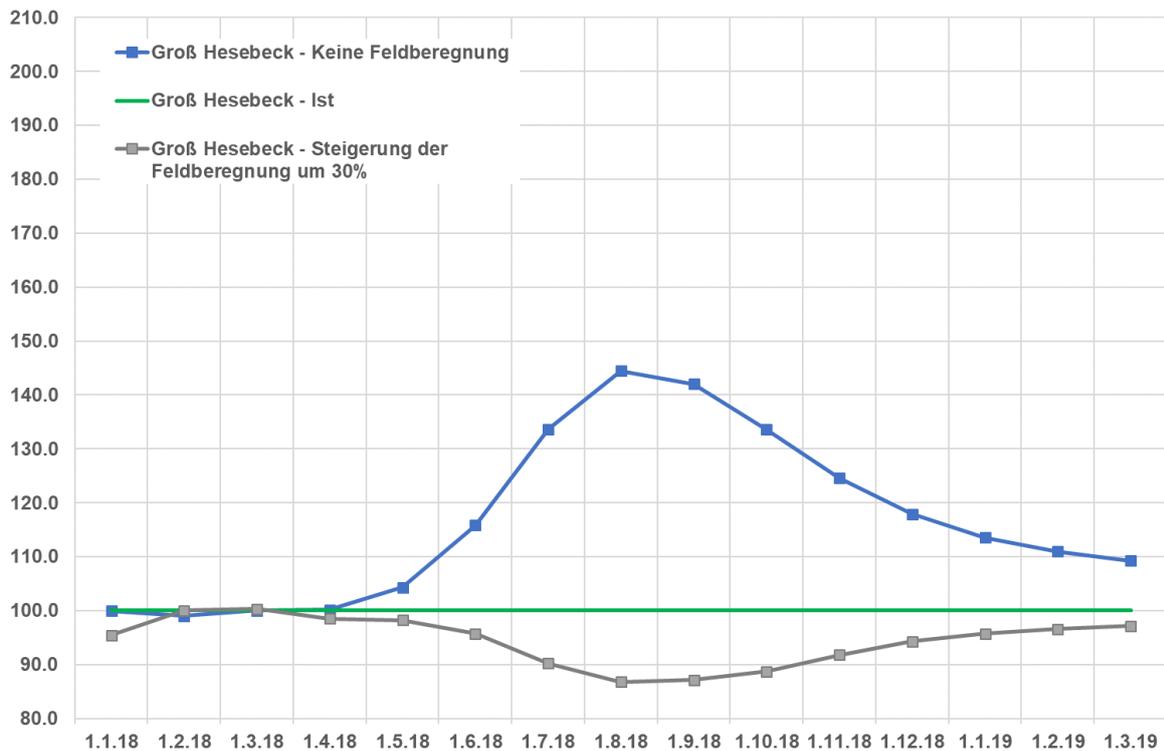


Abbildung 70: Prozentuale Abweichungen der Monatsmittelwerte der modellberechneten Basisabflüsse für die drei Szenarien am Pegel Groß Hesebeck

7.7 Zwischenfazit Grundwassermodell

Mit dem numerischen Grundwassermodell wurde eine Szenario-Untersuchung für den Zeitraum 01/2018 bis 04/2019 durchgeführt. Dabei wurde in drei Modellvarianten untersucht, wie sich die Standrohrspiegelhöhen an Grundwassermessstellen und die Basisabflüsse an Oberflächengewässerpegeln in den drei betrachteten Pilotgebieten durch unterschiedliche Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung 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 gemessenen Basisabflüssen an den Oberflächengewässern des Monitorings lassen sich anhand der Modellergebnisse klar nachvollziehen. Allerdings zeigen die Auswertungen der Ergebnisse auch, dass es weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Modellanpassung gibt.

Die Ergebnisse zeigen, wie sensibel das System auf die veränderte Grundwasserentnahmen reagiert. **Der beschriebene Ansatz zur Verteilung der Jahresmengen auf die Monate Mai bis Oktober bildet zwar einen plausiblen innerjährlichen Gang der Feldberechnung ab, bildet aber die durch die Messwerte vorgegebene räumliche und zeitliche Variabilität nur unzulänglich ab. Vor dem Hintergrund, dass die Berechnungen und Auswertungen von Szenarien mit dem Grundwassermodell als Prognose- und Entscheidungs-Unterstützungswerkzeug 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.** In diesem Zusammenhang sollte für eine zukünftige Weiterentwicklung des numerischen Grundwassermodells eine Aktualisierung der Grundwasserentnahmen in den Landkreisen Lüchow-Dannenberg, Gifhorn, Heidekreis und Harburg erfolgen. Das Ziel dieser Aktualisierung ist zunächst die Plausibilität des Modells durch die Berücksichtigung aktualisierter Daten zu erhöhen bzw. mögliche Fehlinterpretationen von Effekten, die sich aus der Verwendung der bisher verwendeten Datensätze ergeben, zu minimieren. Weiterhin wäre durch die Berücksichtigung von Monatswerten der Grundwasserentnahmen in diesen vier Landkreisen ebenfalls eine Verbesserung der Modellrepräsentanz in Hinblick auf die Abbildung der messwertbasierten Standrohrspiegelhöhen und daraus resultierenden Basisabflüssen denkbar.

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 grundwasserabhängiger Landökosysteme 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

Um zukünftig weitere Aussagen über den Einfluss der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung auf den Grundwasserhaushalt und auf naturschutzfachlich relevante Schutzgüter treffen zu können, müssen vier wesentliche Punkte berücksichtigt werden:

- Fortführung der Messungen an den Grundwassermessstellen und Oberflächengewässerpegeln in den drei bestehenden Pilotgebieten
- Ausweisung zusätzlicher Pilotgebiete, inkl. Bau neuer Grundwassermessstellen und Pegel bzw. Ertüchtigung bestehender Bauwerke
- Definition naturschutzfachlicher Schwellenwerte
- Zeitnahe Bereitstellung der Grundwasserentnahmen zur Feldberechnung im Landkreis Uelzen sowie in den umliegenden Landkreisen, welche im Grundwassermodell abgebildet werden (erweiterte Randbedingung)

Die ersten beiden Punkte dienen generell dazu, das Systemverständnis für das Untersuchungsgebiet weiter auszubauen und zu schärfen. Mit fortlaufenden Messungen in den drei bestehenden Pilotgebieten können zukünftig weitere Aussagen über die Reaktion des Aquifersystems und damit auch der Basisabflüsse an den Oberflächengewässern getätigt werden. Eine Betrachtung dieser Zusammenhänge mit dem Grundwassermodell kann langfristig dazu führen, dass ein Prognosewerkzeug entsteht, mit dem man bereits vor Beginn der Berechnungsperiode 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.

In diesem Zusammenhang ist die Einrichtung weiterer Mess- und Überwachungsgebiete innerhalb des Modellgebietes erforderlich. Bisher sind ausschließlich Standorte im Landkreis Uelzen im "Grundwasserkörper Illmenau Lockergestein rechts" gewählt worden. Weitere Standortmöglichkeiten sollten für den angrenzenden Landkreis Lüneburg sowie den Grundwasserkörper "Illmenau Lockergestein links" untersucht werden. 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 Feldberechnung 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.

In Abbildung 71 sind erste Vorschläge für weitere Monitoring-Gebiete dargestellt. Für den Landkreis Lüneburg sind besonders die Einzugsgebiete von Roddau und Hasenburger Mühlenbach interessant, da die meisten Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung des Landkreises in diesem Bereich stattfinden. Gleichzeitig können mit diesen Monitoring-Gebieten neue Standorteigenschaften charakterisiert werden, da sich die Einzugsgebiete im Übergang von der Geest in die Marsch befinden. Weiter von Interesse sind Teile des Einzugsgebietes der Neetze, um auch die Grundwasserentnahmen für die Feldberegnung im Osten des Landkreises Lüneburg messtechnisch zu erfassen. Hierfür eignen sich die Standorte des NLWKN-Pegels Marienau, sowie weiter flussabwärts in der Ortschaft Neumühlen.

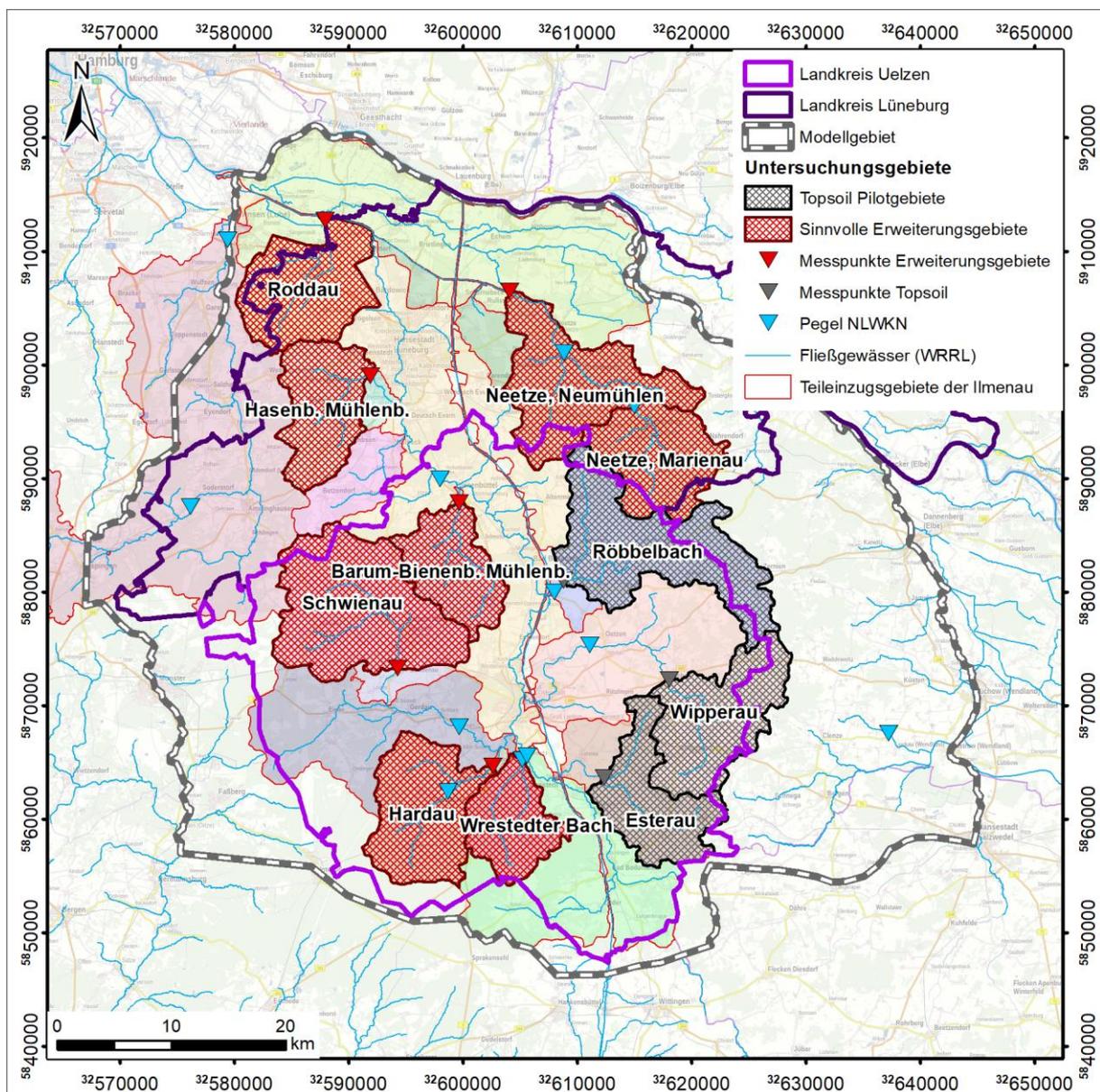


Abbildung 71: Vorschläge weiterer Monitoring-Gebiete in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg

Für den Landkreis Uelzen sind besonders die Einzugsgebiete der Schwienau und des Barum-Bienenbütteler Mühlenbachs aufgrund eines äußerst komplex aufgebauten geologischen Untergrunds interessant. In diesem Bereich besteht nicht nur eine vertikale Stockwerkstrennung der Grundwasserleiter, es wird auch eine lokale horizontale Unterbrechung des Hauptgrundwasserleiters vermutet.

Weiter von Interesse sind die Einzugsgebiete der Hardau und des Wrestedter Bachs im Süden des Landkreises Uelzen, an denen bereits Pegel des NLWKN vorhanden sind.

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 dritte Punkt beschreibt eine entscheidende Voraussetzung für ein funktionsfähiges Entscheidungs- und Unterstützungssystem. Hier ist die zeitnahe Bereitstellung der für das stationäre numerische Grundwasserströmungsmodell notwendigen Daten erforderlich, insbesondere der monatlichen Grundwasserentnahmen für die Feldberechnung in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg sowie in Teilen der vier umliegenden Landkreise, welche als erweiterte Randbedingung fungieren. 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.

Hildesheim, den 20. April 2020



i. A. M. Sc. Geow. Björn Stiller
Projektbearbeiter



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



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



i. A. Dipl.-Geol. Hilger Schmedding
Niederlassungsleiter

9 Verwendete Unterlagen und Literatur

- [1] REUTTER, E.; 2011: Hydrostratigraphische Gliederung Niedersachsens – Geofakten 21, Boden und Wasser, Version 28.02.2011, S. 11; Hannover
- [2] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN; AQUARIUS – Dem Wasser kluge Wege ebnen, Abschlussbericht, Uelzen 2012
- [3] Wasserwirtschaftsamt Lüneburg, Hinrichs u. Montz (1988): Ermittlung der Grundwasserzuflüsse in den Elbe-Seitenkanal, unveröffentlicht, 14.04.1988
- [4] NLWKN (2019): Gewässernetz (WRRL), Gewässertypen, Gewässerstruktur (Detailstrukturkartierung) und Bewertung/Bestandsaufnahme nach WRRL von 2015, E-Mail vom 02.07.2019
- [5] 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
- [6] NLWKN (2018): Niedersächsische Landesdatenbank für wasserwirtschaftliche Daten - Wasserstände und Abflüsse an Messstellen, <http://www.wasserdaten.niedersachsen.de/cadenza/pages/home>
- [7] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFÄLLE E.V. (2013): Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser, DWA-Themen T2/2013
- [8] DWD Climate Data Center (CDC), Vieljähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1981-2010, Version v1.0
- [9] DWD Climate Data Center (CDC): Historische tägliche Niederschlagsbeobachtungen für Deutschland, Version v007, 2019
- [10] ConsulaAqua - 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
- [11] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHS. E. V.: Technische Regel – Arbeitsblatt W 107, Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungs-gebieten Bonn, Februar 2016
- [12] ConsulaAqua - Geo Infometric, Schmedding, H., Bruns, M., Stiller, B., Nienstedt, D. und M. Strub: Durchführung einer Grundlagenermittlung bzw. Bedarfsplanung für die durch die Dachverbände Feldberegnung in den Landkreisen Lüneburg und Uelzen zu stellenden Wasserrechtsanträge, Projekt 52463, unveröffentlicht

- [13] DHI-Wasy GmbH (2015): Feflow 7.1 - Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System, DHI, www.feflow.com
- [14] SonTek – a Xylem brand (2016): SonTek-IQ Series, User's Manual
- [15] Toloczyki, M et al., Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (GK1000), 4. Auflage, 15.07.2006
- [16] Herrmann, F. ; Chen,S. ,Heidt, L., Elbracht, J., Engel, J., Kunkel,R. Müller, U., Röhm, H.,Vereecken, H. & Wendland, F., Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA, 2013
- [17] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Geodaten-Download: Hydrographische Karten, EG-WRRL, Natura 2000
- [18] NLWKN, Konzept zur Berücksichtigung direkt grundwasserabhängiger Landökosysteme bei der Umsetzung der EG-WRRL (2. Bewirtschaftungszyklus), März 2013
- [19] Landkreis Uelzen – Umweltamt, Biotopkartierung des Landkreises Uelzen, Datenlieferung vom 27.02.2019